

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

LA TRITURACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

P R E S E N T A:

**Norman Alberto Beristain Palomares**



DIRECTOR DE TESIS: ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO

MEXICO, D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA 2006

## **AGRADECIMIENTOS.**

Por supuesto, el mayor de los agradecimientos es a mi madre. Por el apoyo y amor en toda mi vida, por primero llevarme de la mano y por ayudarme a recorrer el camino y enseñarme a caminar por mi mismo. Por enseñarme a valorar la vida y hacerle frente cuando no ha sido fácil, siempre sacándome adelante y también muchas veces empujándome. Gracias por todo mamá y todo mi reconocimiento a ti por todo tu esfuerzo, el valor, el coraje, las fuerzas y sobre todo, por todo el amor.

Gracias a mi padre por enseñarme lo que se debe de saber de la vida y por mostrarme el camino, sobre todo por la música, las matemáticas, por todo el arte.

A mi hermano Alejandro.

A mi abuela, María de Los Ángeles donde quiera que esté y a mi Papito David por eso que sólo los abuelos saben hacer. Esas lecturas de periódico que solo servían para leer cosas que no entendía pero que aprendí a pronunciarlas muy bien. Por esas canciones Papito, que creo enseñaste a todos tus nietos. Por todas esas pequeñas grandes cosas y por todo el apoyo de todos los años. Gracias por ponerme aquí, donde estoy.

Por otra parte, ha habido tanta gente que es muy difícil mencionarlos a todos y sobre todo el orden, aunque este realmente no importa.

A mi familia, mis tíos y tías, primos y primas. A mi familia de parte de mi mamá que si los menciono a todos voy a necesitar otro libro, mis tíos Ché, Jorge, Dina, Loyda, donde quiera que esté, Tami, Edna, Raquel, Elvia, Leny y a sus respectivas familias, a todos mis primos, que aunque son más jóvenes que yo, siempre me han dado su amor y apoyo.

A Rafael, Horacio y Laura que siempre están presentes y por ser gran parte de mi infancia. A mi tío Chipi y Montse por sus palabras de apoyo y consuelo, siempre que lo he necesitado.

A mi tía Tarsila y a sus hijos y familias; Roberto, Sandra, Mariana y Adriana, donde quiera que esté, por todos esos años de convivencia y por todo el amor.

A mi tío Norman por prestarme sus diccionarios y por la ayuda. A mi madrina Domi y familia Zamora.

A todos mis amigos, los de la infancia en Lázaro y después en Puebla. A Carlos A. por su amistad de siempre, a Jocksam y David. A Graciela, Francisco y Alejandro. A Verónica por todo el tiempo y apoyo.

Al maestro Rafael Osorno por sus sabios consejos y por la otra parte que complementa mi vida: la música.

A mis grandes amigos de la Facultad, sobre todo a Alberto, Ricardo, Heitor, Caro, Gaby, Gopar, Roberto y todos los del primer semestre.

Los de francés; Carlos, Erwin, Jorge, Jana, Brenda, Myriam, Lulú, Mónica, Faina; a Lizeth L. y a su mamá. A los profesores Lucía, Rebeca y Eduardo.

También de la Facultad y grandes amigos: a Héctor G., J. Gabriel, Daniel B. Israel, Diego, Gustavo, Jesús R., Pancho, Luis Chiapa, Víctor F., Cacho, Oscar, Yuri y Gina.

A todos los que han sido mis vecinos y grandes amigos: Víctor, Daniel, Marisela, Nelly, David, Darío, Oscar, Anuar, Albino, Adolfo, Danya, Lucía y Jaime.

A Rubén, Said, Viridiana, Ileana, Jacqueline, Jazmín, Paola, Paulina.

Por la ayuda que me ofrecieron y todas las facilidades, al Ing. Francisco Monarrez por el apoyo en la planta de agregados de ICA en Xometla y al Ing. Antonio Salas por la ayuda en Guanajuato y a los ingenieros de “El Cajón”.

Y sobre todo mi respeto y reconocimiento a todos mis profesores en la Facultad de Ingeniería. A todos los ingenieros que me apoyaron y me continúan apoyando: Ing. Fernando Favela, Ing. Carlos Chavarri, Ing. Ernesto Mendoza, Ing. Mario Moreno Flores, Ing. Carlos Narcia, Ing. Marco Tulio Mendoza Ing. Agustín Deméneghi, Ing. Luis Salmones, Ing. Octavio García. Una especial mención a Moisés Reyes que me ayudó demás en este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería y a la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación y educación que recibí.

A todos ustedes, muchas gracias.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/105/05

Señor  
NORMAN ALBERTO BERISTAIN PALOMARES  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

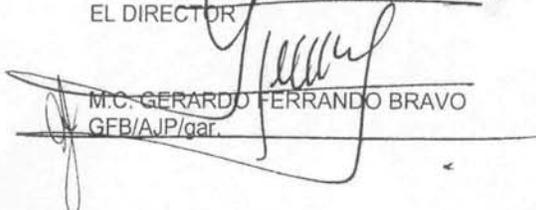
**"LA TRITURACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN"**

- INTRODUCCIÓN
- I. AGREGADOS PÉTREOS
- II. EQUIPO DE TRITURACIÓN
- III. EQUIPO COMPLEMENTARIO
- IV. SELECCIÓN DE EQUIPO DE TRITURACIÓN
- V. EJEMPLOS
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 19 de Octubre de 2005.  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/AJP/gar

# ÍNDICE

<b>Introducción</b>	<b><u>I</u></b>
<b>I. Agregados pétreos</b>	<b><u>1</u></b>
I.1 Generalidades	<u>1</u>
I.2 Clasificación de las rocas	<u>4</u>
I.3 Pruebas para determinar las características de una roca	<u>13</u>
I.4 Tipos de rellenos	<u>16</u>
I.5 Agregados para concreto	<u>17</u>
I.6 Agregados en vías de comunicación	<u>19</u>
I.7 Extracción de agregados	<u>19</u>
<b>II. Equipo de trituración</b>	<b><u>21</u></b>
II.1 Generalidades	<u>21</u>
II.2 Clasificación de las trituradoras	<u>22</u>
II.3 Conceptos básicos	<u>26</u>
II.4 Trituración primaria	<u>30</u>
II.4.1 Trituradoras de quijadas	<u>30</u>
II.4.2 Trituradoras giratorias	<u>45</u>
II.5 Trituración secundaria y terciaria	<u>50</u>
II.5.1 Trituradoras de cono	<u>50</u>
II.5.2 Trituradoras de rodillos	<u>62</u>
II.5.3 Trituradoras de impacto y de martillos	<u>65</u>
II.5.4 Molinos de barras	<u>77</u>
II.5.5 Molinos de bolas	<u>79</u>
<b>III. Equipo complementario.</b>	<b><u>80</u></b>
III.1 Tolvas	<u>80</u>
III.1.1 Uso de las tolvas	<u>83</u>
III.1.2 Protección contra el desgaste	<u>83</u>
III.2 Alimentadores	<u>86</u>
III.2.1 Alimentador de mandil	<u>86</u>
III.2.2 Alimentador vibratorio	<u>89</u>
III.2.3 Alimentador reciprocante	<u>90</u>
III.2.4 Otros tipos de alimentadores	<u>91</u>
III.2.5 Selección de alimentadores	<u>92</u>
III.3 Cribas	<u>95</u>
III.3.1 Cribas vibratorias	<u>96</u>
III.3.2. Cribas giratorias	<u>99</u>
III.3.3 Capacidad y eficiencia en cribas	<u>99</u>
III.3.4 Características y tipos de mallas	<u>107</u>
III.4 Bandas transportadoras	<u>117</u>
III.4.1 Partes de las bandas transportadoras	<u>119</u>
III.4.2 Capacidades	<u>123</u>
III.4.3 Problemas comunes y formas de solucionarlo	<u>130</u>
III.4.4 Accesorios	<u>132</u>
III.5 Equipo de lavado y desenlodadores	<u>141</u>
III.6 Ciclones	<u>147</u>
III.7 Elevadores de cangilones	<u>150</u>

<b>IV. Selección de equipo de trituración</b>	<b><u>151</u></b>
IV.1 Antecedentes	<u>151</u>
IV.2 Diagrama de flujo	<u>156</u>
IV.3 Circuito cerrado	<u>158</u>
IV.4 Pilas de almacenaje y tipos de plantas de trituración	<u>160</u>
IV.5 Plantas de trituración fijas o estacionarias	<u>162</u>
IV.6 Plantas de trituración móviles	<u>167</u>
IV.7 Plantas de trituración móviles sobre rugas	<u>173</u>
<b>V. Ejemplos</b>	<b><u>183</u></b>
V.1 Ejemplo 1	<u>185</u>
V.1 Ejemplo 2	<u>192</u>
V.1 Ejemplo 3	<u>196</u>
<b>VI. Conclusiones</b>	<b><u>230</u></b>
<b>Bibliografía</b>	<b><u>232</u></b>

## **INTRODUCCIÓN.**

Los agregados juegan un papel crítico en el diseño y construcción de la infraestructura de una nación, ya que son el ingrediente básico en todos los concretos hidráulicos y productos asfálticos.

Las necesidades que exige la industria de la construcción hoy en día, demanda una alta calidad en los agregados, para poder obtener de esta manera, mejores obras civiles a costos menores y tiempos de producción aceptables.

Es debido a lo anterior que la industria de la trituración desempeña un papel fundamental para alcanzar este objetivo. Sin embargo, hasta la fecha, a la trituración no se le ha reconocido el aspecto básico que juega en el área de la construcción, siendo muchas veces menospreciada dentro de la misma área de la Ingeniería Civil.

Lamentablemente, no se cuentan con estudios o estadísticas que muestren el desempeño que esta industria ha tenido a la largo de la historia de nuestro país o que nos permitan tener una idea general de su estado actual; pero para mencionar el alcance que tiene, desde el punto de vista de la producción, tan solo en los Estados Unidos se producen cerca de 2.1 mil millones de toneladas de agregados, de las cuales 897 millones son arena y grava. Gran parte de esta arena y grava es utilizada en la construcción específicamente como agregado para concreto y mezcla asfáltica.

Las restantes 1.2 mil millones de toneladas de agregado son el resultado de la trituración. Gran parte de la roca triturada (71%) es caliza. La dolomita junto con la caliza constituyen el mayor porcentaje de producción. La producción de granito es cerca del 15% de la producción total.

Más de la mitad de roca triturada es utilizada como agregado para la construcción, principalmente en carreteras y autopistas o como ingrediente esencial para el concreto de cemento portland y para mezclas asfálticas. La roca triturada también es utilizada para la fabricación del cemento, como balasto para ferrocarriles y otros usos industriales. Los agregados constituyen, por sí mismos, el costo mayor en los materiales de construcción de pavimentos.

Es importante también conocer las propiedades de los agregados y su combinación con los cementantes para su consideración en lo que respecta a la vida útil de la obra en la que son utilizados. El diseño inadecuado de los agregados en bases asfálticas para carreteras influye, de varias maneras, en la falla prematura de pavimentos, debido por lo general a un mal diseño de drenaje y en lugares donde se dé el congelamiento. El uso de agregados de calidad inadecuada para un concreto con cemento portland causan un rápido deterioro en éste, sobre todo bajo condiciones climáticas adversas.

Por tanto requiere de una apropiada selección de agregados para lograr el óptimo funcionamiento de las distintas obras civiles.

En términos de ventas, los productores de agregados tan solo en los Estados Unidos venden alrededor de 9 mil millones de dólares de producto a la industria de la construcción. Todos estos productores juntos, emplean a cerca de 73,000 personas, según estadísticas y toda esta gente recibe ganancias de 2.5 miles de millones de dólares anualmente.

Esta industria se ha ido encaminando a una mayor automatización en los procesos, teniendo como resultado mejores costos de operación y que a su vez son capaces de producir una mayor variedad de productos. Más que cualquier otra herramienta, la computadora está ayudando a conseguir estos objetivos y hoy, muchas plantas son operadas por menos personas pero más capacitadas. Actualmente existen plantas que pueden funcionar sin necesidad de personal de ningún tipo, si hay algún problema, las máquinas automáticamente se apagan.

Recientemente, todo el proceso ha sido modificado gracias al desarrollo de las plantas de trituración que son altamente móviles ya que se mueven en la misma cantera para triturar y cribar el material. Estas máquinas nuevas de trituración están montadas sobre un track de orugas que permiten llevarlos cerca de la cantera o dentro de la misma, mientras el material es sacado de la pedrera.

Debido a lo anterior, la industria de la trituración es fundamental para el óptimo desarrollo de la infraestructura de cualquier país.

Por otra parte, el contenido de esta tesis, es un capítulo del curso de movimiento de tierras para la carrera de Ingeniería Civil. Además que ya tiene muchos años que se agotó la edición de esta parte de apuntes y por ello la necesidad del actualizarlos para ponerse a la disposición de nuevas generaciones.

# Capítulo I

## AGREGADOS PÉTREOS

### I.1 GENERALIDADES.

Los agregados pétreos son los materiales naturales que están formados por minerales cuyas características permiten reconocerlos y cuantificarlos. Su extracción se realiza a partir de los macizos

rocosos o bancos de roca y también de los ríos. Tienen propiedades físicas y químicas definidas, derivadas de la erosión y transporte de las capas de sedimentos, arenas o gravas dejadas en los márgenes y cauces.

Los materiales pétreos que se obtienen de las canteras o de los desmontes, pueden estar situados en macizos rocosos, en los cuales, se pueden utilizar explosivos para su extracción o se pueden obtener de las márgenes de los ríos en las que, al ser material formado por gravas y arenas sueltas, el proceso de extracción se realiza con equipo de carga.

El banco de roca puede estar constituido por un tipo de roca similar o estar formado por diferentes tipos de roca. Pero aún estando formado todo el banco por la misma roca, puede presentar diferentes características debido a la intemperización que ha sufrido, gracias a la acción de agentes atmosféricos.

La construcción de las obras públicas, en particular de obras como las carreteras y ferrocarriles, requiere realizar grandes excavaciones en materiales rocosos, y luego la mayor utilización posible de estos materiales. En estos casos no se puede seleccionar el tipo de roca, sino que se utiliza la que se va extrayendo a lo largo de la obra, que por lo mismo, puede ser muy variada.

La caracterización de un macizo rocoso para establecer una cantera requiere de un reconocimiento previo a base de sondeos, realizados por el Ingeniero Geólogo.

Se han identificado mas de 3500 minerales, en la superficie terrestre, pero solo una docena de ellos constituyen la mayoría de las rocas de la corteza terrestre.

Tipo de roca	Superficie ocupada (%)
Pizarras y rocas arcillosas	52
Granito	15
Arenisca	15
Calizas y dolomitas	7
Basaltos	3
Otros	8

*Tabla I.1 Distribución de tipos de roca en la superficie terrestre*

En los últimos años ha aumentado la importancia de las rocas arcillosas tipo pizarras y margas a las que se debe prestar especial atención en Ingeniería Civil y se mantiene la de los granitos, calizas y basaltos.

Los materiales rocosos, como agregados pétreos, pueden ser utilizados en los siguientes tipos de obra:

PRESAS	En presas de materiales graduados se utilizan rocas de diversos tamaños, desde las mas grandes para respaldos hasta las mas finas para los filtros.
PUERTOS	Escolleras para diques
ENCAUZAMIENTOS	Escollera para protección de márgenes
CARRETERAS	Pedraplenes
AGREGADOS	Para concretos Para mezclas asfálticas Para capas granulares
BALASTO	Para ferrocarriles
MATERIAS PRIMAS	Cementos Yesos y cales Cerámicos Otros

*Tabla I.2 Usos de materiales pétreos en la construcción de obras civiles*

La utilización de estos materiales en las diferentes obras requiere que estos reúnan una serie de características para garantizar su buen funcionamiento. Estas diferentes características se encuentran en normas. En Ingeniería Civil una norma internacionalmente aceptada es la American Standard Test Materials (A.S.T.M), y en México, las normas mexicanas de los diversos organismos constructores.

### **I.1.1 Alteración de los agregados.**

Es la acción producida por agentes externos, a lo largo del tiempo, sobre las rocas que interesan para utilizarlas en alguna obra de la Ingeniería Civil. Estas alteraciones se pueden dividir en 2 grupos: las que producen alteración química en la roca y las que no producen dicha alteración.

Las acciones a las que está expuesta la roca pueden provenir, o bien del clima de la zona donde se encuentra la roca o bien por acciones ambientales propias del tipo de obra que se está construyendo.

Las variables climáticas más simples para caracterizar el clima son la precipitación anual y la temperatura media anual. La importancia que tiene la precipitación anual es la agresividad que tiene para producir transformaciones químicas.

En cuanto al tipo de obra, no hay que olvidar la capacidad de las obras públicas para transformar el medio ambiente y sobre todo, los lugares en que se van a utilizar.

Es importante conocer en primer lugar si un agregado pétreo modifica sus características bajo los agentes externos a que va a estar sometido, en segundo lugar cómo las modifica y en tercer lugar cuánto las modifica.

### **I.1.2 Propiedades básicas.**

Dos de las propiedades que más se utilizan en la Ingeniería Civil para definir los materiales son la resistencia a compresión simple y el módulo de deformación, Deere y Miller clasifican a las rocas en cinco categorías mostradas a continuación (tabla I.3).

CLASE A:	Resistencia muy alta :	mayor de 2250 kg/cm <sup>2</sup>
CLASE B:	Resistencia alta :	de 1120 a 2250 kg/cm <sup>2</sup>
CLASE C:	Resistencia media :	de 560 a 1220 kg/cm <sup>2</sup>
CLASE D:	Resistencia baja :	de 280 a 560 kg/cm <sup>2</sup>
CLASE E:	Resistencia muy baja :	de 70 a 280 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla I.3 Clasificación de las rocas por resistencia

Cada una de ellas además se subdividen en tres categorías en función de la relación  $E_t / \sigma_c$  que se denomina “módulo relativo”

H : Módulo relativo alto  $E_t / \sigma_c > 500$

M : Módulo relativo medio  $200 \leq E_t / \sigma_c \leq 500$

L : Módulo relativo bajo  $E_t / \sigma_c < 200$

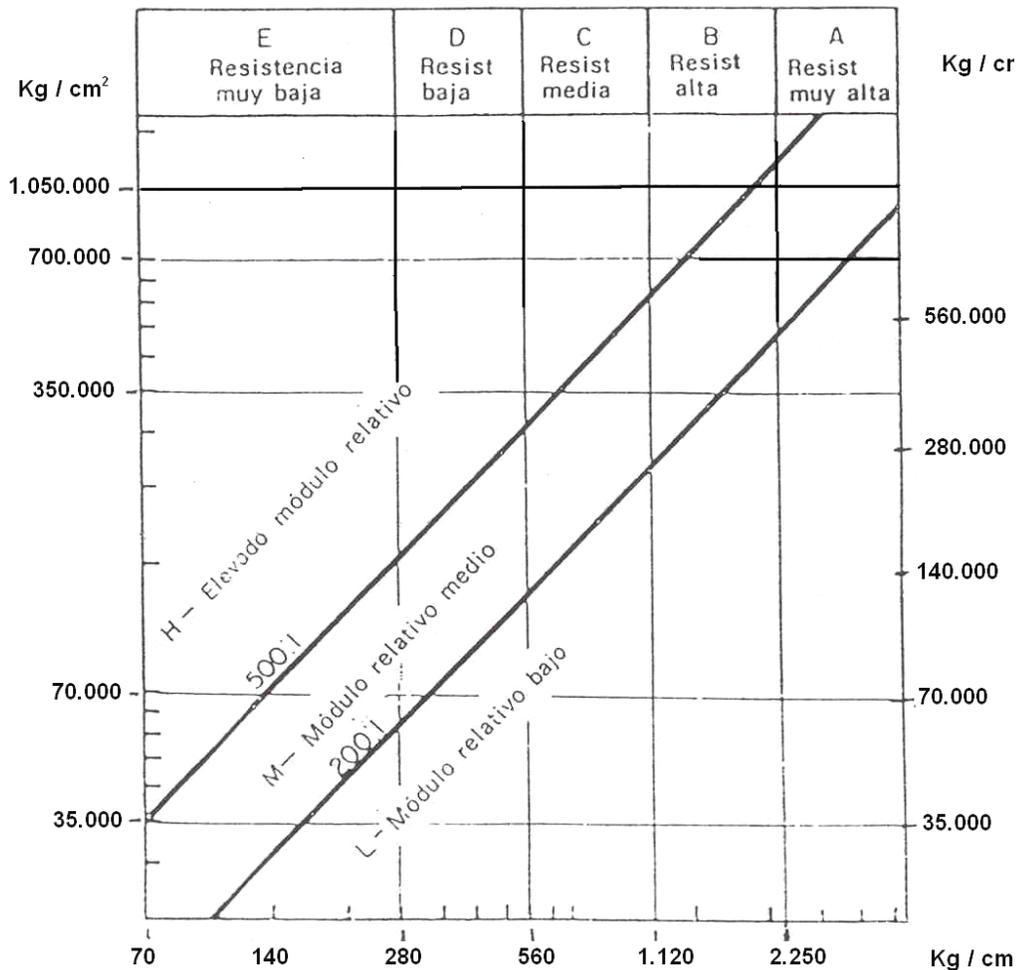


Figura I.1 Clasificación de las rocas intactas

## I.2 CLASIFICACION DE LAS ROCAS.

Geológicamente las rocas se clasifican, según el modo en que se formaron, en tres grupos importantes:

### Rocas ígneas

### Rocas sedimentarias

### Rocas metamórficas

Los que a su vez se subdividen y clasifican en diversos tipos de acuerdo con sus características texturales y mineralógicas.

La definición del origen y la composición de las rocas es útil y necesario, ya que permite inferir aspectos relacionados con el comportamiento de las mismas al ser utilizadas como agregados en sus diferentes usos.

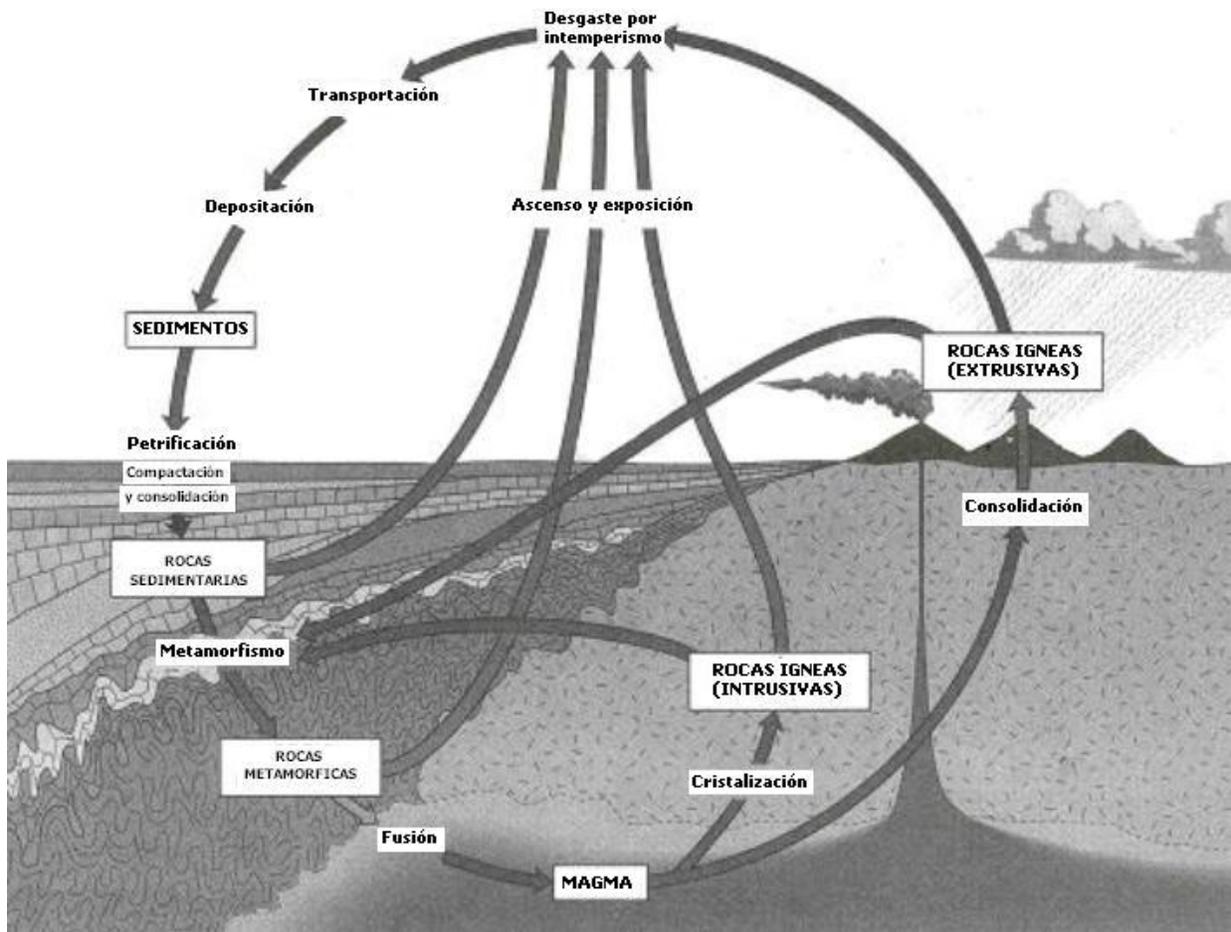
Ígneas	Intrusivas (plutónicas)	Granito Sienita Diorita Gabro Peridotita
	Extrusivas (volcánicas)	Riolita Traquita Andolita Basalto Diobasa
Sedimentarias	Calcáreas	Caliza Dolomita
	Silíceas	Arcilla esquistosa Arenisca Horsteno (pedernal)
Metamórficas	Foliadas	Gneis Esquisto Antibolita
	No foliadas	Pizarra Cuarcita Ecoslita Mármol

*Tabla I.4 Clasificación de las rocas según su origen geológico*

Cada grupo contiene una variedad de tipos de rocas individuales que difieren uno de otro sobre la base de su composición o textura (el tamaño, la forma y la disposición de las partículas minerales).

### I.2.1 Ciclo de las rocas.

El ciclo de las rocas es una forma de ver las relaciones entre los procesos internos y externos de la tierra (ver fig. I.2). Relaciona los tres grupos de rocas uno con otro; con procesos superficiales como el intemperismo, transporte y depósito y con procesos internos como la generación de magma y el metamorfismo. El movimiento de placas es el mecanismo responsable de reciclar los materiales de la roca y en consecuencia de impulsar el ciclo de la misma.



*Figura I.2. Ciclo de las rocas*

La localización en México de estos tres grupos de rocas (Fig. I.3), tomando como base las 15 provincias fisiográficas, muestran que predominan las rocas ígneas, particularmente en la parte occidental del país, en segundo término se hallan las rocas sedimentarias que abundan en las regiones centro-norte, oriente y sur-sureste; por último, las rocas metamórficas son las menos frecuentes y se ubican en el territorio nacional de manera más o menos errática.



*Fig. I.3 Distribución aproximada de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en la República Mexicana*

Como ya se había mencionado, los bancos de roca pueden estar constituido por uno o varios tipos de roca. Es común que para el caso de un solo tipo de roca sean formaciones de rocas ígneas y que para el caso de varias rocas, sea de formaciones de rocas sedimentarias.

### **I.2.2 Rocas ígneas.**

Las rocas ígneas resultan de la cristalización del magma o de la acumulación y consolidación de materiales expulsados por volcanes, como las cenizas. El magma que se enfría lentamente en el interior de la corteza terrestre produce rocas ígneas conocidas con el nombre de intrusivas o plutónicas y el magma que se enfría en las superficie, expulsado por erupciones volcánicas (derrames lávicos y eventos piroclásticos), produce rocas ígneas conocidas como extrusivas o volcánicas.

Cuando el magma fundido o semifundido que asciende por las grietas alcanza la superficie terrestre, forma un volcán; en este caso el magma puede fluir por la superficie al tiempo que se enfría, formando coladas de lava, o puede explotar al alcanzar la superficie y lanzar al aire su masa, solidificándose de manera individual los distintos bloques de roca. Las rocas más interesantes desde el punto de vista de su aplicación en la construcción, la constituyen aquellas formadas por la solidificación de las coladas de lava, entre las que se encuentran los basaltos.

La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas recomienda clasificar las rocas en función de su composición y del tamaño de grano de los minerales que la forman. Esta clasificación de las

rocas ígneas se muestra en la tabla I.5. Entre ellas se deben destacar los granitos y basaltos cuya utilización en la construcción es muy grande.

GRUPO GENETICO		ÍGNEO				
Estructura común		MASIVA				
Composición		Los minerales son: cuarzo, feldespato, mica		Minerales oscuros y claros	Minerales oscuros	
		Roca ácida	Roca Intermedia	Roca Básica	Ultra básica	
(mm)	60	Grano muy grueso	PEGMATITA			PIROXENITA Y PERIDOTITA SERPENTINITA
	2	Grano grueso	Granito	Diorita	Gabro	
		0.06	Grano medio	MICROGRANITO	MICRODIORITA	
	0.002	Grano fino	RIOLITA	ANDESITA	BASALTO	
		Grano muy fino				
	VITREO AMORFO	OBSIDIANA Y FLUOLITA				
		VIDRIOS VOLCÁNICOS				

*Tabla I.5 Clasificación de las rocas ígneas*

El carácter ácido o básico de las rocas es muy interesante cuando se utilizan como agregados para formar mezclas bituminosas, pues las básicas tienen una mejor adherencia que las ácidas. El carácter ácido de estas rocas lo confiere el contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) del cuarzo y los silicatos. Cuando una roca contiene más de un 60% de sílice tiene carácter ácido y entre sus minerales además de los silicatos debe haber cuarzo, como es el caso de los granitos. Cuando el contenido de  $\text{SiO}_2$  es menor del 60% no existe cuarzo y las rocas tienen carácter básico, éste es el caso de los basaltos.

Debido a la composición y al diferente tamaño de grano existente entre las diferentes rocas ígneas, los materiales pétreos obtenidos de éstos también serán distintos. Pero existe un rasgo común a las rocas intrusivas que las hace interesantes en la construcción y esta es, su baja porosidad cuando es una roca sana. Esto las homogeniza de alguna forma y hace que, en general, se pueda decir que las rocas intrusivas sin alterar sean materias primas buenas para preparar agregados pétreos para la construcción. En cuanto a las rocas extrusivas, además de su diferente composición, las condiciones de enfriamiento de las lavas son distintas y dan lugar a materiales tan heterogéneos como la pumita y el basalto, por tanto la calificación de ellas se hace en forma particular. Además a lo anterior, se le añade la diferente meteorización a la que se encuentra en el macizo rocoso donde se va a establecer una cantera o realizar una excavación, esto hace que un estudio de las rocas ígneas deba contemplar estos dos aspectos, el tipo de roca y su grado de alteración.

Llama la atención el granito sobre las demás por la importancia que tiene como material extraído de canteras, ya que tiene un gran uso en la construcción, principalmente como agregados para el concreto.

El granito comprende a las rocas ígneas de textura granular compuestas esencialmente de feldespato y cuarzo. Es usado como material para construcción, así como en la elaboración de estructuras tales como puentes, muros de contención y escolleras en puertos. También es utilizado para construir cortinas de presas y como material base en la construcción de carreteras.

El granito tiene una baja absorción, pruebas realizadas por el National Bureau of Standards, de Estados Unidos muestran un promedio de absorción de agua de un 0.24% después de 2 días de inmersión y de 0.28 % después de un año. Las porosidades del granito varían en estas series de pruebas y por tanto se considera una media de 1.29%. Gracias a su baja porosidad y absorción, el granito tiene una excelente resistencia a los ciclos de hielo-deshielo.

El granito también tiene una alta resistencia a la abrasión. La dureza del granito se debe a su resistencia al impacto. Su dureza es un poco variable, pero en general, es inferior a las rocas cristalinas y superior a la arenisca, caliza y mármol. Su módulo de elasticidad es más alto que cualquier otro tipo de roca cuyos datos estén disponibles. También tiene alta resistencia a la aplicación de esfuerzos de compresión.

En una consideración global, para su uso en la construcción, podemos mencionar que el uso de rocas intrusivas en estado sano generalmente cumple con las especificaciones exigidas para utilizarlas como material para cualquier obra, pero hay que considerar que a medida que aumenta su alteración, disminuye su calidad. El uso de las rocas volcánicas en estado sano tiene un comportamiento muy variable en cuanto a sus propiedades se refiere, así que se tendrá que estudiar cada caso para poder conocer la posibilidad de su uso en la obra correspondiente.

### **I.2.3 Rocas sedimentarias.**

Este gran grupo puede considerarse como de rocas derivadas, pues en general, son el resultado de la meteorización y desintegración de otras rocas. Como su nombre lo indica, son el resultado del proceso de transporte, depósito y eventual litificación sobre la corteza terrestre, de los productos de intemperismo y erosión de otras rocas preexistentes, proceso que frecuentemente se produce bajo el agua, pero que también puede ocurrir en el ambiente atmosférico.

De acuerdo a su procedencia, las rocas sedimentarias se pueden clasificar en detríticas y no detríticas. Dentro del grupo de las detríticas están incluidas todas aquellas rocas formadas por productos de alteración de otras, que han sido transportados y depositados pudiendo no estar consolidados (rocas sueltas) o haber sufrido procesos de consolidación (rocas compactas).

	SUeltas	COMPACTAS
Detríticas	Gravas Arenas Limos Arcilla	Conglomerados Areniscas Limolita Arcillita
Intermedias	Margas	
No Detríticas	Carbonatadas	Caliza Dolomia
	Evaporitas	Yeso
		Cloruros
	Otras	

*Tabla I.6 Clasificación de las rocas sedimentarias*

Dentro del grupo de las no detríticas se encuentran aquellas formadas fundamentalmente por precipitación de sustancia que se encontraban en disolución en las cuencas de sedimentación y que luego han sufrido los procesos de consolidación. También en ellas se incluyen, y en ocasiones constituyen la mayor parte, rocas formadas por conchas y caparazones de organismos vivos. En este caso se encuentran rocas calizas y algunas rocas silíceas.

Por último, existe un tercer grupo de rocas que están formadas por materiales con los dos orígenes y que se denominan rocas intermedias, en el que se encuentran las margas, en cuya composición están por un lado las arcillas, arenas o limos como material detrítico, y por otro los carbonatos y sulfatos como material no detrítico. Estas margas cuya utilización como roca industrial es para fabricar cemento es una de las rocas que mayores problemas plantea en desmontes y rellenos en la ejecución de obras públicas.

Una característica de los yacimientos de rocas sedimentarias es su disposición en capas debido al proceso de formación de este tipo de rocas. Los principales yacimientos de rocas sedimentarias detríticas sueltas son los sedimentos depositados en los márgenes de los ríos.

En cuanto a los yacimientos de rocas compactas, aquí se engloban las rocas detríticas, las no detríticas y las intermedias, se pueden presentar de forma conjunta y su extracción se realiza al mismo tiempo, aunque se utilicen solamente los materiales que interesan.

	Mampostería. ornamental	Agregados para concreto	Escollera	Fábricas de cemento	Productos Cerámicos
Arenas		√	√		
Arcillas				√	√
Areniscas	√	√	√	√	
Cuarcitas	√	√	√		
Margas		√		√	√
Calizas	√	√	√	√	√
Dolomías	√	√			
Yeso				√	

*Tabla I.7 Utilización de rocas sedimentarias:*

La diversidad de composición y de características de las rocas sedimentarias mencionadas, hace aconsejable un estudio separado de cada una de ellas.

Las **gravas** están formadas por los fragmentos de roca redondeados que han resistido sin disgregarse, el proceso de erosión, transporte y sedimentación. Aunque pueden tener una composición muy variable, las hay de granito, de esquistos, etc; las más comunes son las gravas silíceas y las gravas calizas.

Las gravas silíceas son duras, formadas por cuarzo que ocupa el puesto 7 en la escala de Mohs (escala que se explicará mas adelante, tabla I.10) y también son resistentes. Son muy apreciadas como agregados para concretos y mezclas asfálticas, si bien en estas últimas hay que tener en cuenta el carácter electronegativo del sílice. A veces se necesitan que tengan caras de fractura y entonces se trituran.

Las gravas cálcicas son más blandas que las silíceas. La calcita ocupa el puesto no. 3 en la escala de Mohs y suele tener una resistencia menor, también se utilizan como agregados para concretos y mezclas asfálticas, teniendo buena adhesividad con cementos y sobre todo con materiales bituminosos. Su baja dureza no permite utilizarlos como agregados en las mezclas asfálticas para capas de rodadura, pues se pulen fácilmente, dando superficies resbaladizas. Además de la utilidad como agregado, las gravas limpias también se utilizan en las capas de filtro en las presas de materiales sueltos, como rellenos estructurales por su buen comportamiento con una ligera compactación y como rellenos en zanjas drenantes.

Lo dicho para las gravas, es aplicable también a las arenas, tanto en su composición como en su resistencia y comportamiento. Las más utilizadas son las silíceas y las calizas, con los problemas que las primeras tienen en la fabricación de mezclas asfálticas. Su principal utilidad es como agregado, pero también se utiliza como filtro en presas de materiales sueltos, relleno de zanjas drenantes, etc.

Mencionando solo como referencia, los limos, que son partículas finas cuyo tamaño está comprendido entre 0.008 mm y 0.002 mm (Malla 200 según, ASTM) y que están constituidas fundamentalmente por partículas de sílice o caliza o ambas, se diferencian de las arenas en que tienen algo de plasticidad, pero menor a las de las arcillas. Uno de sus usos es como material de relleno compacto pero este puede colapsar por inundación y además, se erosiona fácilmente.

Las arcillas son los silicatos aluminicos de diferentes elementos. Aparte de su composición distinta a los limos, suelen tener propiedades coloidales y los limos no. También suelen tener mayor plasticidad (en esto se basó Casagrande para hacer la diferenciación entre arcillas y limos). Como material para rellenos compactados se utiliza para construir núcleos impermeables en las presas de materiales sueltos. Cuando se excava en desmontes se utiliza como material de relleno en terraplenes, salvo el caso de arcillas muy plásticas.

Los **conglomerados** son rocas formadas fundamentalmente por gravas cementadas y las areniscas están formadas por arenas cementadas. Estas gravas pueden ser calizas o silíceas. Se diferencian de la sustancia cementante entre estos. El cementante puede ser silíceo, calizo o arcilloso o una mezcla entre éstos. El cementante de peor calidad es el arcilloso produciendo rocas fáciles de deteriorar.

Las rocas más duras son las que están formadas por clastos silíceos con cementante silíceo formando una roca cuarcítica. Los materiales preparados con este tipo de rocas son duros y resistentes y tienen un comportamiento ácido cuando se utilizan para preparar mezclas bituminosas.

En la ejecución de obras lineales, los estratos de arenisca están intercalados entre estratos de margas y en su colocación en obra se hace forma conjunta con estas, formando parte de los pedraplenes.

Las **margas** constituyen el grupo de rocas intermedias en las que existe una matriz detrítica arcillosa con un cemento calizo, mezclándose los componentes detríticos y no detríticos. En función del contenido de carbonatos se distinguen varios tipos de marga (tabla. I.8) denominándose así a las rocas arcillosas con un contenido en carbonatos entre el 30 y 80 %.

El comportamiento de las margas depende no solamente del contenido de carbonatos, sino también del tipo de arcilla que integre la roca. Si la arcilla es expansiva, su sensibilidad al agua será mayor que si no lo es.

% Carbonatos 0		% Arcilla 100
20	ARCILLA	80
30	ARCILLA - MARGOSA	70
40	MARGA – ARCILLOSA	60
60	MARGA	40
80	MARGA – CALCAREA	20
90	CALIZA – MARGOSA	10
100	CALIZA	0

*Tabla I.8 Clasificación de las margas*

Es muy frecuente que por las condiciones de la cuenca de sedimentación, las margas contengan yeso, lo que produce una agresividad a los concretos.

Las margas se explotan principalmente para obtener la materia prima para la fabricación de cemento, aunque en raras excepciones se presenta la mezcla en los porcentajes adecuados.

Su importancia en obras públicas viene dada por su extensión y por la interferencia con las obras lineales que se realizan, en particular en las grandes excavaciones en desmonte y los consiguientes rellenos que, dada la alterabilidad de estas rocas, deben compactarse en forma adecuada.

La roca **caliza** está formada principalmente por cristales de calcita. Como rocas calizas se engloban aquellas que tiene más de un 90% de carbonato cálcico, pudiendo estar formado el 10% restante por arcillas, dolomita, cuarzo, o una combinación de ellos.

La caliza es la roca que tiene mayor consumo, correspondiéndole más de la mitad de la producción de rocas industriales. Constituye una de las rocas más importantes en las obras públicas y en la edificación. Con éstas se han construido escolleras en presas y diques de puertos, pedraplenes y respaldos de presas. Es la roca de mayor consumo para la fabricación de agregados de todo tipo.

Tiene una composición que presenta muy buena adherencia para la fabricación de concretos y mezclas asfálticas. Su principal inconveniente radica en su baja dureza, lo que produce un desgaste elevado a la abrasión, aún en estado sano. Además de ser, junto con las arcillas, las materias primas más importantes para la fabricación del cemento, es la materia prima fundamental para la fabricación de la cal.

Las **dolomías** son rocas constituidas fundamentalmente por dolomita. Es más dura que la caliza, entre 3 y 4 en la escala de Mohs, es resistente a los ácidos y un peso específico superior al de la caliza de  $2.85\text{gr/cm}^3$

Calcita % CO <sub>3</sub> Ca 100		Dolomita % (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca Mg 0
90	CALIZA	10
50	CALIZA – DOLOMITICA	50
10	DOLOMIA – CALCICA	90
0	DOLOMIA	100

Tabla I.9 Clasificación de rocas carbonatadas

El **yeso** es un mineral blando. Ocupa el puesto no. 2 en la escala de Mohs, pudiéndose rayar con la uña. La forma de presentarse de los yesos es no solo como potentes estratos de estos, sino en finas capas o nódulos diseminados en las rocas arcillosas. Se utiliza para formar el yeso usado en la edificación. También es utilizado en la fabricación del cemento como retardador del fraguado. Es altamente soluble y agresivo con los concretos.

### I.2.4 Rocas metamórficas.

Metamorfismo es un término utilizado para indicar la transformación de las rocas en nuevos tipos, por la cristalización de sus constituyentes; el término se deriva del griego, meta que significa cambio y morfe que significa forma. Resultan de la transformación de otras rocas, comúnmente bajo la superficie, ocasionado por la temperatura, la presión y la actividad química de los fluidos. La roca original puede ser ígnea o sedimentaria y los cambios que sufre resulta de la adición de calor o del efecto de la presión, energía que es suficiente para movilizar los constituyentes de los minerales cuya composición y red cristalina están en equilibrio con las condiciones existentes.

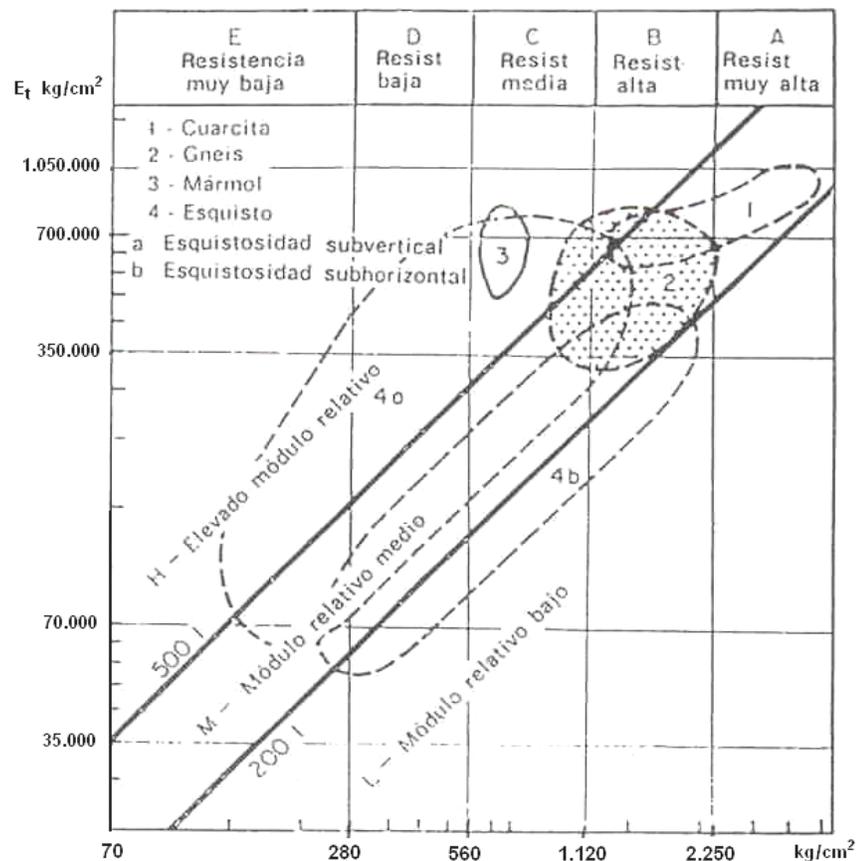


Figura I.4 Clasificación de rocas metamórficas intactas

Las rocas metamórficas se pueden clasificar en tres grupos, dependiendo de la composición de las rocas sedimentarias que proceden:

Derivadas de rocas arcillosas: Pizarras, esquistos, micacitas, gneis, migmatitas

Derivadas de rocas cuarcíferas: Cuarzitas

Derivadas de rocas carbonatadas: Mármoles

Las **pizarras** y **esquistos** son rocas arcillosas que han sufrido un metamorfismo bajo y medio. Es muy variable la composición y características de estas rocas. En general tienen una resistencia baja y no son rocas adecuadas ni para escolleras ni para agregados del concreto.

Debido a las cantidades que se excavan al hacer carreteras, se construyen pedraplenes con ellas, requiriendo estudios más extensos que los de otras rocas, tanto frente a su alterabilidad como a su compactabilidad, tomando precauciones para construir rellenos compactos.

Las **micacitas**, que están principalmente compuestas por micas, no se utilizan en la construcción, pero debido a la economía que supone su utilización, cuando se excava en desmontes, se utilizan para ejecutar pedraplenes, pero presenta problemas de estabilidad debido a su forma de laja.

Los **gneis** son el resultado de un mayor metamorfismo que los esquistos y su utilización depende de este grado de metamorfismo, pudiendo ser utilizados para la fabricación de agregados para escolleras y mamposterías.

Las **cuarcitas**, derivadas de la metamorfización de rocas sedimentarias silíceas, están compuestas principalmente de cuarzo, puesto no.7 en la escala de Mohs, por tanto resultan muy resistentes. Se utilizan como agregados para el concreto y para fabricar mezclas asfálticas ya que su resistencia al desgaste en capas de rodamiento evitan que estas se vuelvan deslizantes al paso del tránsito.

Los **mármoles** son el resultado de la metamorfización de rocas calizas. Son rocas de resistencia media y su utilidad principal es como roca ornamental.

### **I.3 PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE UNA ROCA.**

Características físicas y mecánicas de las rocas

- Densidad aparente
- Peso específico
- Porosidad
- Resistencia a la tensión
- Resistencia a la compresión
- Resistencia al desgaste
- Resistencia al choque
- Homogeneidad
- Dureza
- Grado de abrasividad

Para la utilización de los agregados pétreos se requieren determinar características relacionadas con el tipo de obra, que pueden ser diversas; como la composición química, composición mineralógica y dureza de los minerales. Principalmente se debe conocer:

### I.3.1 Dureza de los minerales.

Lo más común es definirla mediante la escala de Mohs (tabla I.10), donde se presentan 10 minerales ordenados del 1 al 10, de manera que cada uno raya al anterior y este es rayado por el siguiente:

1	Talco laminar, grafito
2	Yeso cristalizado, mica, caolinita
3	Calcita, mármol, pizarra
4	Fluorita, granito, areniscas
5	Apatita, esquistos, hematita
6	Feldespato, olivino, calcedonia
7	Cuarzo, basalto
8	Topacio, circón
9	Corindón, serpentina, rubí
10	Diamante

*Tabla I.10 Escala de Mohs*

Una forma clara de ver la diferenciación en esta tabla es que por ejemplo, la uña raya al yeso pero no a la calcita, el vidrio común raya a la apatita pero no al feldespato y el acero de un cuchillo o navaja raya al feldespato pero no al cuarzo.

### I.3.2 Absorción.

Es la relación entre el peso del agua que contiene una muestra saturada y el peso de la muestra seca expresada en tanto por ciento:

$$a = \frac{B - A}{A} \times 100$$

B.- peso de la muestra saturada

A.- peso de la muestra seca

### I.3.3 Resistencia a la abrasión.

Es la resistencia que los agregados oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión. Es una característica que suele considerarse como un índice de su calidad en general.

Esta resistencia se puede determinar mediante la prueba de dureza de Dorry o a través de las pruebas Deval y Los Ángeles, siendo esta última la más usual.

Esta prueba fue originalmente desarrollada en un laboratorio en la ciudad de Los Ángeles, EU a mediados de la década de los 20's del siglo pasado y a esto debe su nombre.

La prueba de Los Ángeles se realiza con un aparato que consiste en un cilindro hueco de acero de 71.1 cm de diámetro interior, con una abertura que sirve para poder introducir la muestra junto con unas bolas de acero.

El ensayo consiste en hacer girar el cilindro a una velocidad determinada de 33 r.p.m., con la muestra de roca de un peso de 5 o 10 kgs. y las bolas correspondientes en su interior, con un peso entre 5 y 2.5 kgs, en función de la granulometría ensayada. El número de vueltas que da el cilindro con la muestra y las bolas es de 500 o 1000.

Al terminar, la muestra se pasa por la criba del No. 12, el material retenido se lava y se seca y después se pesa. El resultado de la prueba indica el porcentaje en peso del material que pasa por la malla respecto del peso inicial de la muestra.

$$L.A. = \frac{M_i - M_p}{M_i} \times 100$$

M<sub>i</sub> = peso inicial de la muestra ( 5 o 10 kgs.)  
 M<sub>p</sub> = peso final de muestra retenida por la malla

Entre más bajo sea este coeficiente, más dura es la roca.

Resultados de la prueba de Los Ángeles inferiores a 20 denotan rocas de muy buena calidad; si son inferiores a 30, corresponden a calidad que se puede considerar buena y menores de 40 son de calidad regular; porcentajes mayores a éstos corresponden a rocas de baja calidad.

<b>Coefficiente Los Angeles</b>	<b>Calidad</b>
< 20	Muy buena
20 – 30	Buena
30 – 40	Regular
40 – 50	Baja
> 50	Mala

Tabla I.11. Resultados de la prueba de Los Angeles

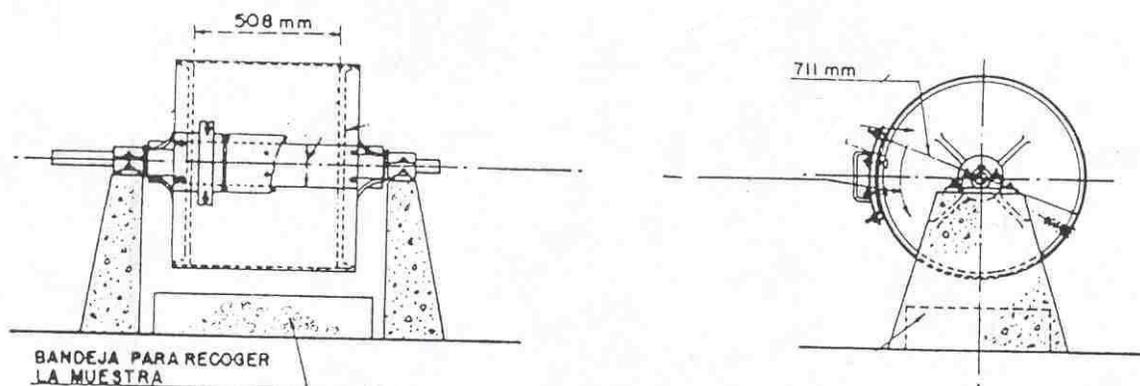




Fig. 1.5 Esquemas y fotos del equipo que sirve para realizar la prueba de Los Ángeles, en el extremo inferior derecho se ven las bolas de acero que se mezclan con la muestra.

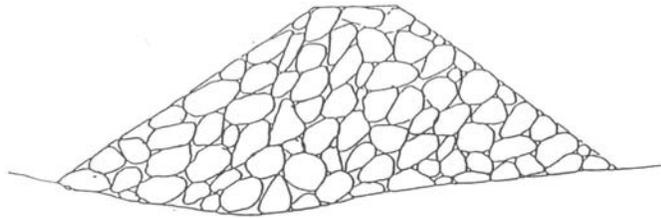
### I.3.4 Resistencia a compresión simple.

Es la máxima carga unitaria que soporta una probeta cuando se le somete a una carga determinada. El ensayo consiste en aplicar dicha carga a una probeta aproximando dos platos de una prensa a una velocidad determinada, de tal forma que la probeta rompa entre 5 y 15 minutos de comenzado el ensayo.

### I.4 TIPOS DE RELLENOS.

Los rellenos que se llevan a cabo en las obras públicas, se pueden clasificar en 3 tipos: terraplenes, pedraplenes y escolleras.

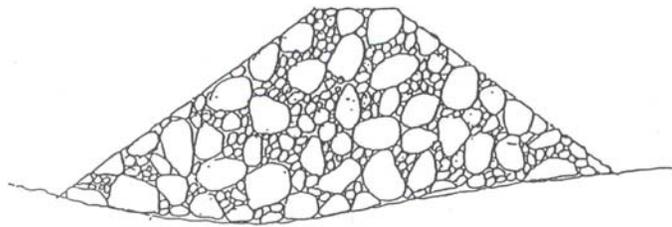
Un relleno se denomina **escollera** cuando el material utilizado tiene una granulometría uniforme y sus gránulos son, en general, de gran tamaño.



*Escollera*

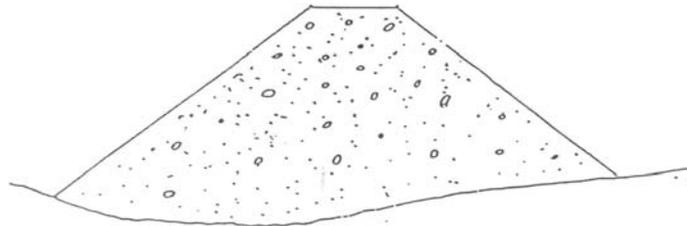
En el caso de los puertos y obras hidráulicas, se exige que la granulometría sea uniforme, pero los volúmenes de cada elemento suelen ser grandes, en función de las acciones que tengan que soportar. En carreteras, en general, los tamaños utilizados suelen ser menores que los exigidos en puertos, ya que en estos, una condición de diseño es la altura de la ola.

Un relleno se denomina **pedraplén** cuando el material granular utilizado tiene una granulometría continua y un contenido muy bajo de finos. El relleno así formado se comportará en función de los elementos gruesos.



*Pedraplén*

El relleno se denomina **terraplén**, cuando el material granular utilizado es un suelo o se comporta como si lo fuera. Granulométricamente deben tener un contenido de gruesos muy bajo o un contenido de finos muy alto



*Terraplén*

### **I.5 AGREGADOS PARA CONCRETO.**

En una mezcla de concreto hidráulico convencional, los agregados representan entre el 60% y el 75% del volumen de todos los componentes, de aquí la influencia que las características y propiedades de los agregados representan en el concreto.

Generalmente se producen por vía húmeda, para evitar que con la presencia de finos, haya un consumo excesivo de cemento.

Los tamaños utilizados, de acuerdo con normas de la ASTM son:

Grava # 4	6"	-	3"
Grava # 3	3"	-	1 1/2"
Grava # 2	1 1/2"	-	3/4"
Grava # 1	3/4"	-	1/4"
Arena	1/4"	-	0

*Tabla I.11 Tamaños de agregados para concretos*

En el uso normal del concreto convencional, el requisito mínimo consiste en dividir los agregados en dos fracciones cuya frontera nominal es 4.75 mm, que corresponde a la abertura de la malla No.4 según ASTM, siendo la denominación y los intervalos nominales de estas fracciones como sigue:

<b>Denominación de fracciones</b>	<b>Intervalo nominal (mm)</b>	<b>Malla correspondiente</b>
Agregado fino (arena)	0.075 – 4.75	No. 200 – No. 4
Agregado grueso (grava)	4.75 – variable <sup>(*)</sup>	No. 4 - <sup>(*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Depende del tamaño máximo de la grava que se utilice.

La granulometría del agregado proporciona información útil sobre la distribución del tamaño de las partículas del mismo dentro de una muestra. Para su determinación se requiere pasar dicha muestra por una serie de tamices o mallas con diferentes aberturas. El juego de mallas comúnmente utilizada es el siguiente:

No. de malla	Abertura (mm)	
3	76.20	<b>GRAVA</b>
1 ½	38.10	
¾	19.05	
⅜	9.53	
4	4.75	
8	2.38	<b>ARENA</b>
16	1.19	
30	0.60	
50	0.30	
100	0.15	
200	0.075	

Tabla I.12 Clasificación de gravas y arenas

Se definirán como finos al material que pasa la malla No. 200

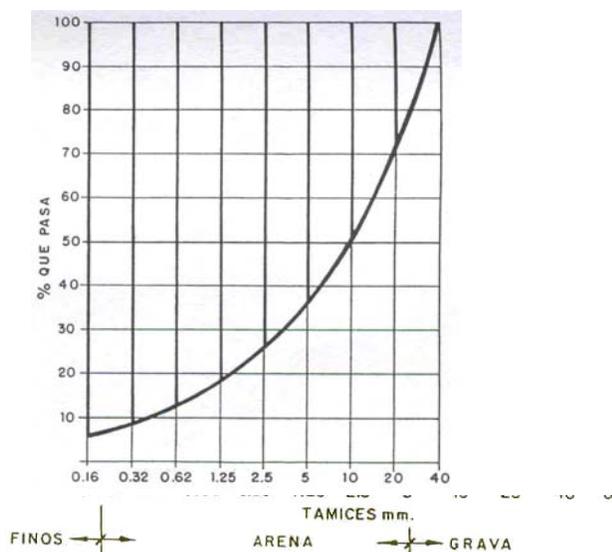


Fig. I.6 Granulometría de los agregados para fabricar concreto

La roca que constituye el agregado debe ser sana, resistente y no debe reaccionar con los componentes del cemento.

Una característica del concreto es su peso unitario y se considera que el peso normal de un concreto oscila entre 2200 y 2550 kg/m<sup>3</sup> y su resistencia puede variar dependiendo la obra en que se vaya a utilizar, entre 70 y 1200 kg/cm<sup>2</sup>.

Los agregados de peso normal comúnmente proceden de la desintegración, por causas naturales o mediante la trituración de rocas con peso específico entre 2.4 y 2.8 ton/m<sup>3</sup> de manera que al utilizarlos se obtienen concretos en el intervalo antes mencionado.

Para el uso del concreto en obras grandes, como sería el caso de una presa, se deben considerar varios aspectos en cuanto al uso de agregados se refiere.

Para el suministro de agregados se debe realizar un reconocimiento de la zona dentro de límites definidos, tomando como punto de partida el sitio de la obra hasta una distancia aproximada de 100 km a la redonda, e inclusive mayor dependiendo de las condiciones de acceso, la existencia y estado de las vías de comunicación y los costos de acarreo. Dentro de esta zona debe investigarse la existencia de yacimientos de agregados naturales y de macizos rocosos susceptibles de explotación.

Si no es posible disponer de agregados naturales de buena calidad a costo razonable, la alternativa es que el suministro se efectúe con agregados productos de la trituración.

## **I.6 AGREGADOS EN VIAS DE COMUNICACIÓN.**

### **I.6.1 Agregados para caminos y aeropistas.**

Se ha visto ya que el material a utilizar como relleno cuando se hace de pedraplén o escollera, pero la parte superior, la que va a soportar las cargas del tránsito, se construye con materiales colocados de tal manera que sean estables frente a las sollicitaciones a que va a estar sometido. Se distinguen en general cuatro capas: Sub-base, base, carpeta asfáltica y sello.

Se producen por vía seca, por ser más económico y para producir los finos que le darán continuidad a la curva granulométrica indispensable en materiales para base y carpeta. Los tamaños recomendados son:

Material de sub-base	2" – 1 ½"	-	0
Material de base:	1 ½"	-	0
Material de carpeta:	¾"	-	0
Material de sello:	3/8"	-	3/16"

### **I.6.2 Agregados para ferrocarriles.**

Se producen por vía seca por economía, los finos son desperdicio. Los tamaños recomendados son:

Balasto:	1 ½"	-	¾"
Balastino fino (screening):	¾"	-	¼"

Las exigencias para el material granular utilizado en bases para carreteras o balasto son superiores a las que se piden para las sub-bases.

## **I.7 EXTRACCION DE LOS AGREGADOS**

La extracción de las rocas a cielo abierto, tiene dos series de operaciones:

### a) Trabajos preparatorios

Antes de proceder a la extracción del material, es necesario retirar los terrenos constituidos de tierra vegetal, tepetate, limos y arcillas, etc., realizando las operaciones de despalme y desenraíce con motoescrepas, tractores, arados, etc., hasta dejar abierta a la pedrera con su frente

de ataque en uno o varios pisos, con las terrazas respectivas para permitir los trabajos de las máquinas de perforación, del equipo de carga y del equipo de evacuación del material extraído.

#### b) Extracción

La extracción se realiza por medios mecánicos y por explosivos. Los materiales suaves (pizarra, calizas blandas, lignito, etc.), se extraen por medio de equipos análogos a los empleados para las operaciones de despalme.

El caso más general, es la extracción por medio de explosivos, con los cuales se dislocan los macizos rocosos y se obtiene una fragmentación en bloques de un tamaño tal, que se permite su manejo con los medios de carga y de transporte disponibles, así como su entrada a la trituradora primaria.

La carga es realizada por cargadores frontales sobre neumáticos o sobre orugas, retroexcavadoras, dragas y por palas mecánicas y el transporte a la planta de trituración, por camiones de diversas capacidades. En caso de acarreo relativamente cortos el cargador frontal sobre neumáticos, puede satisfactoriamente, realizar la operación de transporte a la planta de trituración.

# Capítulo II.

## EQUIPO DE TRITURACIÓN

### II.1 GENERALIDADES.

Para obtener el tamaño de agregado deseado, que puede ser desde un tamaño de varias pulgadas hasta arenas muy finas, es necesario un proceso de reducción, llamado de trituración, que es realizado por diferentes equipos y en diferentes etapas.

Se dice que una roca es triturada, cuando una fuerza es aplicada con la suficiente energía para romper las fuerzas internas o planos especialmente frágiles que existen dentro de la roca.

La primera aplicación de energía a la roca, para poder extraer el producto deseado, es la voladura a través de explosivos en un banco de materiales o cantera (también conocida como gravera). La voladura es una forma muy efectiva para la extracción de material. Una voladura correctamente ejecutada transforma a una parte de un macizo rocoso en fragmentos de roca de tamaños adecuados para que sean aceptados por una planta trituradora. La mitad de la roca volada es, por lo general, más pequeña a 8", pero algunos fragmentos de roca pueden llegar a tamaños de 50" o más. Una voladura pobre o realizada con poca energía, tiene como resultado, muchos pedazos de tamaños grandes que requieren de un proceso secundario de voladura, al no tener el tamaño adecuado para que sean aceptados por la trituradora primaria y por consecuente se tiene un costo mas elevado.

Para dar una idea muy general, se puede resumir el proceso de trituración de la siguiente manera: A partir de la voladura de un macizo rocoso, llamado material en greña, (ejem: caliza) o de la extracción de piedra suelta de un río (ejem: aluvión) que contienen rocas de diferentes dimensiones e impurezas (como limo o arcilla); el proceso consiste en una serie de reducciones hechas en distintas etapas y por distintos equipos, puestos en serie en una línea de producción, con el objeto de obtener agregados limpios de diferentes tamaños y clasificarlos, hasta llegar, si así se requiere, a arena.

La cantidad de energía aplicada a una unidad de roca se relaciona directamente con el tamaño de reducción requerido. Esto se aplica tanto a maquinaria de trituración como a la propia voladura. La cantidad de potencia requerida en cualquier trituración básicamente está en función de tres factores:

1. Resistencia del material a triturar
2. Tamaño de reducción que se va a efectuar (índice de reducción)
3. La cantidad de material que se va a triturar por unidad de tiempo (ton/hr)

Si se da un énfasis a la potencia de la trituradora y se aplica una reducción de tamaños muy grande, puede resultar en la generación excesiva de finos, lo cual puede no ser deseable.

El objetivo de la trituración en la producción de agregados, es la reducción de tamaño en un rango específico de tamaños. Por consiguiente, el controlar los grados de fractura en una roca y realizarlos en varias etapas de triturado y cribado, son un concepto fundamental y de vital importancia.

Como ya se mencionó, los diferentes tamaños de agregados se obtienen en distintas etapas, desde la inicial, llamada trituración primaria, pasando por trituraciones consecutivas, llamadas

secundarias, terciarias y hasta cuaternarias, donde el producto final es la arena muy fina. En cada etapa se va clasificando el material en diferentes categorías granulométricas. Para poder realizar lo anterior, se cuenta con equipo de trituración y equipo complementario, es decir, máquinas que no participan directamente en la trituración, pero son indispensables en la realización de los procesos necesarios para la transformación del material en gréña, a material útil que reúna ciertas especificaciones.

## II.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TRITURADORAS.

Las trituradoras se clasifican de acuerdo a la fase de trituración que realizan dentro del mismo proceso, como primarias, secundarias, terciarias (ver figura II.1). La trituradora primaria recibe la roca directamente del acarreo proveniente del banco de roca o del río y se obtiene la primera reducción de tamaño. Este material va a otra trituradora para realizarle otra reducción y así puede pasar hasta, por lo general, a otras 2 o 3 trituradoras hasta reducirlo al tamaño requerido.

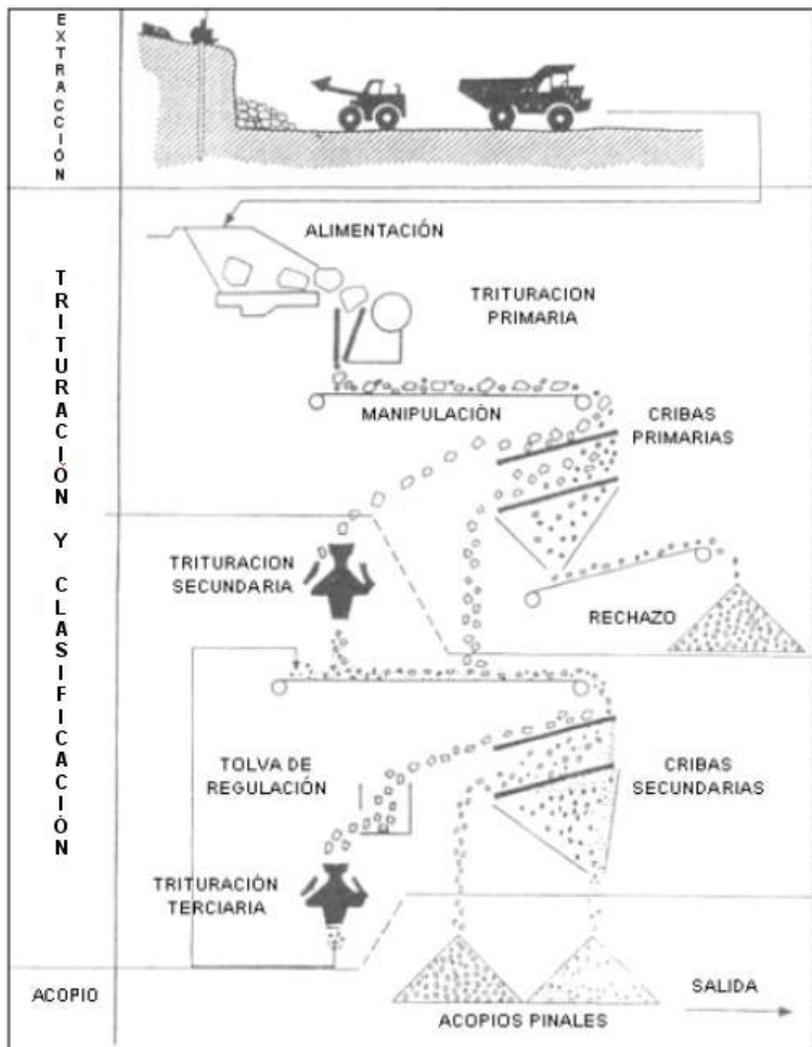


Fig. II.1 Proceso de trituración.

No obstante que la cantidad de energía aplicada a una unidad de roca determina el tamaño de la reducción, el tipo de aplicación de dicha energía tiene una mayor influencia en cómo se rompen o fracturan las rocas.

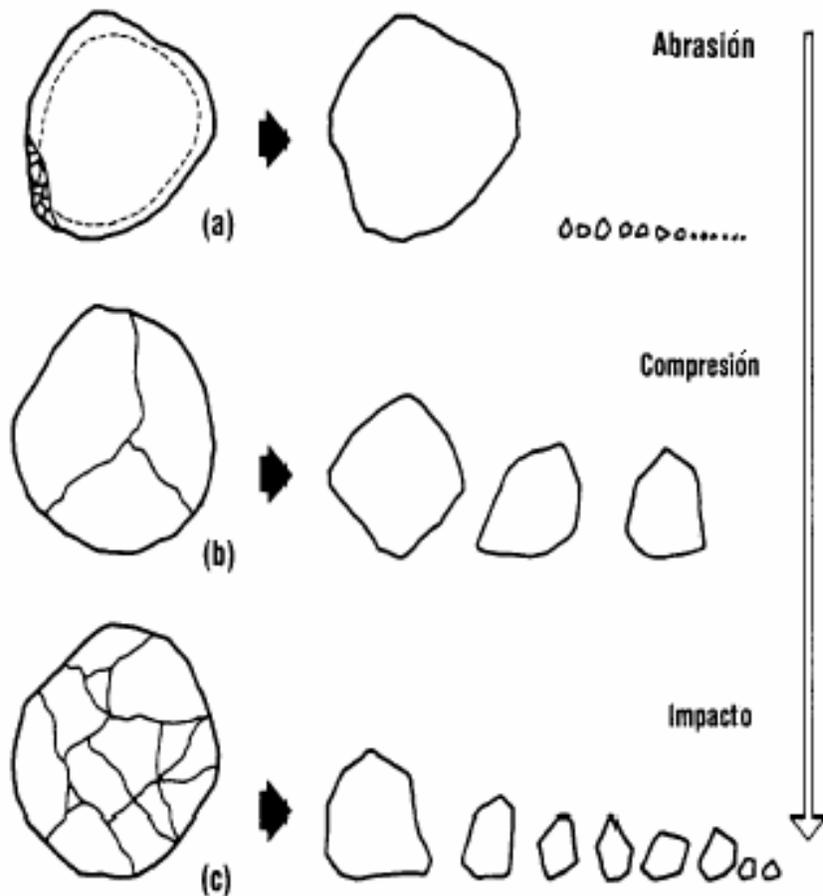
Las rocas se fracturan debido a tres causas principales:

- 1.- Abrasión o desgaste
- 2.- Compresión
- 3.- Impacto

Abrasión.- Ocurre cuando la energía aplicada no es suficiente como para causar una fractura significativa en toda la roca. Fig. II.2 (a)

Compresión.- La energía resultante es aplicada en algunas regiones de la roca hasta un punto de fractura y el resultado es una cantidad considerable de rocas de menor tamaño. Comúnmente esto ocurre bajo condiciones de compresión donde la roca se alivia inmediatamente después de la carga que recibe. Fig. II.2 (b)

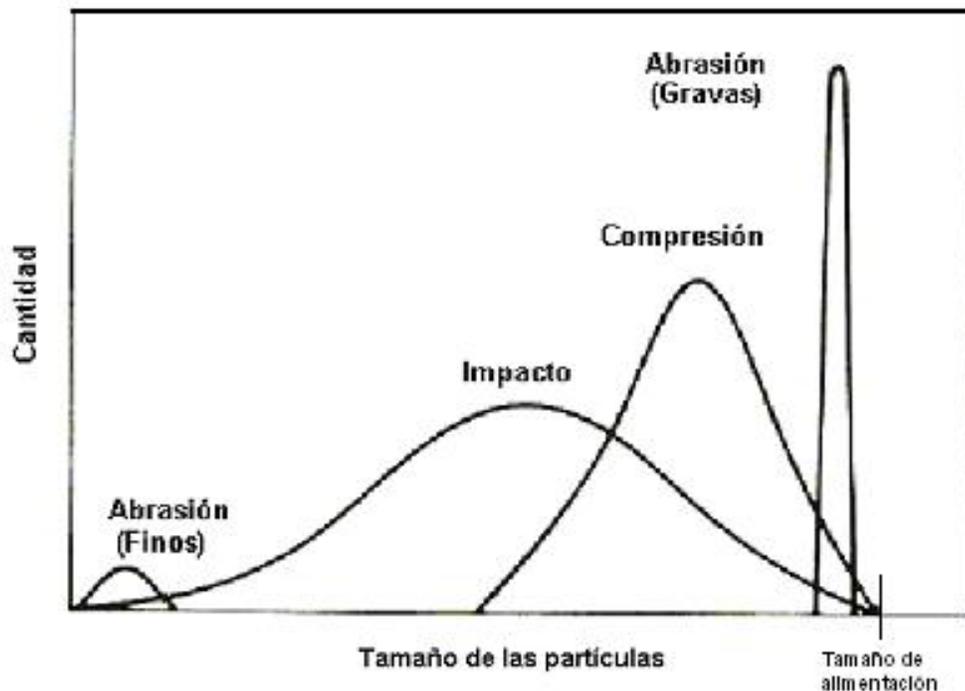
Impacto.- El resultado es un número mayor de fracturas y por lo tanto varios tamaños de rocas. Fig. II.2 (c)



*Fig. II.2 Formas de fractura de las rocas, según su causa. La flecha indica el sentido de aumento de la intensidad de la energía utilizada para producir la fractura.*

Todas estas formas de trituración ocurren en diferentes niveles de intensidad en todas las trituradoras comerciales. No obstante, las diferentes trituradoras provocan un solo tipo de fractura, predominantemente.

La figura II.3, muestra una distribución probable de los diferentes tamaños del producto, resultado de las anteriores formas de trituración. Se debe de tener en cuenta que se obtienen diferentes características del producto con los distintos procedimientos de triturado dependiendo de las especificaciones dadas.



*Fig. II.3 Representación del mecanismo de fractura de la roca y la distribución de tamaños del producto.*

La reducción de tamaño en las rocas se obtiene por medio de la aplicación de esfuerzos hasta provocar la ruptura o falla de la roca por medio de los mecanismos de compresión, desgaste, impacto o una combinación de estos medios. Es por esto que las trituradoras también se clasifican de acuerdo al mecanismo que usan para fracturar la roca.

Las máquinas de trituración más utilizadas en las obras civiles, emplean los métodos mecánicos de reducción antes mencionados mostrados en la tabla II.1.

TRITURADORA	METODO DE REDUCCIÓN		
	IMPACTO	DESGASTE	COMPRESIÓN
QUIJADAS	√		√
GIRATORIAS	√		√
CONO	√		√
RODILLOS			√
MARTILLOS	√	√	
IMPACTO	√		
PULVERIZADOR	√		

*Tabla II.1 Métodos de reducción que utilizan las distintas trituradoras*

El cuadro siguiente, muestra las diferentes etapas de trituración y sus equipos respectivos, señalando el tamaño del agregado desde su llegada y la reducción resultante a la salida (ambas en pulgadas), así como el equipo utilizado.

<b>Trituración Primaria</b> Greña a 10" – 4"	Trituradoras de Quijadas Trituradoras Giratorias
<b>Trituración Secundaria</b> 12" – 4" a 3" – 1"	Trituradoras de Cono Trituradoras de Rodillo Trituradoras de Impacto
<b>Trituración Terciaria</b> 3" – 1" a ¾" - ¼"	Trituradoras de Cono Trituradoras de Rodillo Trituradoras de Martillos
<b>Trituración Cuaternaria                  ó Molienda</b> ¾" a ¼" a menor de ¼"	Trituradora de Conos Molinos de Barras Molinos de Bolas Pulverizadoras

Las trituradoras de quijadas, de cono y de rodillo son máquinas que aplican una fuerza de compresión a la roca que se encuentra entre sus superficies de trituración. Diferencias de tamaño, configuración de la cámara de trituración, velocidad y la forma de realizar la compresión, las hacen adecuadas a diferentes fases de la trituración. Una característica común de las trituradoras por compresión es que el producto debe pasar por una abertura dada, que puede ser ajustada, al final del proceso. La demanda de energía eléctrica o combustible, el volumen de producción y el control del producto dependen de la abertura de salida. Otra característica común es que la energía disponible varía al cuadrado de la velocidad de rotación y que la cantidad de energía que una roca puede absorber se basa en su masa y en su dureza. Las rocas grandes rompen más fácilmente al impacto que las pequeñas. Las trituradoras de impacto, como el nombre lo indica, producen una fuerza de impacto a gran velocidad para efectuar la fractura y requieren de alguna forma de control en la tasa de alimentación para controlar su demanda de energía.

Las trituradoras de quijadas son típicas como unidades primarias debido a sus grandes ventajas mecánicas. Las trituradoras giratorias también son usadas como primarias. Estas trituradoras son excelentes primarias porque proveen una trituración continua y pueden manejar material en forma de laja a diferencia de las trituradoras de quijadas que no manejan muy bien este tipo de material. Se utilizan diferentes modelos de trituradoras de conos, de rodillos y de impacto en aplicaciones secundarias y terciarias.

Para decidir cuál es el equipo de trituración apropiado para resolver un determinado problema de producción de agregados, es necesario tener en consideración tanto la naturaleza de la materia prima por procesar como el trabajo idóneo para cada tipo de trituradora y de esta manera, realizar una selección de equipo técnica y económicamente conveniente.

### II.3 CONCEPTOS BÁSICOS.

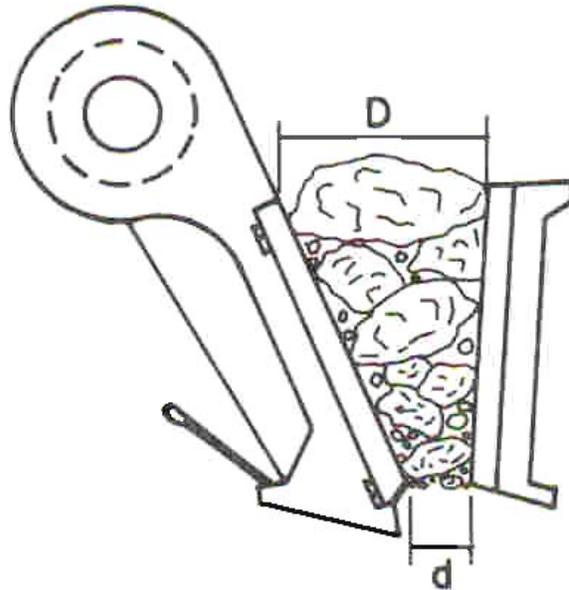
Dos de los conceptos básicos que definen el comportamiento y campo de aplicación de los diferentes tipos de trituradoras son el índice de reducción y el coeficiente de forma.

#### II.3.1 Índice de reducción.

Al pasar las rocas a través de la trituradora, su reducción en tamaño puede ser expresado como una relación de reducción, llamado índice de reducción, que es la relación de proporción entre el tamaño de la roca a la entrada de la trituradora con respecto a la del producto a la salida.

Para una trituradora de quijadas, el índice de reducción se calcula dividiendo la distancia entre la quijada fija y la móvil de la parte alta de la trituradora, por la distancia de abertura al fondo de la misma. Así que, si la abertura a la entrada es de 16 “ y a la salida es de 4”, el índice de reducción es de 4 a 1 (es adimensional).

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



*Fig. II.4 Índice de reducción de una trituradora de quijadas.*

El índice de reducción de una trituradora de rodillos puede ser estimado como el radio de la dimensión de las piedra más grande que puede ser triturada por los rodillos, dividido por la distancia más pequeña entre ellos.

Este índice de reducción varía según el tipo de la trituradora. Sus valores medios son:

Tipo de trituradora	Índice de reducción
Quijada	4:1-9:1
Giratoria	3:1-10:1
Cono secundario	4:1-6:1
Rodillo sencillo	Máximo 7:1
Rodillo doble	Máximo 3:1
Impacto	15:1
Martillos	20:1
Molino de barras	15:1
Molino de bolas	30:1

Tabla II.2 Índice de reducción de las trituradoras

### II.3.2 Coeficiente de forma.

Este coeficiente indica una relación supuesta entre la forma del agregado y una esfera imaginaria circunscrita a él, es decir, se considera un fragmento de roca, cuya dimensión lineal mayor sea "L" y sea "v" el volumen real de dicho fragmento, ahora se considera el volumen de una esfera "V" cuyo diámetro sea "L" (ver figura II.5).

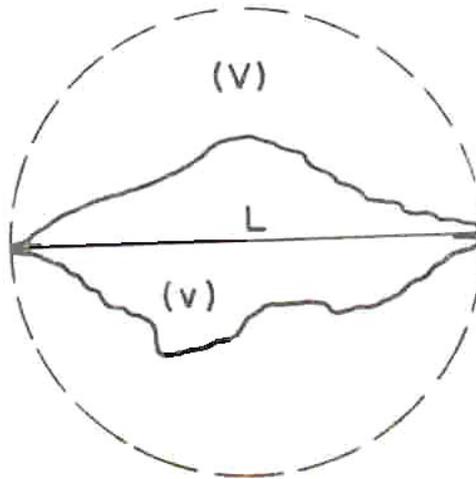


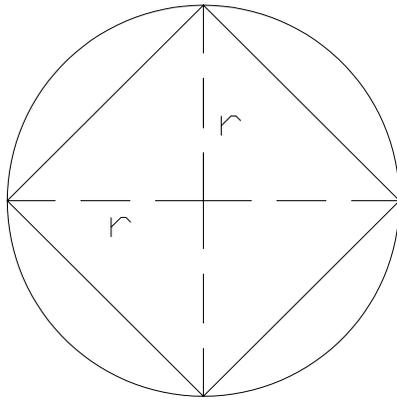
Fig. II.5

Se define como "coeficiente de forma" de dicho fragmento a la relación:

$$C_f = \frac{v}{V} = \frac{v}{\frac{\pi \times L^3}{6}}$$

Evidentemente, el coeficiente siempre será menor a 1, correspondiéndole este valor a un agregado de forma casi esférica.

Supongamos que la forma del agregado se asemeja a un cubo, el volumen de dicho cubo inscrito en la esfera supuesta se puede analizar de la siguiente manera:



De la figura tenemos que:

$$l = \sqrt{r^2 + r^2} = \sqrt{2r^2} = r\sqrt{2}$$

El volumen del cubo de lado “ $l$ ” será, en términos de “ $r$ ”:

$$V_{cubo} = l^3 = (r\sqrt{2})^3 = 2^{3/2} r^3$$

Obteniendo el coeficiente de forma:

$$Cf = \frac{V_{cubo}}{V_{esfera}} = \frac{2^{3/2} r^3}{\frac{4}{3} \pi r^3} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} = 0.67$$

De la aplicación de esta fórmula se obtienen, en los fragmentos más comunes, los valores promedio siguientes:

Forma de fragmento	Valor del Coeficiente de Forma
Esférico	1
Cúbico	0.67
Canto rodado	0.34
Grava triturada	0.22
Lajas	0.07
Agujas	0.01

*Tabla II.3 Coeficientes de forma.*

Los dos últimos tipos de fragmentos (lajas y agujas), generalmente se prohíben por las normas de calidad de control de agregados pétreos admitiéndose como máximo de 5% a 8% en peso, debido a que por su forma resultan partículas débiles con mucha tendencia a fracturarse.

De esta manera, son preferibles los agregados de formas redondeadas y es deseable que las partículas sean equidimensionales, es decir, se deben evitar las formas demasiado irregulares y angulosas. Por ejemplo, para los concretos de muy alta resistencia, el agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, 100 por ciento triturado y con un mínimo de partículas planas y alargadas.

Considerando que toda partícula puede ser inscrita en un prisma (fig. II.6) de longitud (l), ancho (a) y espesor (e), normalmente se definen como partículas planas las que tiene un ancho mayor de tres veces su espesor y alargadas aquellas cuya longitud es mayor de tres veces su ancho.

La presencia de partículas planas y/o alargadas, tanto en los agregados naturales como en los manufacturados se considera indeseable porque reduce la manejabilidad de las mezclas, dificulta el acomodo y la compactación de la mezcla y afecta la resistencia en el caso del concreto endurecido. Debido a esto, es frecuente que en las prácticas recomendadas y en las especificaciones de obra se limite su contenido.

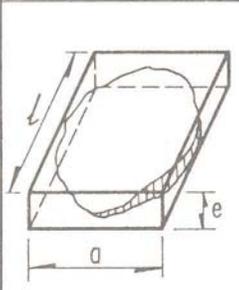
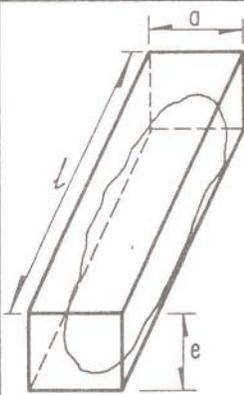
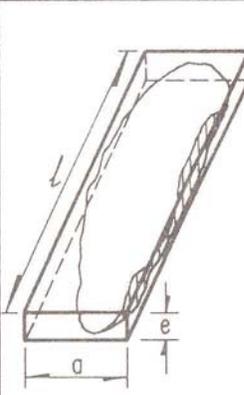
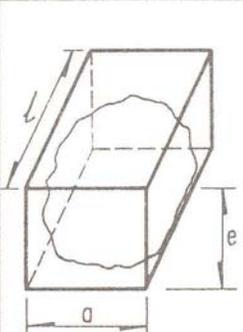
Partículas planas (lajeadas)	Partículas alargadas (oblongadas)	Partículas planas y alargadas (tabulares)	Partículas equidimensionales (cúbicas o esféricas)
			
$\frac{a}{e} > 3$ $\frac{l}{a} < 3$	$\frac{l}{a} > 3$ $\frac{a}{e} < 3$	$\frac{a}{e} > 3$ $\frac{l}{a} > 3$	$l \approx a \approx e$ $\frac{a}{e} < 3$ $\frac{l}{a} < 3$

Fig. II.6 Definición de formas de partículas en los agregados.

### II.3.3 Introducción a la producción de agregados.

Los diferentes constructores de trituradoras proveen especificaciones técnicas referentes a los factores que influyen en el rendimiento de sus máquinas. Estas especificaciones contienen diferentes gráficas de capacidad y graduación que permiten al usuario una selección aproximada del equipo que pueden necesitar, sin embargo, estas gráficas no pueden abarcar todas las distintas características para los diferentes diseños de plantas a considerar.

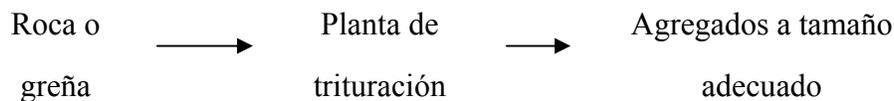
El tamaño de alimentación a la trituradora varía en su capacidad y en el análisis del producto, pero esto no es, por lo general, considerado en las gráficas de producción. Además, el desgaste normal de las superficies de trituración puede tener considerables efectos en el rendimiento de la

trituradora. El triturar roca abrasiva requiere de frecuentes pruebas de rendimiento para confirmar que los parámetros de operación están dentro de los límites aceptables.

El objeto de la trituración de agregados es el de la reducción de tamaño a un rango de tamaño y forma específico con un mínimo de finos no deseados.

Cualquier trituración genera un rango de agregados desde finos hasta gravas de diferentes tamaños. La proporción de tamaños producidos en una máquina dada, está relacionado con el índice de reducción. Las trituradoras que operan con un alto índice de reducción tienden a sobre triturar el producto deseado y generar demasiados finos. Cuando se requiere de un mínimo de finos, las trituradoras deben operar con índices de reducción bajos, en circuito cerrado con una criba para poder recircular el material que requiera de una nueva trituración. Este material será de menor tamaño que el de la alimentación original y por consiguiente decreta el índice de reducción dentro de la trituradora.

El proceso para la producción de agregados es el siguiente:



Los objetivos centrales en la producción de agregados son:

- Cumplir las normas de tamaño y calidad.
- Producir el agregado al costo mínimo posible.

El equipo de trituración, básicamente sigue siendo el mismo que hace 50 años, pero la tecnología ha cambiado enormemente y sobre todo hay que destacar la automatización que se ha hecho en casi todas las partes del proceso, incrementando así, la eficiencia de las plantas de trituración.

Para poder realizar una buena selección de equipo es necesario conocer las características del equipo de trituración.

## **II.4 TRITURACIÓN PRIMARIA.**

Es la primera etapa de reducción de los materiales pétreos. En esta etapa se convierte el material producto de la explotación del banco de roca o "greña" a fragmentos entre 12" y 4".

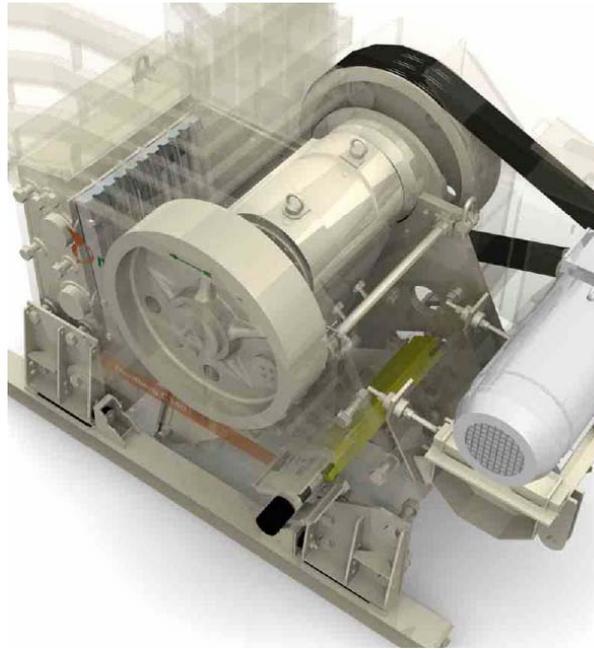
Como se mencionó anteriormente, el equipo más común lo constituyen las trituradoras de quijadas y las giratorias, aunque dependiendo de la naturaleza de la roca, es decir, el tipo de roca y su grado de intemperización, a veces resulta más conveniente utilizar otro tipo de trituradoras, como puede ser la trituradora de impacto, que se describirá mas adelante.

### **II.4.1 Trituradoras de quijadas.**

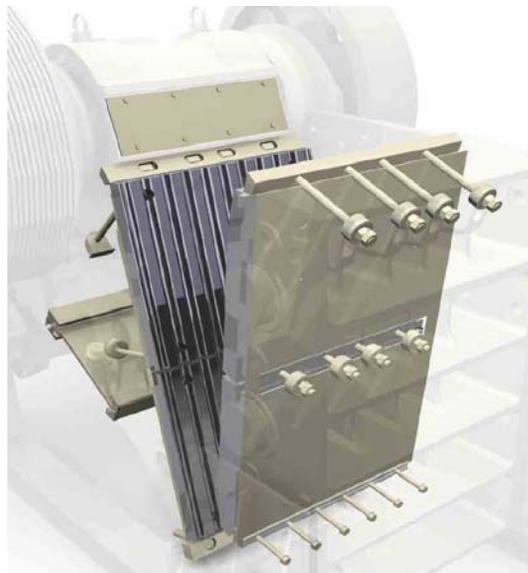
Las trituradoras de quijadas son de construcción sencilla y económica y requieren el mínimo de potencia, en comparación con otros equipos.

Las superficies trituradoras consisten en dos quijadas que están muy separadas de la parte superior y se aproximan hacia la parte inferior sin llegar a tocarse, esta abertura de salida puede

ser regulada o ajustada al tamaño deseado, que haya sido objeto de un diseño previo, para su optimización. Estas superficies o placas pueden ser planas o convexas.



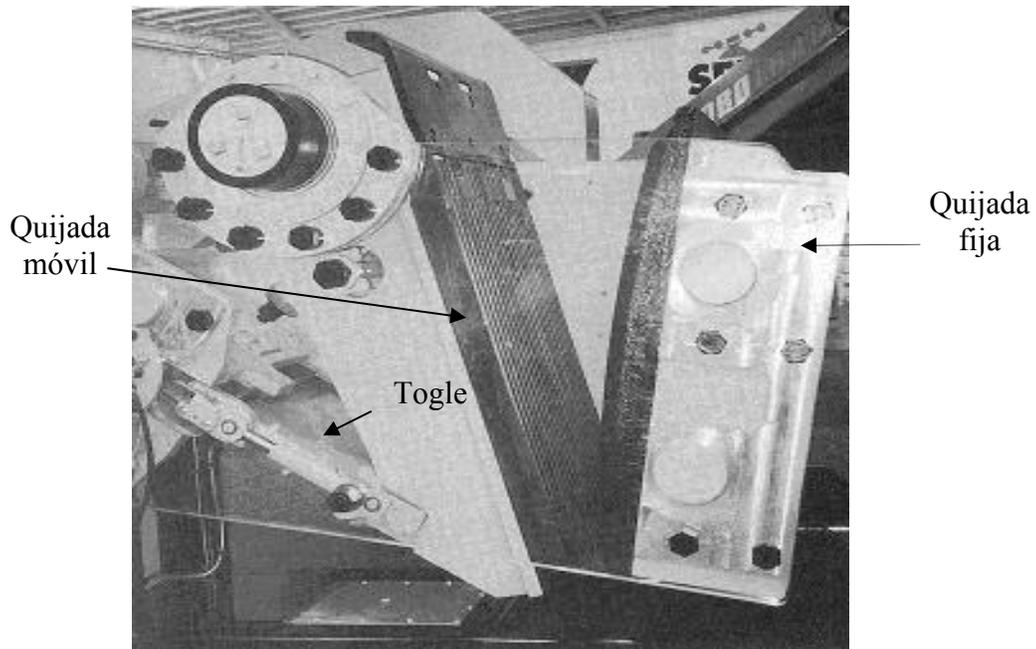
La trituradora de quijadas, es una máquina que se diseñó a principios del siglo XX y que en realidad ha sufrido pocos cambios, pudiéndose señalar entre ellos la lubricación automática a base de aceites, la regulación hidráulica de la abertura de salida y los elementos de desgaste.



*Vista de las placas de una trituradora de quijadas.*

Estas máquinas funcionan permitiendo a la roca deslizarse entre el espacio comprendido entre las dos quijadas, una está fija mientras la otra es móvil (ver fig. II.7). El espacio entre la quijadas disminuye conforme la roca desciende gracias a la gravedad y al movimiento de vaivén de la quijada móvil hasta que la roca pasa por la abertura a la salida de la trituradora. La quijada móvil es capaz de ejercer una presión lo suficientemente fuerte como para romper hasta la roca más dura. Estas trituradoras están diseñadas con un togle en la parte más débil. El togle funciona

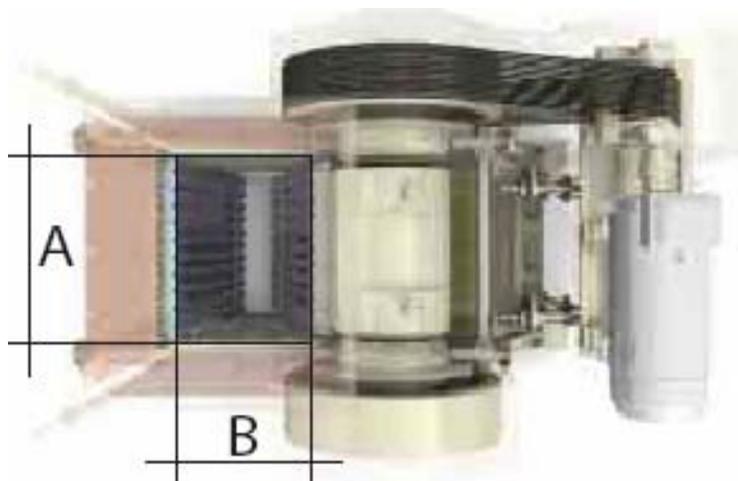
como un fusible y se romperá o saforá si en la trituradora entra un objeto metálico o si se sobrecarga. Esto limita el daño a la trituradora.



*Fig. II.7 Trituradora de quijadas.*

Este tipo de trituradora es la más usada para realizar esta primera etapa de trituración tanto en plantas móviles como en la mayoría de las instalaciones fijas de producción de agregados para la industria de la construcción.

Las trituradoras de quijadas se fabrican en una gran variedad de tipos y tamaños. Se clasifican de acuerdo con el tamaño del rectángulo que constituye la abertura de la boca ( $A \times B$ ), vista en planta.



*Medida de la trituradora de quijadas.*

Las más comunes son de los tamaños mostrados en la siguiente tabla.

10" x 16"	22" x 50"	40" x 50"
10" x 21"	25" x 40"	44" x 48"
10" x 30"	30" x 42"	50" x 60"
12" x 36"	30" x 55"	55" x 66"
15" x 24"	36" x 23"	66" x 84"
20" x 36"	36" x 48"	79" x 59"
20" x 44"	38" x 58"	

*Tabla II.4 Tamaños de las trituradoras de quijadas.*

El funcionamiento de la máquina es el siguiente: Una quijada está fija, la otra está unida al pitman o brazo de la excéntrica, que está unido a una placa de articulación y a un punto de apoyo de resorte. En la parte superior el brazo está montado sobre una flecha excéntrica que gira entre dos pesados volantes. La rotación de la flecha hace girar el brazo y a la quijada, inclinándose primero hacia la quijada fija, luego alejándose de ella. La barra de transmisión o togle empuja en toda su longitud a la quijada. Esta está sujeta a casquillos removibles por medio de resortes gruesos. Tiene una ranura para producirle una zona de debilidad que permite que se rompa antes que otras partes de la trituradora, si llegan a entrar pedazos de acero entre las quijadas.

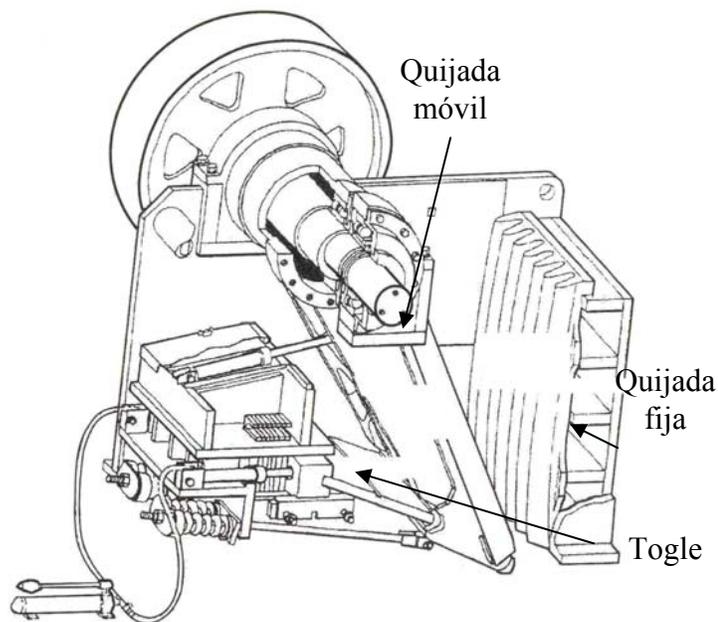
El ajuste de tamaño entre las quijadas, para regular la abertura de salida al tamaño que deben triturar el producto, se hace moviendo la placa de transmisión hacia adelante, generalmente por medio de separadores metálicos, llamados laines, colocados detrás del casquillo del bastidor. Aunque en las trituradoras modernas este ajuste se realiza de manera hidráulica y totalmente automatizada.

Las rocas que entran a la "V" formada por las quijadas se quiebran por presión, luego caen al moverse la quijada hacia atrás. Este proceso se repite hasta que las rocas se reducen a fragmentos lo suficientemente pequeños para que pasen a través del espacio angosto en el extremo inferior de las quijadas.

El diámetro máximo de roca esférica que pueden aceptar es de aproximadamente el 80% del ancho de la abertura.

#### **Trituradoras de quijadas de togle sencillo.**

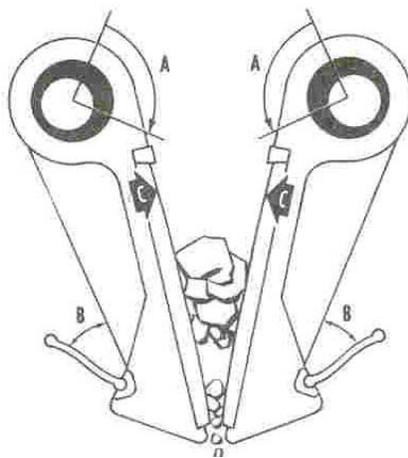
Cuando la flecha excéntrica de la trituradora de togle sencillo gira, como el de la figura II.8, da a la quijada móvil tanto movimiento vertical, como horizontal. Este tipo de trituradora es usada frecuentemente en plantas de trituración móviles debido a su tamaño compacto, peso ligero y una robusta construcción. Esta trituradora de quijadas es la mas popular.



**Fig. II.8 Trituradora de quijadas de togle sencillo.**

**Trituradora de quijadas de doble togle.**

En algún tiempo se utilizaron este tipo de trituradoras, pero hoy prácticamente han quedado en desuso debido a su alto costo de adquisición y de operación. (ver fig. II.9) Una trituradora de quijadas de doble togle tiene una quijada móvil suspendida de una flecha montada en la estructura de la trituradora. La rotación de una segunda flecha, que es excéntrica y que está localizada atrás de la quijada móvil, levanta y baja a la biela o “pitman”, actuando dos togles, y estos producen la acción de trituración. Mientras la biela o pitman levanta los dos togles, una presión mayor es ejercida cerca del fondo de la quijada oscilante que cierra parcialmente la abertura al fondo de las dos quijadas. Esta operación es repetida mientras la flecha excéntrica gire. Las trituradoras de doble togle son grandes y pesadas y no son una buena opción para aplicaciones móviles.



**Fig.II.9 Trituradora de quijadas de doble togle.**

Las placas de las quijadas son reemplazables y pueden ser lisas o convexas.

La tabla II.5 muestra capacidades representativas para varios tamaños de trituradoras de doble togle. Para seleccionar una trituradora de quijadas, se debe considerar el tamaño de la roca al entrar a la trituradora. Las tablas de capacidades pueden estar basadas en la abertura a la salida de la trituradora, ya sea al momento de abrir o cerrar, por tanto, la tabla deberá especificar cuál aplica. La posición cerrada es comúnmente usada para la mayoría de trituradoras y es la base para la tabla mostrada. Sin embargo, estas trituradoras de doble togle están frecuentemente clasificadas en la posición abierta. La capacidad está dada en toneladas por hora para un material standard de 1.6 ton/m<sup>3</sup> al triturar.

Tamaño de la trituradora [in.(mm)]**	Máximo rpm	Máxima potencia (kW)	Abertura fijada a la salida de la trituradora [in. (mm)]														
			1	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	7	8	9				
			(25.4)	(38.1)	(50.8)	(63.5)	(76.2)	(102)	(137)	(152)	(178)	(203)	(229)				
10 x 6 (254 x 406)	300	15 (11.2)	11 (10)	16 (14)	20 (18)												
10 X 20 (254 X 508)	300	20 (14.9)	14 (13)	20 (18)	25 (23)	34 (31)											
15 X 24 (381 X 610)	275	30 (22.4)		27 (24)	34 (31)	42 (38)	50 (45)										
15 X 30 (381 X 762)	275	40 (29.8)		33 (30)	43 (39)	53 (48)	62 (56)										
18 X 36 (458 X 916)	250	60 (44.8)		46 (42)	61 (55)	77 (69)	93 (84)	125 (113)									
24 X 36 (610 X 916)	250	75 (56.0)			77 (69)	95 (86)	114 (103)	150 (136)									
30 X 42 (762 X 1,068)	200	100 (74.6)				125 (113)	150 (136)	200 (181)	250 (226)	300 (272)							
36 X 42 (916 X 1,068)	175	115 (85.5)				140 (127)	160 (145)	200 (181)	250 (226)	300 (272)							
36x48 (916 X 1,220)	160	125 (93.2)				150 (136)	175 (158)	225 (202)	275 (249)	325 (294)	375 (339)						
42 X 48 (1,068 X 1,220)	150	150 (111.9)				165 (149)	190 (172)	250 (226)	300 (272)	350 (318)	400 (364)	450 (408)					
48 X 60 (1,220 X 1,542)	120	180 (134.7)					220 (200)	280 (254)	340 (309)	400 (364)	450 (408)	500 (454)	550 (500)				
56 X 72 (1,422 X 1,832)	95	250 (186.3)						315 (286)	380 (345)	450 (408)	515 (468)	580 (527)	640 (580)				

Tabla II.5. Capacidades representativas para una trituradora de quijadas de doble togle, en toneladas por hora de roca (toneladas métricas, entre paréntesis).

### Tamaños de producto de una trituradora de quijadas.

Mientras que la abertura establecida en la descarga o abertura de salida de la trituradora determinará el máximo tamaño de roca producida, los tamaños de agregados variarán desde un tamaño ligeramente mayor al de la salida de la trituradora hasta arena muy fina. La experiencia obtenida en la industria de la trituración indica que por cada abertura dada para una trituradora de quijadas, aproximadamente el 15% de la cantidad total de roca que pasa a través de la trituradora será más grande que la fijada. Si la abertura de la criba que recibe el material que sale de dichas trituradoras son del mismo tamaño que el de la salida de la trituradora, 15 % de este material no pasará a través ésta.

La figura II.10 indica los porcentajes de material que pasan o son retenidos en las cribas, teniendo las aberturas indicadas de la trituradora. Puede ser aplicada tanto a trituradoras de quijadas como de rodillos. Para leer esta figura se considera lo siguiente: La línea vertical corresponde a la abertura de salida de la trituradora, luego recorra esta línea verticalmente hasta el número que indique el tamaño de abertura de la criba o malla; de este número muévase horizontalmente hacia la izquierda para determinar el porcentaje de material que pasará a través de la criba o muévase hacia la derecha para determinar el porcentaje de material retenido en la criba.

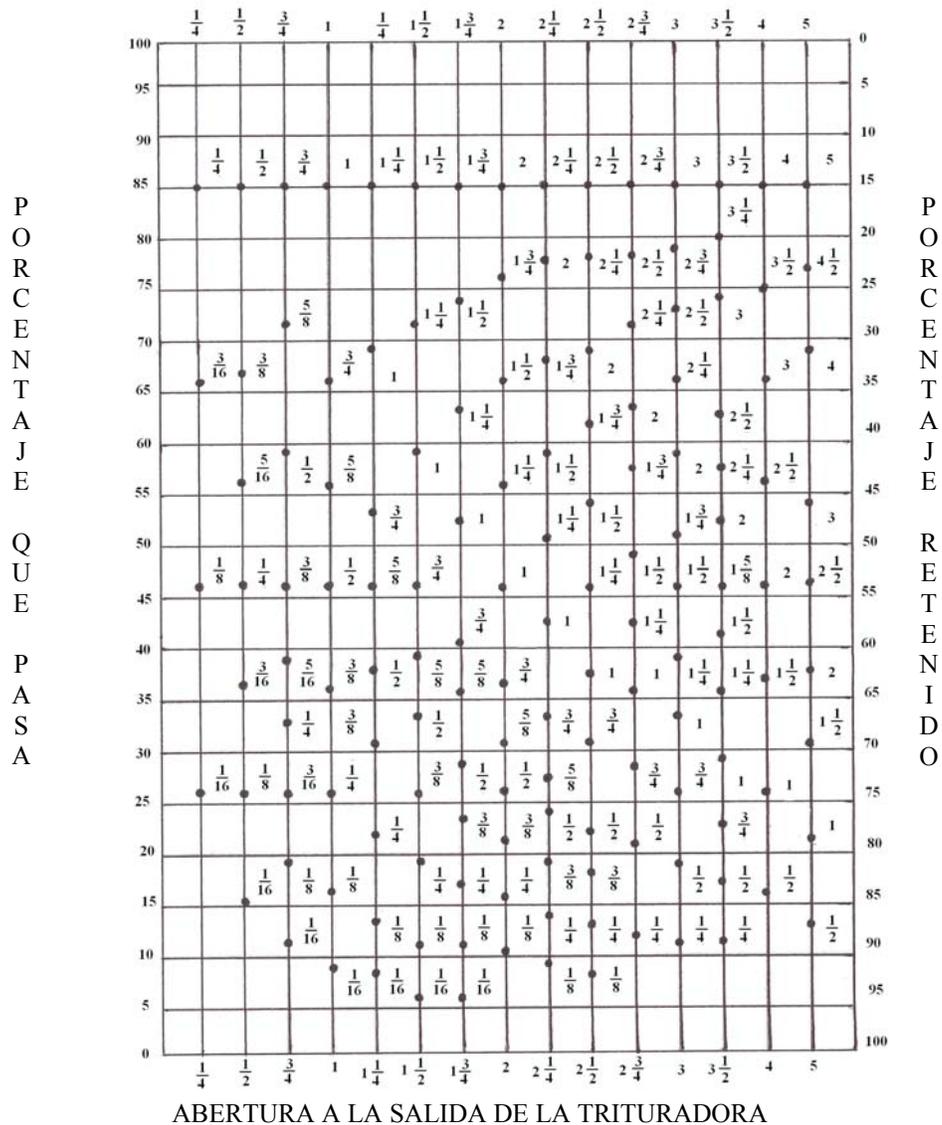


Fig. II.10 Porcentajes de material que pasan o son retenidos por las aberturas de las mallas indicadas. El eje horizontal representa la abertura a la salida de la trituradora, el vertical, los porcentajes.

Dentro del mercado de trituradoras primarias, la marca *Metso Minerals* cuenta con una serie de producción denominada serie "C" que se basa en una construcción de bastidor sin soldaduras. Este diseño ofrece una resistencia alta a la fatiga y numerosas posibilidades de montaje.

La línea de la serie C incorpora 2 tipos de modelos. El primero es el de trituradoras de quijadas de tipo tradicional, diseñadas para aplicaciones tanto fijas como móviles (C80, C100, C3054,

C110, C125, C140, C145, C160, C200). El segundo tipo se ha diseñado para adaptarse a las necesidades de la trituración móvil de tamaño pequeño o mediano (C95, C105).

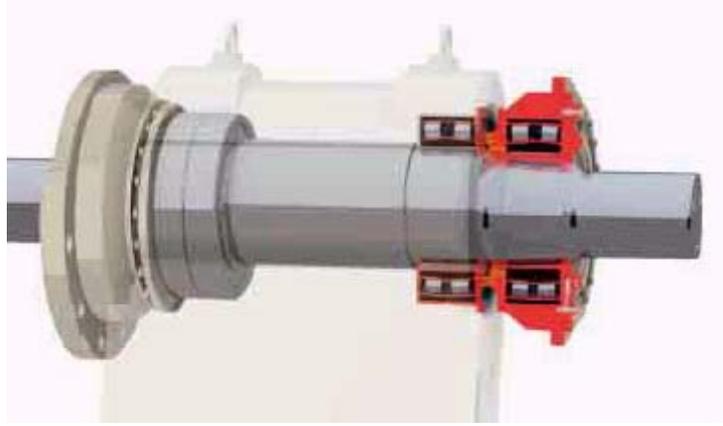
La construcción del bastidor consiste en dos placas laterales de acero laminado en caliente, unidas a bastidores de acero fundido mediante rebordes mecanizados con alta precisión y asegurados por pernos. La ausencia de inductores de tensión, como los cordones de soldadura, tienen la función de proporcionar una mejor resistencia frente a las cargas de impacto.



La biela es accionada por dos volantes de inercia macizos de acero o hierro fundidos, un eje excéntrico de gran tamaño y cuatro grandes rodamientos de rodillos cilíndricos del mismo tamaño. Los rodamientos se lubrican con grasa y están protegidos de cualquier contaminación mediante juntas.



Gracias al uso de componentes de acero fundido, la trituradora puede ser regenerada o reconstruida de forma económica después de un considerable número de años de uso. Estas reparaciones resultan poco rentables o imposibles de realizar en el caso de otros diseños de trituradora.



La relación entre el ancho de la abertura de alimentación y la profundidad de la cavidad asegura el mínimo de bloqueos y evita que la trituradora tenga una altura innecesaria.



Las trituradoras de quijadas de esta serie cuentan con una larga carrera excéntrica acoplada a un ángulo de placa basculadora elevado que aumenta el vaivén en la descarga de la trituradora. El vaivén largo, combinado con la velocidad adecuada, la inercia de los volantes y la potencia de trituración disponible dan como resultado un buen rendimiento de trituración. El funcionamiento con ajuste reducido, así como el método elegido para el ajuste, permite obtener productos más finos en comparación con otras trituradoras.

Se han desarrollado muchos tipos de quijadas (fig. II.11) para optimizar el rendimiento de estas trituradoras, para distintas aplicaciones como canteras convencionales, minas, graveras y reciclaje de asfalto y material de demoliciones. Los perfiles de los dientes, así como el grosor de las quijadas, están optimizados y combinados con aleaciones de acero al manganeso para aumentar la productividad y minimizar los costos de funcionamiento.

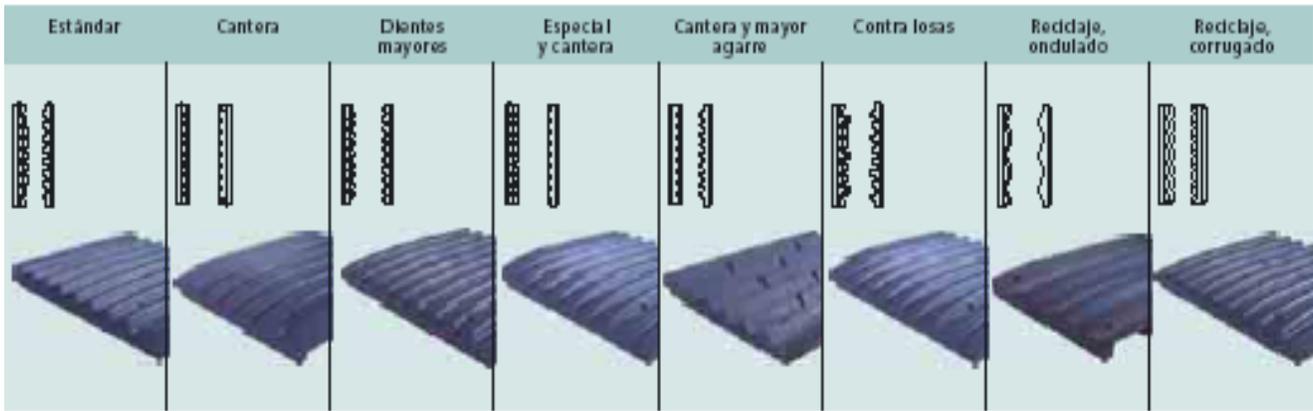


Fig. II.11 Tipos de placas o de quijadas.

	C95	C105	C80	C100	C3054	C110	C125	C140	C145	C160	C200
Ancho de la abertura de alimentación mm	930	1060	800	100	1375	1100	1250	1400	1400	1600	2000
Potencia Kw	90	700	75	110	160	160	160	200	200	250	400
Velocidad (rpm)	330	300	350	260	260	230	220	220	220	220	200
Tamaño del producto mm											
Lado cerrado ajuste mm	ton/h	ton/h	ton/h	ton/h	ton/h	ton/h	ton/h	ton/h	ton/h	ton/h	ton/h
0-30	20										
0-35	25										
0-45	30										
0-60	40		55-75								
0-75	50		65-95								
0-90	60	105-135	80-110								
0-105	70	125-155	135-175	95-135	125-175	210-270	160-220				
0-120	80	140-180	155-195	110-150	145-200	240-300	175-245				
0-135	90	160-200	175-225	125-175	160-200	260-330	190-275				
0-150	100	175-225	195-245	140-190	180-250	285-365	215-295	245-335			
0-185	125	220-280	245-315	175-245	220-310	345-435	260-360	295-405	325-445	335-465	
0-225	150	265-335	295-375	210-290	265-365	405-515	310-430	345-475	380-530	395-545	430-610
0-260	175	310-390	345-435	245-335	310-430	465-595	350-490	395-545	435-605	455-625	495-695
0-300	200		390-500		355-490	530-670	405-555	445-615	495-685	510-710	560-790
0-340	225							495-685	550-760	570-790	625-880
0-375	250							545-755	610-840	630-870	685-965
0-410	275									690-950	745-1055
0-450	300										815-1145
											1015-1435

Tabla II.6 Capacidades y especificaciones técnicas de las trituradoras de quijadas serie C de Metso Minerals.

Las capacidades anteriores se basan en un material con una masa específica media de 2.7 ton/m<sup>3</sup> y un tamaño máximo alimentado que entre sin problemas en la cámara de trituración. Las capacidades pueden variar en función del método de alimentación y de características de alimentación como la graduación, la densidad bruta, la humedad, el contenido de arcillas y la facilidad de trituración. La medición del ajuste de la boca de salida de la trituradora varía en función del perfil de quijadas utilizado y afecta a la capacidad y la graduación del producto en la trituradora.

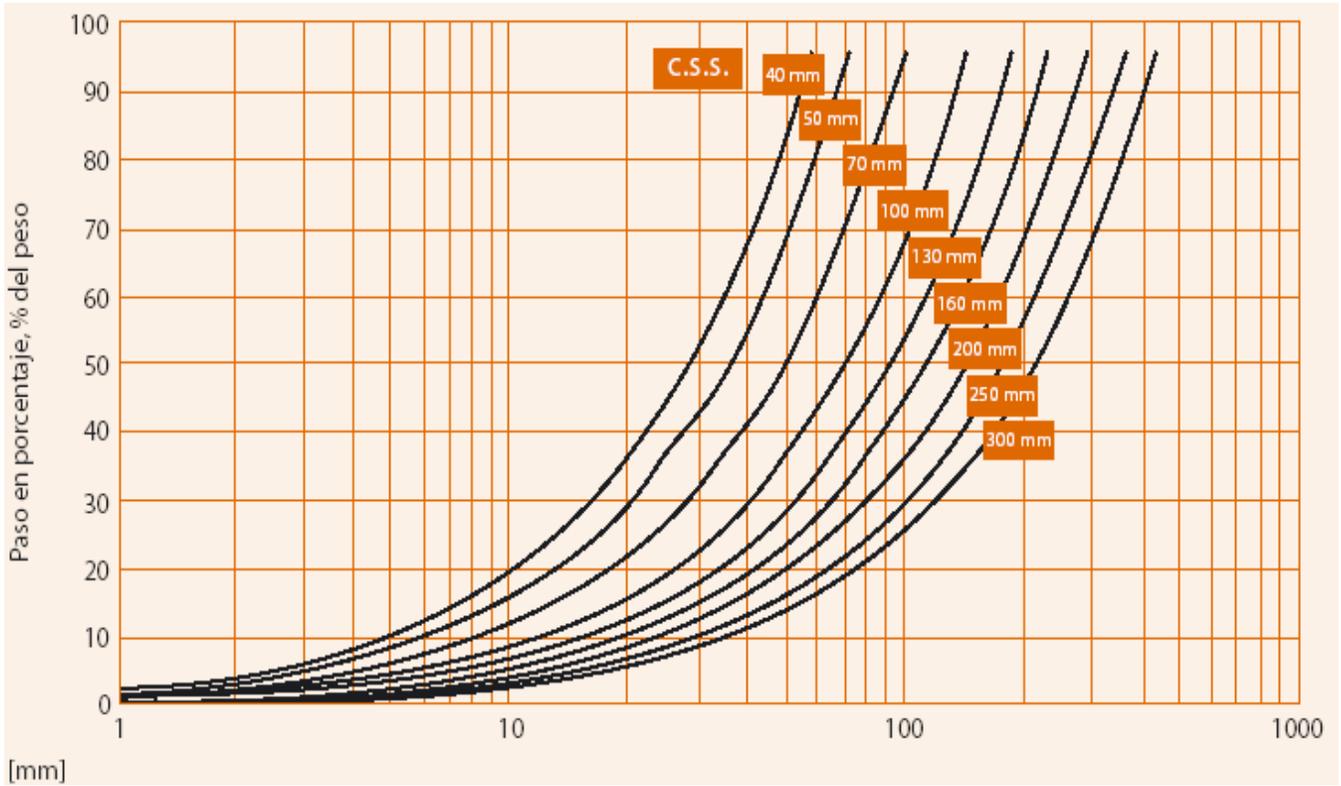
Los factores siguientes permiten ajustar la capacidad y el rendimiento de la trituradora:

1. Selección adecuada de las quijadas.
2. Graduación correcta de la alimentación.
3. Velocidad de alimentación controlada.
4. Suficiente capacidad y anchura del alimentador.

5. Área de descarga adecuada para la trituradora.

6. Banda transportadora de descarga dimensionada para transportar la máxima capacidad de la trituradora.

La siguiente gráfica muestra la granulometría del producto de las diversas trituradoras de este tipo.



*Granulometría del producto de las trituradoras serie C de Metso minerals*

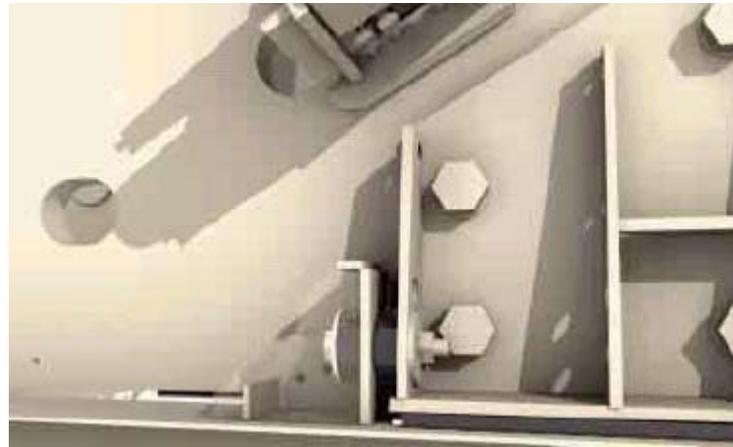
Todas estas trituradoras modernas cuentan con un sistema resistente y rápido de ajuste por cuñas. El ajuste por cuñas resulta más sencillo, más seguro y más rápido que los sistemas de ajuste de las trituradoras construidas antes de la década de los 80's del siglo pasado, por medio de separadores metálicos o laines.



El ajuste de la trituradora puede hacerse a mano y rápidamente, con herramientas que se suministran con la trituradora y sin necesidad de manejar suplementos pesados. Otra posibilidad es cambiar el ajuste de la trituradora desde una ubicación remota, incluso cuando la trituradora está llena. El sistema también resulta efectivo a la hora de vaciar la cavidad de la trituradora si llega a pararse con carga debido a interrupciones del suministro eléctrico.



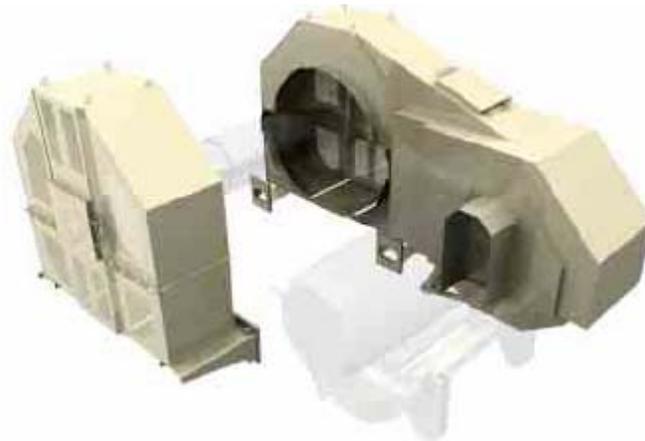
Los amortiguadores y topes de goma reducen las cargas de compresión aplicadas a la cimentación, reduciendo los picos de carga de impacto y permitiendo que la trituradora se mueva tanto vertical como longitudinalmente. Este sistema elimina la necesidad de usar pernos de anclaje, esto es de utilidad ya que los esfuerzos de anclaje pueden llegar a dañar la cimentación de la trituradora de quijadas.



La base para motor integrada está montada en el bastidor principal de la trituradora, con lo que se reducen las necesidades de espacio y la necesidad de usar correas trapezoidales muy largas. La vida útil de las correas trapezoidales se alarga ya que no existe ningún movimiento diferencial entre la trituradora y la base para motor integrada. El uso de una base para motor integrada permite utilizar protectores estándar sobre los volantes de inercia, eliminando la necesidad de trabajos de ingeniería y montaje en sus instalaciones.



Los protectores de los volantes de inercia (fig. II.12) se fijan con pernos a las placas laterales de la trituradora y protegen a los operadores de las piezas móviles que pueden resultar peligrosas. Las ventanas de inspección y las puertas de acceso permiten a los técnicos inspeccionar y darle mantenimiento a la trituradora. Su uso también permite un acceso más cómodo a la trituradora, dado que los protectores no están apoyados en la plataforma de servicio.



*Fig. II.12 Protectores de los volantes de inercia, alrededor de la trituradora.*

Existen varias características adicionales que ayudan a conseguir costos de funcionamiento e instalación reducidos. Entre ellas se encuentra el sistema de lubricación automática con grasa, distintos soportes de montaje para adaptarse a distintas alturas de alimentación, sensores de temperatura y velocidad, placas de protección y placas intermedias que permiten aumentar al máximo el aprovechamiento de las quijadas. También existen placas desviadoras que protegen a la banda transportadora de descarga de la trituradora ante las barras de acero puntiagudas que suelen aparecer en las aplicaciones de reciclaje.



*Una C125 durante la fase de instalación en una planta de trituración primaria.*

En el caso de las minas, el transporte de las trituradoras de la serie C hasta las instalaciones subterráneas se ha simplificado dado que todos los componentes principales se manejan por separado y el ensamblaje final de la trituradora se realiza bajo tierra. Este hecho influye directamente en la planificación de la mina, consiguiendo con frecuencia un ahorro considerable de costos y tiempo. El ensamblaje final bajo tierra sólo necesita los elevadores habituales y se realiza en un tiempo corto.



*Transportación y manejo en minas, en partes.*

Debido a su ajuste de tipo hidráulico, las trituradoras de quijadas de la serie C pueden integrarse completamente en los sistemas de automatización de la planta. El ajuste de la trituradora puede cambiarse desde una sala de control e incluso mientras la trituradora está cargada de material. La lubricación de los rodamientos de la trituradora puede automatizarse también. Las temperaturas de los rodamientos, la velocidad de la trituradora y los niveles de la cavidad pueden medirse e integrarse completamente en los sistemas de automatización de la planta.

Otra opción en el mercado para las trituradoras de quijadas es la marca Telsmith que ofrece trituradoras de diferentes tamaños, desde 10" x 16" hasta 55" x 66" (Fig. II.13). Todos estos modelos son de togle sencillo y algunos modelos tienen sistemas de ajuste hidráulico, que incluye entre otros dispositivos, bomba, tanque, filtro y accesorios para su instalación.

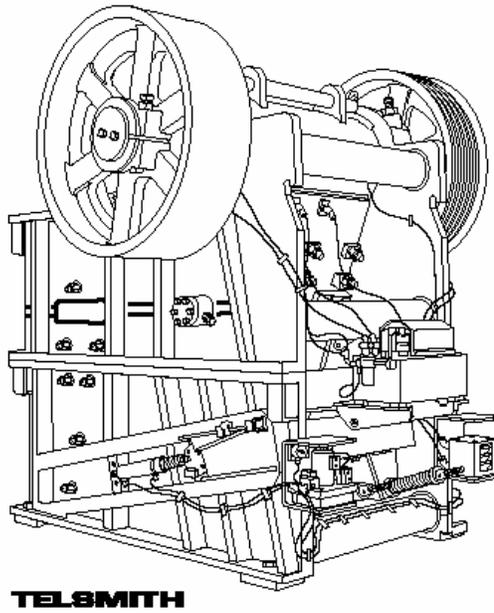


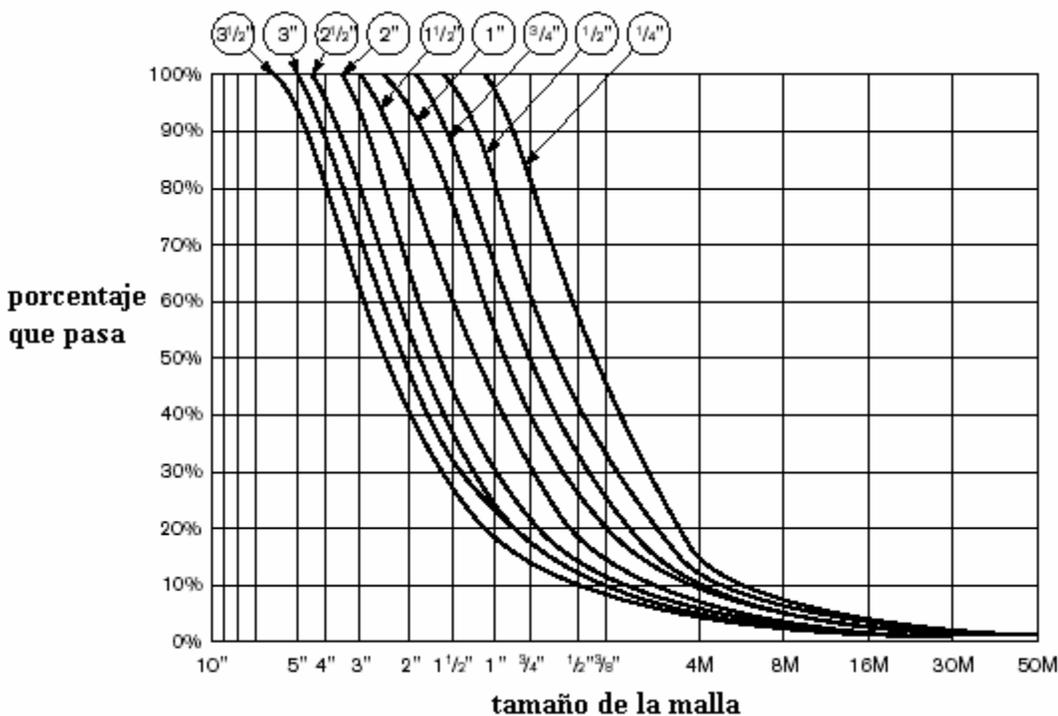
Fig. II.13 Trituradora de quijadas.

Las capacidades para estas trituradoras, en toneladas cortas por hora, son las siguientes:

Apertura a la salida	10"x16"	10"x21"	10"x30"	12"x36"	15"x24"	15"x38"	20"x36"	20"x44"	22"x50"
1/4"	6 - 8	7 - 10	13 - 20						
1/2"	8 - 11	9 - 13	17 - 25	22 - 23	17 - 25				
3/4"	9 - 13	12 - 16	20 - 29	25 - 38	21 - 30	38 - 57	45 - 85	65 - 115	
1"	10 - 15	15 - 20	23 - 34	29 - 43	25 - 35	43 - 64	52 - 95	72 - 125	170 - 250
1 1/4"	12 - 18	17 - 23	16 - 38	33 - 48	27 - 40	48 - 72	58 - 105	80 - 135	175 - 266
1 1/2"	14 - 20	19 - 26	29 - 43	36 - 54	30 - 45	53 - 79	64 - 115	90 - 151	180 - 283
2"	17 - 25	22 - 33	35 - 52	43 - 66	37 - 55	57 - 86	75 - 135	110 - 168	210 - 315
2 1/2"	-	-	-	50 - 75	43 - 65	67 - 100	85 - 155	123 - 192	230 - 343
3"	-	-	-	-	-	76 - 114	96 - 174	152 - 217	250 - 370
3 1/2"	-	-	-	-	-	85 - 128	108 - 192	167 - 243	270 - 405
4"	-	-	-	-	-	-	146 - 210	167 - 243	270 - 405
5"	-	-	-	-	-	-	165 - 250	212 - 316	330 - 475
Apertura a la salida	25" x 40"	30" x 42"	30" x 55"	36" x 48"	38" x 58"	40" x 50"	44" x 48"	50" x 60"	55" x 66"
2 1/2"	133 - 217	150 - 230							
3"	148 - 237	167 - 252							
3 1/2"	160 - 259	183 - 273	283 - 430						
4"	178 - 282	197 - 319	300 - 460	290 - 435	390 - 600				
5"	206 - 334	230 - 342	350 - 530	328 - 492	432 - 680				
6"	234 - 389	270 - 405	390 - 600	362 - 547	500 - 375	-	443 - 655	548 - 785	-
7"	266 - 444	310 - 505	430 - 670	408 - 620	530 - 800	-	500 - 750	570 - 850	670 - 995
8"	-	-	-	438 - 660	575 - 890	-	540 - 810	625 - 940	720 - 1080
9"	-	-	-	-	620 - 950	-	580 - 870	680 - 1015	785 - 1175
10"	-	-	-	-	-	-	620 - 930	745 - 1120	857 - 1280
11"	-	-	-	-	-	-	660 - 980	840 - 1190	938 - 1410
12"	-	-	-	-	-	-	700 - 1030	925 - 1260	1045 - 1565
13"								995 - 1330	1170 - 1750
14"								1065 - 1400	1310 - 1950
17"						750 - 1120			

18"						770 - 1160			
19"						800 - 1200			
20"						830 - 1250			
21"						870 - 1300			
22"						900 - 1350			

Tabla II.7 Capacidades de las trituradoras de quijadas en ton-c/h (Manual Telsmith).



Granulometría del producto de las trituradoras de quijadas de Telsmith, dadas algunas aberturas de salida.

#### II.4.2 Trituradoras giratorias.

Las trituradoras giratorias son más costosas que las de quijadas, requieren más potencia, y necesitan un espacio de dimensiones verticales mayores para su instalación, pero tienen un rendimiento mayor y producirán un material más fino y más uniforme.

Un manto giratorio montado dentro de un tazón profundo caracteriza a estas trituradoras que proveen un triturado continuo y son usadas para triturar roca dura y abrasiva. Para proteger a la trituradora de objetos metálicos y de sobre carga, la superficie externa puede safarse repentinamente o la altura del manto puede ser reajustada hidráulicamente. (ver fig. II.14)

Este tipo de máquinas se utilizan generalmente en instalaciones mineras y cementeras o en obras de ingeniería donde se necesiten producciones de más de 1000 t/h.

El tamaño de este tipo de trituradoras se designa por el diámetro de admisión, en pulgadas, (ver fig. II.15) siendo las más comunes de 8", 10", 13", 16", 20", 25", 30", 36", 42", 48", 54" y 60" y su rango de reducción varía de 3:1 a 10:1 con un promedio de 8:1.

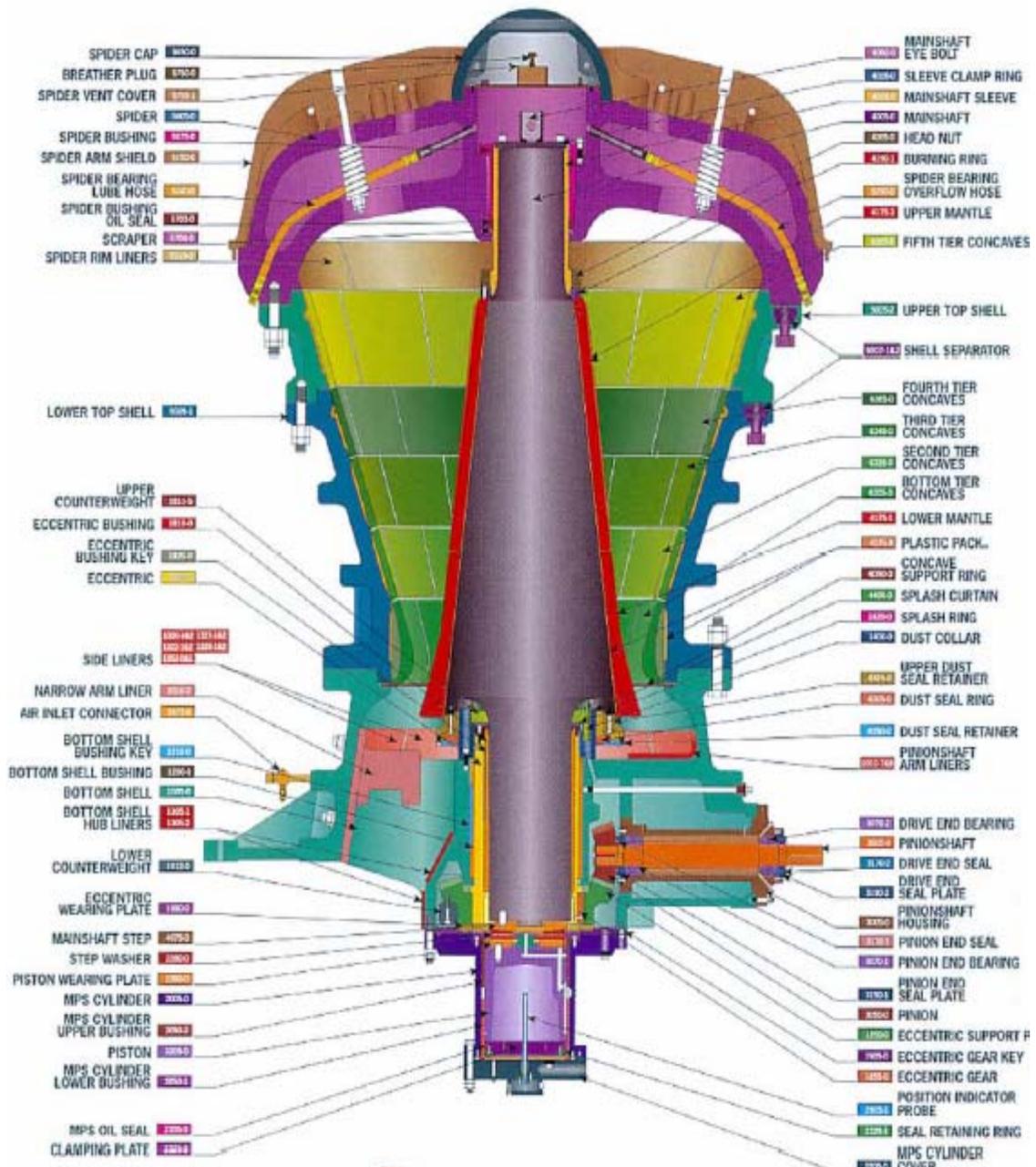


Fig. II.14 Corte de una trituradora giratoria



*Fig. II.15 a) Detalle de abertura de trituradora giratoria.*

También es de hacer notar que para la alimentación de estas trituradoras, no se requiere de ningún tipo de alimentador, sino que esta se realiza directamente del camión de carga.

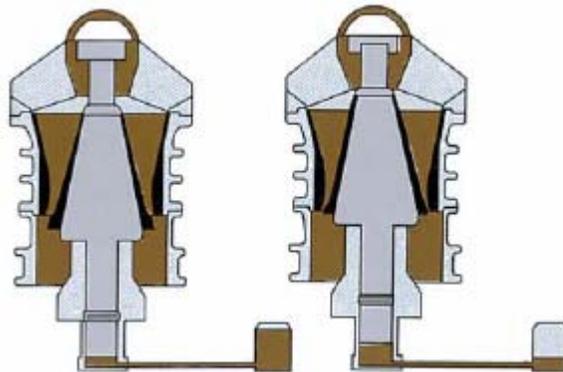


*Fig. II.15 b) Detalle de abertura de trituradora giratoria.*

La cámara de trituración ha tenido varios cambios después de muchos años, su mejor distribución en la cámara de trituración, mayor eficiencia en la utilización de la energía eléctrica y sus nuevos diseños permiten obtener una gran uniformidad en el producto.

En lo que concierne a su construcción, la flecha principal está forjada de una sola pieza y de esta manera no hay forma de que se llegue a perder alguna de sus partes. La cabeza es reemplazable, de tal forma que protege a la flecha del desgaste.

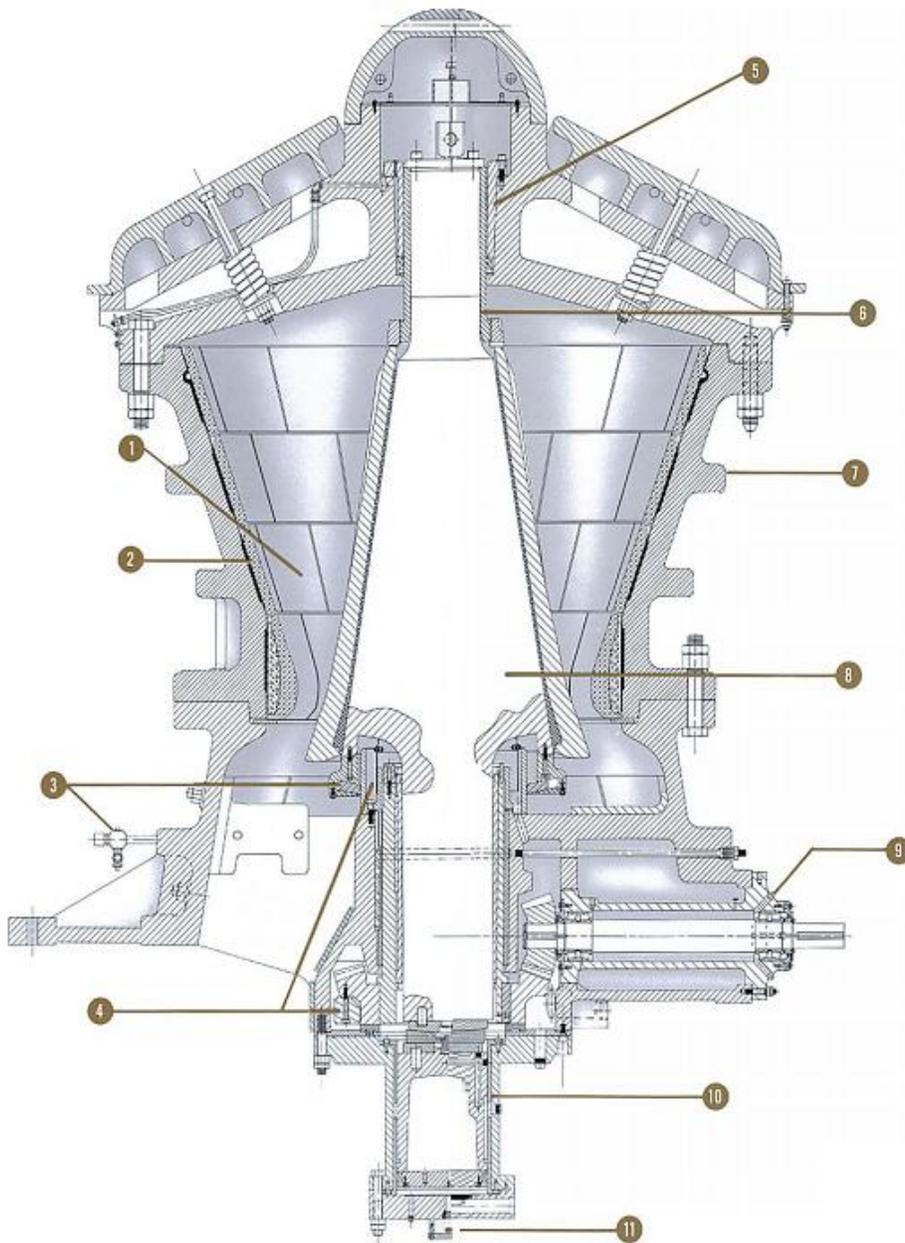
De esta manera, la trituradora está diseñada para trabajo pesado y su excéntrico está ensamblado de forma que evita, posteriormente, problemas de mantenimiento. La flecha y el pilón están ensambladas para que su lubricación, además de que prevé problemas de mantenimiento, permita que la operación sea continua. Además el aceite pasa por un sistema de filtrado y automáticamente se enfría.



*Fig. II.16 Funcionamiento del sistema hidráulico; la flecha principal baja cuando el aceite regresa al tanque de almacenamiento y se eleva cuando es bombeado al gato hidráulico.*

Las partes de la trituradora son:

1. Cámara de trituración.- Aquí se realiza la trituración y es ajustada según el tipo de proceso que se requiera.
2. Pieza contra el desgaste de aleación al manganeso, cubre a la flecha.
3. Sellos contra polvo.- Son de gran utilidad para prolongar la vida útil de la maquinaria.
4. Diseño de contrabalanza.- Minimiza las fuerzas que se transmiten a la cimentación
5. Casquete y sellador.- De fácil reemplazo, reduce tiempos de reparación o reemplazo y minimiza tiempos muertos en la producción.
6. Aleación de acero para trabajo pesado que reduce cargas en la flecha principal.
7. Bastidor fijo
8. Flecha o eje principal
9. Equipo de ajuste
10. Piñón
11. Sensor para la flecha.- Provee de las indicaciones directas de la posición de la flecha permitiendo al operador monitorear y controlar el desgaste y la abertura de salida.



*Fig. II.17 Corte de una trituradora giratoria.*

El funcionamiento de la trituradora giratoria es, a grandes rasgos, el siguiente: La reducción del material (ver figura II.17) se obtiene en la cámara de trituración (1) debido a la presión entre un bastidor anular fijo (7) en forma de cono llamado anillo cóncavo y un pilón o flecha principal (8) también en forma cónica, pero en sentido inverso. El apoyo inferior de la flecha está alojado en un mecanismo excéntrico que produce un movimiento de campaneo que provoca a la roca alimentada, por la parte superior, los efectos de impacto y compresión, evacuándola por la parte inferior de acuerdo a un tamaño que dependerá de la abertura de salida.

Tamaño (in)	Abertura de alimentación (in)	Aberturas a la salida de la trituradora en pulgadas y (milímetros)									
		5 ½" (140)	6" (150)	6 ½" (165)	7" (175)	7 ½" (190)	8" (200)	8 ½" (215)	9" (230)	9 ½" (240)	10" (250)
42 – 65	42	1635 (1800)	1880 (2075)	2100 (2315)	2320 (2557)						
50 – 65	50		2245 (2475)	2625 (2895)	2760 (3040)						
54 - 75	54		2555 (2820)	2855 (3145)	3025 (3335)	3215 (3545)	3385 (3735)				
62 – 75	62		2575 (2840)	3080 (3395)	3280 (3615)	3660 (4035)	3720 (4205)				
60 – 89	60			4100 (4520)	4360 (4805)	4805 (5295)	5005 (5520)	5280 (5820)	5550 (6185)		
60 – 110	60				5575 (6150)	5845 (6440)	6080 (6705)	6550 (7220)	6910 (7620)	7235 (7975)	7605 (8385)

Tabla II.8 Capacidades en toneladas métricas por hora, para una roca de 1.6 ton/m<sup>3</sup>, entre paréntesis, toneladas cortas por hora (Metso minerals).

## II.5 TRITURACIÓN SECUNDARIA Y TERCIARIA.

El material producto de una trituración primaria puede usarse en la elaboración de concretos hidráulicos (grava #4), para ornamento, etc. Sin embargo, para obras civiles es necesario reducirlo aún más de tamaño.

En la etapa secundaria se reduce el material producto de la trituración primaria, es decir de 12" a 14", a fragmentos entre 3" a 1", que bien podrían ser material útil como grava para concreto, material de sub-base, etc.

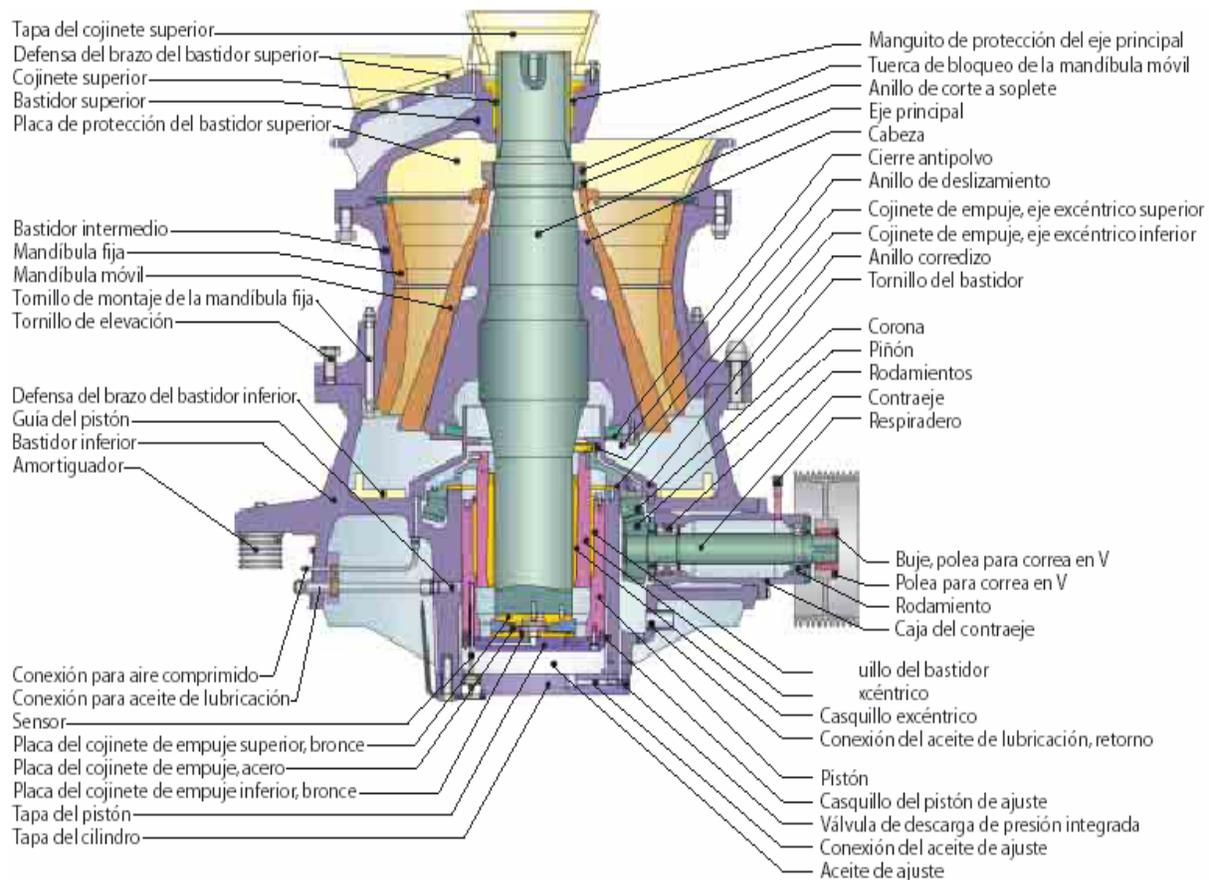
Las máquinas comúnmente utilizadas para realizar esta etapa son las trituradoras de cono, de impacto, de martillo y de rodillos.

### II.5.1 Trituradoras de cono.

Son usadas para etapas secundaria y terciaria. Son capaces de producir grandes cantidades de agregados finos uniformes. Estas trituradoras difieren de las giratorias en los siguientes aspectos:

1. Cono más pequeño
2. Una abertura de entrada más pequeña
3. Gira a una velocidad más elevada, cerca del doble que una giratoria
4. Produce un agregado uniforme

## Principales componentes de una trituradora de conos ■



Este tipo de máquinas son muy eficientes ya que tienen un alto índice de reducción que puede llegar hasta 10:1, sus dimensiones son compactas lo cual las hace prácticas para su instalación en grupos móviles de trituración y sus costos de mantenimiento muy bajos, por la elevada duración de sus piezas de desgaste.

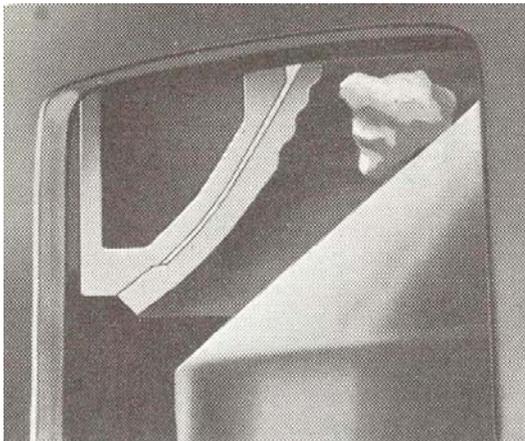
Estas máquinas tienen un elemento de trituración cónico o en forma de cúpula, llamado cono, cabeza, o esfera, que se mueve en un círculo pequeño alrededor del eje vertical, dentro de un tazón o casquete fijo.

El cono puede ser relativamente estacionario en la parte superior y moverse solamente en el extremo inferior, puede girar igualmente arriba y abajo, o puede estar montado de manera que la cabeza pueda cabecear al mismo tiempo que gira. La cabeza trituradora tiene libertad para girar bajo el empuje del material que se tritura.

La cámara de trituración es anular, y su sección transversal en forma de cuña. La alimentación de roca por la parte superior cae entre el cono y el casquete y se tritura al angostarse la abertura con el movimiento del cono. Cuando se vuelve a ensanchar, las piezas caen más adelante, para volverse a triturar a su regreso. Su funcionamiento es algo parecido al de la trituradora de quijadas, pero la presión de la trituración proviene de los lados en vez del fondo, y la curva de la cámara rompe los fragmentos que han quedado con forma de lajas.

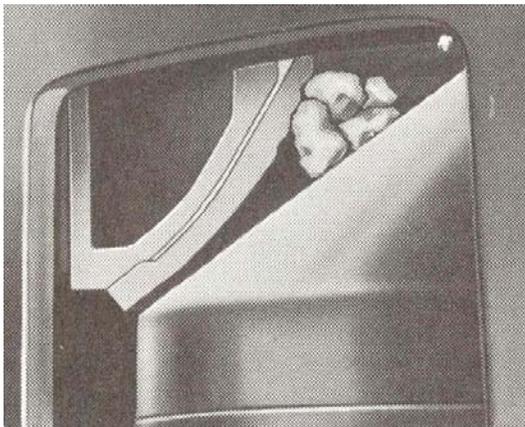
La velocidad del cono y la distancia de recorrido deben sincronizarse cuidadosamente. Un espacio ancho permite a los fragmentos caer con mayor libertad que uno angosto, y si se combina con un movimiento lento, permite a los fragmentos caer con mucha anticipación al impacto siguiente. La rotación rápida y el corto recorrido no les permitirían caer a distancia suficiente, y se desperdiciaría potencia.

La figura II.18 muestra una sucesión de las diferentes posiciones de una trituradora de conos realizando la reducción.



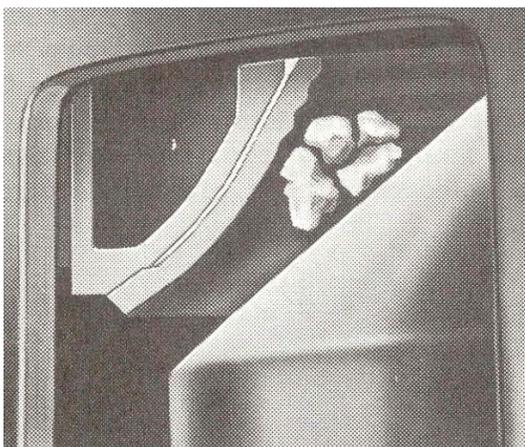
1ª. Posición.

Con la cabeza en la posición de máxima abertura, una roca grande entra a la cavidad de trituración.



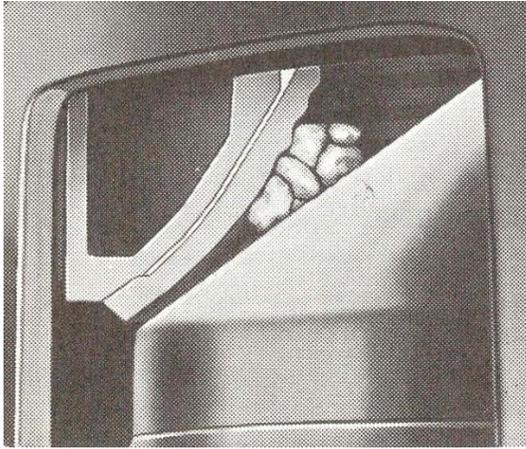
2ª. Posición.

Al moverse la cabeza hacia el lado angosto, la piedra recibe su primera compresión y se rompe en varias partículas pequeñas.



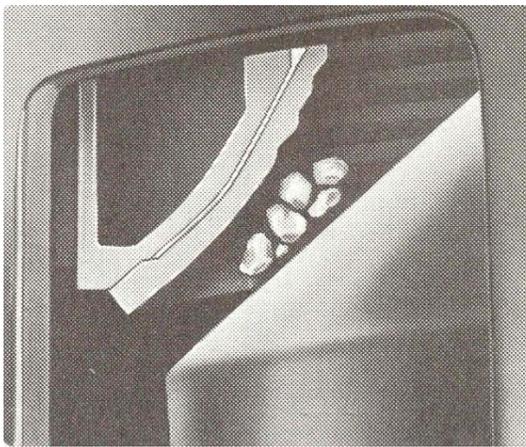
3ª. Posición.

Las partículas trituradas caen por gravedad hacia la cabeza al retroceder ésta del lugar donde está la roca, cuando se mueve hacia el lado abierto.



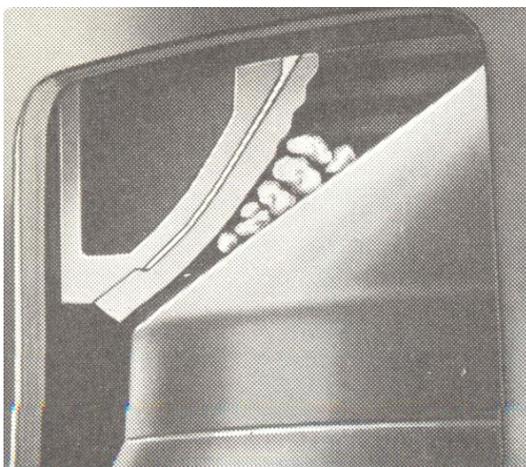
#### 4ª. Posición.

La cabeza se encuentra otra vez en el lado cerrado y, recibiendo otro impacto, las partículas vuelven a sufrir otra reducción de tamaño.



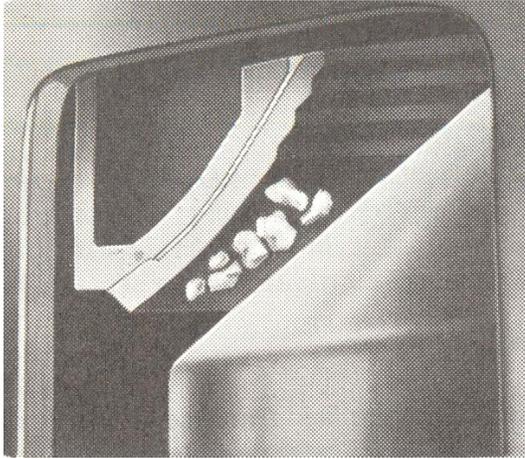
#### 5ª. Posición.

Las partículas siguen de nuevo una trayectoria vertical, se extienden a través de la cabeza y avanzan más en la cavidad de trituración.



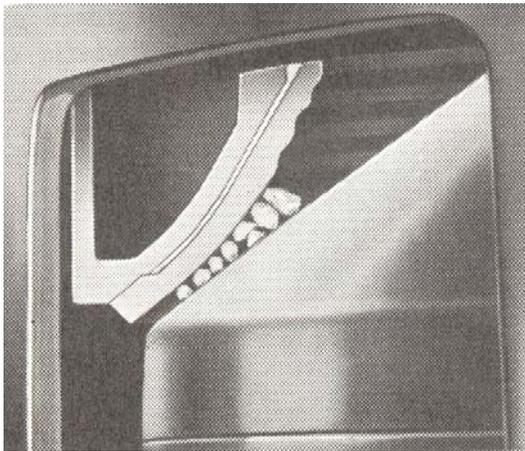
#### 6ª. Posición.

Con otra compresión, se produce otra reducción de tamaño, que corresponde a la abertura de la cavidad en ese punto



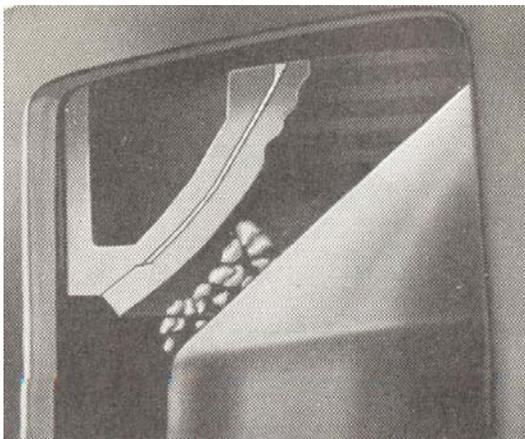
7ª. Posición.

El material ha avanzado más en su trayectoria hacia abajo y está entrando precisamente a la zona ancha paralela en el fondo de la cabeza.



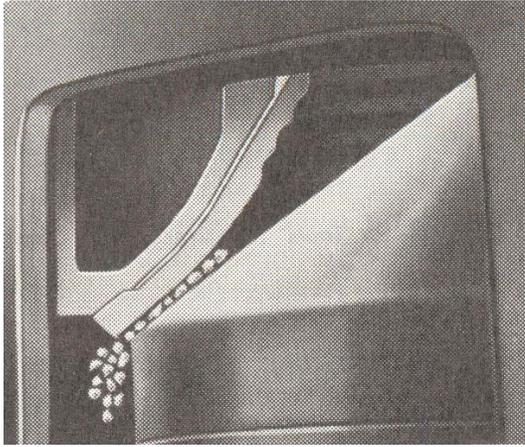
8ª. Posición.

De nuevo se produce otra reducción de tamaño en las partículas que ahora se encuentran en la zona paralela, abertura donde se ajusta el tamaño deseado de la trituradora.



9ª. Posición.

Aquí, de nuevo la cabeza está en el lado abierto con todo el material ahora en la zona paralela. Nótese la gran abertura creada para la descarga de los fragmentos finos triturados



10ª. Posición.

Todas las partículas ya han sido reducidas en tamaño, habiendo recibido cinco compresiones de la cabeza al pasar por la cavidad de trituración.

Figura II.18 Diferentes posiciones en una trituradora de cono, al triturar.

La regulación del tamaño se logra subiendo o bajando el anillo cóncavo y generalmente puede procesar cualquier tipo de material por duro y abrasivo que sea.

La designación de este equipo es según el diámetro inferior expresado en pulgadas, siendo las más comunes 24", 36", 48" y 66".

Tamaño de la trituradora [ft.(m)]	Tamaño de abertura de alimentación [in. (mm)]	Mínima descarga fija [in. (mm)]	Descarga fija, [in. (mm)]										
			1/4 (6.3)	3/6 (9.5)	1/2 (12.7)	3/2 (15.9)	3/4 (19.1)	7/6 (22.3)	1 (25.4)	1 1/4 (31.8)	1 1/2 (38.0)	2 (50.8)	2 1/2 (63.5)
2	2 1/4	1/4	15	20	25	30	35						
(0.61)	(57)	(5.6)	(14)	(18)	(23)	(27)	(32)						
2	3 1/4	3/8		20	25	30	35	40	45	50	60		
(0.61)	(82)	(9.5)		(18)	(23)	(27)	(32)	(36)	(41)	(45)	(54)		
3	3 7/8	3/8		35	40	55	70	75					
(0.91)	(96)	(9.5)		(32)	(36)	(50)	(63)	(68)					
3	5 1/8	1/2			40	55	70	75	80	85	90	95	
(0.91)	(130)	(12.7)			(36)	(50)	(63)	(68)	(72)	(77)	(81)	(86)	
4	5	3/8		60	80	100	120	135	150				
(1.22)	(127)	(9.5)		(54)	(72)	(90)	(109)	(122)	(136)				
4	7 3/8	3/4					120	135	150	170	177	185	
(1.22)	(187)	(19.0)					(109)	(122)	(136)	(154)	(160)	(167)	
4 1/4	4 1/2	1/2			100	125	140	150					
(1.29)	(114)	(12.7)			(90)	(113)	(126)	(136)					
4 1/4	7 3/8	5/8				125	140	150	160	175			
(1.29)	(187)	(15.8)				(113)	(126)	(136)	(145)	(158)			
4 1/4	9 1/2	3/4					140	150	160	175	185	190	
(1.29)	(241)	(19.0)					(126)	(136)	(145)	(158)	(167)	(172)	
5 1/2	7 1/8	5/8				160	200	235	275				
(1.67)	(181)	(15.8)				(145)	(181)	(213)	(249)				
5 1/2	8 5/8	7/8						235	275	300	340	375	450
(1.67)	(219)	(22.2)						(213)	(249)	(272)	(304)	(340)	(407)
5 1/2	9 7/8	1							275	300	340	375	450
(1.67)	(248)	(25.4)							(249)	(272)	(304)	(340)	(407)
7	10	3/4					330	390	450	560	600		

(2.30)	(254)	(19.0)					(300)	(353)	(407)	(507)	(543)		
7	11 1/2	1							450	560	600	800	
(2.30)	(292)	(25.4)							(407)	(507)	(543)	(725)	
7	13 1/2	1 1/4								560	600	800	900
(2.30)	(343)	(31.7)								(507)	(543)	(725)	(815)

*Tabla II.9 Capacidades representativas de una trituradora Symons de cono, en toneladas cortas por hora (tmph) de roca para una roca de 1.6 ton/m<sup>3</sup>.*

En el mercado, la marca Metso Minerals proporciona máquinas para la trituración secundaria, terciaria o cuaternaria si así se requiere, como son las trituradoras de la serie GP.

La automatización es estándar en la mayor parte de los conos GP, que ayuda a la operación.



*Trituradora de cono de trituración secundaria.*

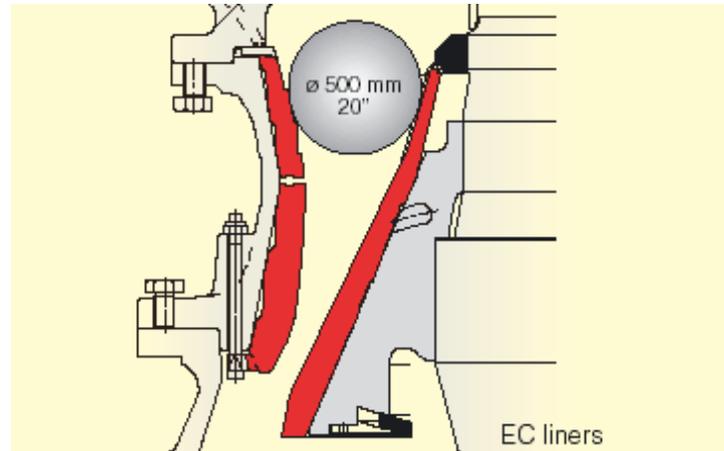
El sistema de control automático garantiza un costo mínimo por tonelada producida, manteniendo la cámara de trituración llena, compensando el desgaste, maximizando la disponibilidad de la unidad y ofreciendo datos de la operación.

Han sido diseñadas para dar el máximo rendimiento en una gran variedad de procesos de trituración: desde la trituración secundaria hasta la trituración extra fina y desde aplicaciones fijas hasta móviles.



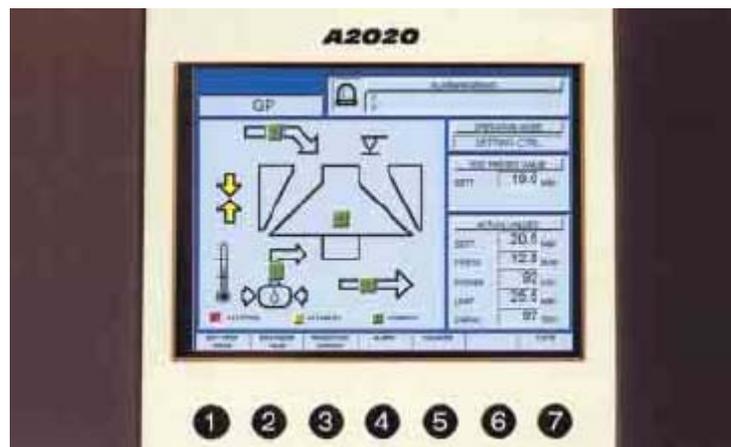
*2 trituradoras Nordberg GP 500S.*

Una de las innovaciones de las trituradoras secundarias es que las aberturas de alimentación son grandes con un diámetro de cono razonablemente pequeño (fig. II.19). Esto es especialmente importante en aplicaciones de trituración secundaria ya que permite aumentar la abertura de salida de la trituradora de quijadas primaria, aumentando la capacidad de la planta. Estas trituradoras en la línea de trituración secundaria pueden ser usadas como trituradoras primarias en graveras.



*Fig. II.19 Abertura de alimentación y espacio entre placas trituradoras.*

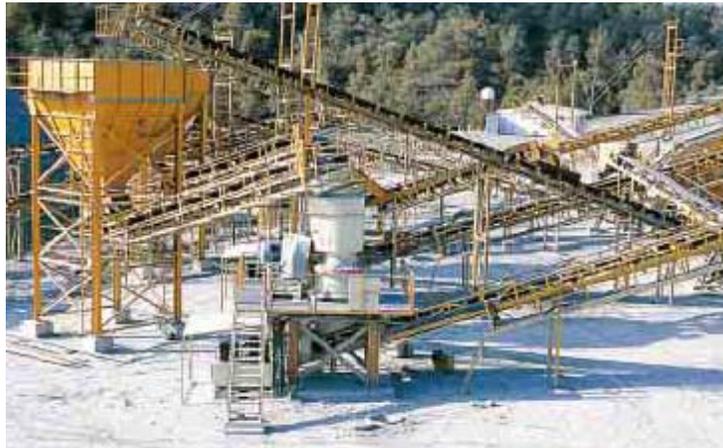
La automatización tiene una importancia cada vez mayor en el desarrollo de los procesos de trituración. La unidad de control automático A2020 (ver figura II.20) está incorporada como estándar en la mayor parte de las trituradoras de cono de esta serie, lo que contribuye para la eficiencia y disponibilidad de la trituradora. Esta unidad asegura la alimentación constante de la cámara de trituración, así mismo, mejora la tasa de utilización del forro y la calidad del producto final. El sistema de control automático mantiene la trituración en los límites máximos de operación, pero dentro de los límites de seguridad. También mantiene un registro de los datos de producción y del rendimiento de la trituradora. Produce gráficos de tendencia de la producción de hasta 24 horas de operación, lo que mejora la capacidad de realizar informes. El sistema automático permite realizar análisis y tomar medidas de corrección basándose en las variaciones del proceso y permite reducir la calibración de las piezas de desgaste.



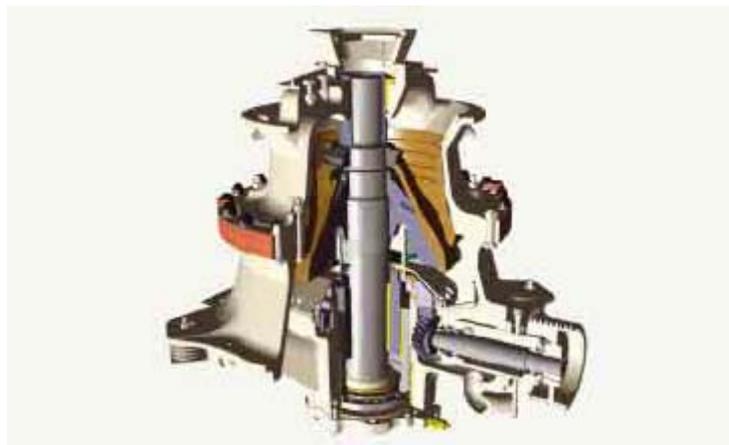
*Fig. II.20 Dispositivo de control automático.*

El ajuste hidráulico de la trituradora puede ser realizado de forma continua durante la operación. Para mantenimiento, pueden ser totalmente desmontadas por la parte superior. Para el cambio de forros no son necesarios materiales de soporte gracias a las piezas de desgaste mecanizadas

Existen cuatro tamaños típicos de trituradora GP para trituración secundaria, cada una con ocho perfiles diferentes de cámara de trituración. Otros cuatro tamaños de trituradora están disponibles para trituración terciaria y cuaternaria, con más de 20 perfiles diferentes en la cámara de trituración.



En las trituradoras de esta serie se minimizan las dimensiones físicas sin afectar la fiabilidad o rendimiento de los equipos. Por ejemplo, este tipo de trituradoras son cerca del 30% más bajas que las trituradoras de cono tradicionales. Su tamaño compacto y el bajo peso contribuyen para el alto rendimiento de trituración.



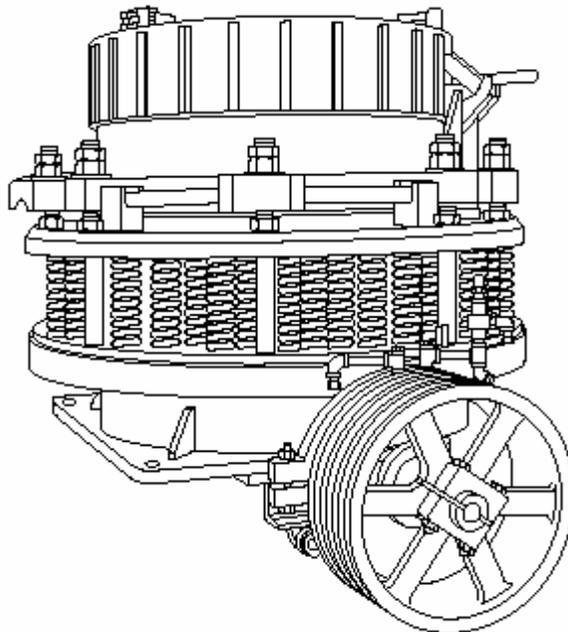
*Trituradora GP 200*

GP 100 S	Capacidad (tmph)							
	Ajuste	1"	1 ¼"	1 ½"	1 ¾"	2"	3"	3 ¼"
	5/8"	115 - 125	135 - 145	155 - 170	160 - 190			
	¾"	135 - 145	165 - 175	190 - 215	200 - 230			
	1"		200 - 220	235 - 260				
<b>GP 200 S</b>								
	5/8"	130 - 160	155 - 185	180 - 210	200 - 230	250 - 280		
	¾"		200 - 250	210 - 260	250 - 275			
	1"			260 - 310	310 - 380			
<b>GP 300 S</b>								
	¾"	200 - 220	190 - 240	225 - 270	255 - 300	285 - 320		
	1"		260 - 320	300 - 350	350 - 400	385		
	1 ¼"			380 - 430	430 - 480			
	1 5/8"				500 - 550			
<b>GP 500 S</b>								
	¾"				330 - 380	350 - 400	560 - 620	620 - 680
	1"					550 - 600	840 - 900	
	1 ¼"					720 - 780	1040 - 1100	

*Tabla II. 10 Los datos de capacidad, en toneladas métricas y el ajuste mínimo son para materiales con peso específico de 1,6 ton/m<sup>3</sup>. En la práctica los resultados varían según el material de alimentación, granulometría, contenido de humedad, etc.*

Por su parte, Telsmith, cuenta con los modelos de la serie D (fig. II.21) y la serie H (fig. II.22), por mencionar algunas.

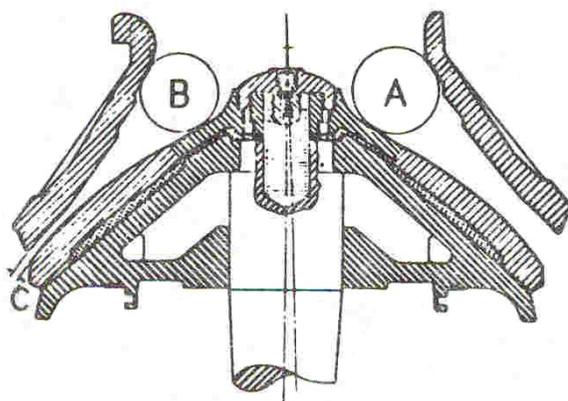
La serie D se fabrican trituradoras de 24", 36", 48" y 66". Las aberturas de alimentación pueden variar desde 2 ½" a 15" con capacidades de 4 a 455 ton/hr.



*Fig II.21 Trituradora de cono serie D.*

<b>TIPO "S"</b>															
Tamaño de la Trituradora y Clave	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 (2pies) Yacht	Grueso Mediano	3 1/4" 2 1/2"	2 3/4" 1 7/8"	3/8" 1/4"	17	22	27	32	37	42	47	53			
245 S (2pies) Yak	Grueso	4 5/8"	4 1/8"	1/2"			27	32	37	42	47	53			
36 S (3pies) Yaud	Extra grueso Grueso Mediano	7 1/8"	6 1/4"	3/4"											
		4 7/8" 4 1/2"	4" 3 3/4"	1/2" 3/8"		36	41	56	71	77	83	89	105	110	
367 S (2pies) Yam	Grueso	7 3/4"	6 3/4"	3/4"					71	77	83	89	105	110	
48 S (2pies) Yaupon	Extra grueso Grueso Mediano	8 1/2"	7 1/2"	3/4"											
		7 1/2" 5 7/8"	6 1/2" 4 3/4"	3/4" 1/2"			85	110	135	155	170	185	200	215	230
489 S (2pies) Yawl	Grueso	10"	9"	1"							170	185	200	215	230
66 S (5 1/2"pies) Yarn	Grueso Mediano	11" 9"	10" 8"	1" 3/4"					200	235	275	320	365	410	455
6614S (5 1/2"pies) Yarp	Grueso	15"	14"	1 1/2"									365	410	455

Tabla II.11 Capacidades para las trituradoras de cono de Telsmith serie D tipo S.



**Trituradora Secundaria  
Tipo "S"**

Tamaño de la Trituradora y de ave		24S(2F)		24S (2F)	36S(3F)	36S(3F)			48S(4F)			48S (4F)	36S(3F)		6614S (5 1/2F)
Tipo de tazon		Grueso	Mediano	Grueso	Extra grueso	Grueso	Mediano	Grueso	Extra grueso	Grueso	Mediano	Grueso	Grueso	Mediano	Grueso
Abertura de admisión	tubo abierto "A"	3 1/4"	2 1/2"	4 5/8"	7 1/8"	4 7/8"	4 1/2"	7 3/4"	8 1/2"	7 1/2"	5 8"	10"	11"	9"	15"
	tubo cerrado "B"	2 3/4"	1 1/8"	4 1/8"	6 1/4"	4"	3 3/4"	6 3/4"	7 1/2"	6 1/2"	4 3/4"	9"	10"	8"	14"
Abertura mínima de descarga "C"		3/8"	1/4"	1/2"	3/4"	1/2"	3/8"	3/4"	3/4"	3/4"	1/2"	1"	1"	3/4"	1 1/2"
Capacidades en toneladas cortas por hora, a la abertura de descarga "C" indicada, para materiales de 1.6 ton/m <sup>3</sup>															
1/4"		-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/8"		22	22	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2"		27	27	27	-	41	41	-	-	-	85	-	-	-	-
5/8"		32	32	32	-	56	56	-	-	-	110	-	-	-	-
3/4"		37	37	37	71	71	71	71	135	135	135	-	-	200	-
1/8"		42	42	42	77	77	77	77	155	155	155	-	-	235	-
1"		47	47	47	83	83	83	83	170	170	170	170	275	275	-
1 1/4"		53	53	53	89	89	89	89	185	185	185	185	320	320	-
1 1/2"		-	-	-	105	105	105	105	200	200	200	200	365	365	365
2"		-	-	-	110	110	110	110	215	215	215	215	410	410	410
2 1/2"		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230	455	455	455

Tabla II.12 Capacidades en ton-c/hr para trituradoras de cono serie D estilo S.

De la serie H se fabrican trituradoras para alta capacidad y pueden utilizar una alta tecnología disponible para el diseño automatizado (computer aided designed CAD). Las aberturas de entrada son desde 3 1/2" hasta 11" y capacidades desde 175 hasta 1010 ton/hr.

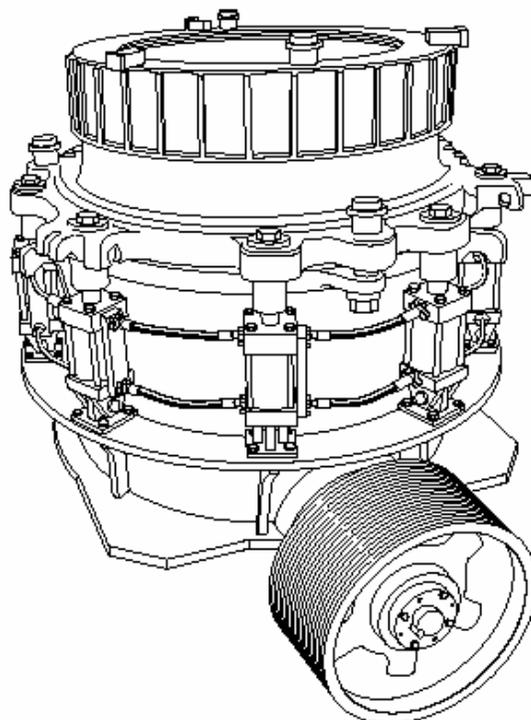


Fig. II.22 Trituradora de cono serie H.

Tamaño de la Trituradora y clave		44 S			52 S			57 S			68 S		
Tipo de tazón		Extra grueso	Grueso	Mediano	Extra grueso	Grueso	Mediano	Extra grueso	Grueso	Mediano	Extra grueso	Grueso	Mediano
Abertura de admisión	lado abierto	7"	5 7/8"	4 7/8"	8 1/8"	7 3/8"	5 1/2"	10 3/4"	9"	9"	11 1/4"	10 1/2"	8 7/8"
	lado cerrado	5 1/2"	4 1/4"	3 1/2"	6 1/2"	5 3/4"	3 3/4"	9 1/8"	8 1/2"	7 5/8"	10 1/2"	8 3/4"	7"
Abertura de descarga mínima recomendada		1"	3/4"	1/2"	1"	3/4"	5/8"	1"	7/8"	3/4"	1 1/4"	1"	3/4"
Capacidades en toneladas cortes por hora, a la abertura de descarga indicada, para materiales de 1.6 ton/m <sup>3</sup>													
1/2"		-	-	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5/8"		-	-	215	-	-	240	-	-	-	-	-	-
3/4"		-	235	235	-	270	270	-	-	395	-	-	555
1"		265	265	265	330	330	330	475	475	475	-	630	630
1 1/4"		300	300	300	380	380	380	510	510	510	695	695	695
1 1/2"		340	340	340	430	430	430	570	570	570	750	750	750
2"		390	390	390	500	500	500	665	665	665	925	925	925
2 1/2"		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1010	1010	1010

Tabla II.13 Capacidades en ton-c/hr para trituradoras de cono serie H:

### II.5.2 Trituradoras de rodillos.

Las trituradoras de rodillos son utilizadas (aunque prácticamente han quedado en desuso), para una reducción adicional de agregados, es decir, para después de que el material ya pasó, con anterioridad, a una trituradora primaria.

Una trituradora de rodillos consiste en una placa metálica robusta, equipada con uno o mas rodillos trituradores, cada uno montado en una flecha horizontal distinta.

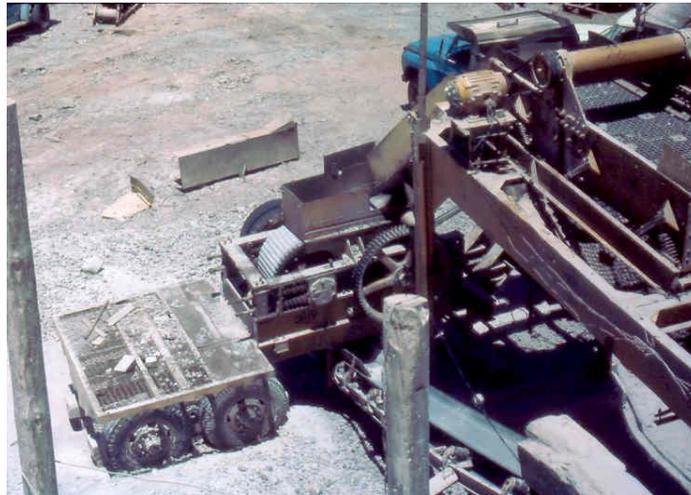
La utilización de estas máquinas ha quedado reducida al tratamiento de materiales suaves y poco abrasivos como son caliza, carbón y yeso, ya que con rocas altamente abrasivas, se presenta mucho desgaste en forma de surcos profundos en la superficie cilíndrica de los rodillos y esto hace que se tengan altos costos de mantenimiento. También se presentan las siguientes limitaciones:

- 1.- El diámetro de los rodillos debe ser de 20 a 30 veces mayor al tamaño de los fragmentos de la alimentación para que pueda aprisionarlos y triturarlos.
- 2.- La producción es directamente proporcional al ancho de los rodillos, sin embargo un ancho demasiado grande, provoca desgaste rápido e irregular, siendo más fuerte en el centro que en los extremos.

Las trituradoras de rodillo sencillo consisten en un rodillo dentado o acanalado que gira cerca de una placa de trituración. Los dientes o proyecciones llamados lingotes actúan como marros al romper las piedras grandes. Los fragmentos más pequeños son arrastrados entre el rodillo y la placa y se trituran por la presión producida por el arrastre. Funcionan mejor con rocas estratificadas o laminadas que no son muy abrasivas. La arcilla y otros materiales pegajosos pasan con poca dificultad. El producto generalmente es grueso.

Las trituradoras de doble rodillo consisten en dos rodillos que giran en direcciones opuestas, siendo la dirección del movimiento hacia la parte superior encontrada. La piedra es empujada por gravedad hacia abajo y por la fricción de las superficies de los rodillos. Hay varios tipos de

rodillos, pueden ser lisos, corrugados, o dentados. Los trozos de hierro que lleguen a pasar, comprimen a unos resortes, de manera que pueden pasar sin producir daño.



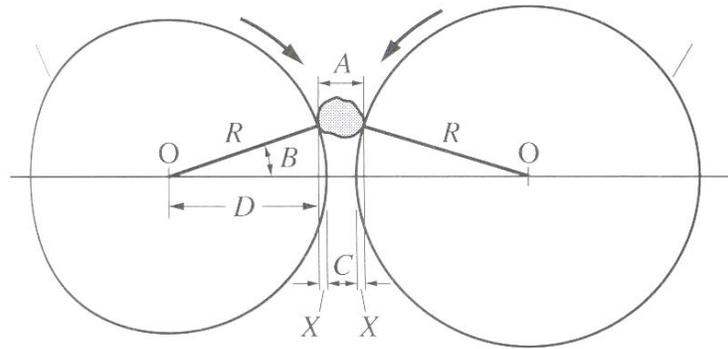
En general, la reducción de los materiales, mayores de una pulgada de diámetro, está reducida de 4:1, pero los pedazos más chicos pueden reducirse hasta un décimo. El tamaño de la roca que puede triturarse depende del ángulo de sujeción y de la fricción entre la piedra y la superficie de los rodillos.



El ángulo de sujeción se determina trazando líneas desde los centros de los rodillos a los puntos de contacto con la piedra y dibujando tangentes a estas líneas. El ángulo con que se cortan las tangentes es el ángulo de sujeción. Este no debe ser mayor de  $31^\circ$  para el uso general de los rodillos lisos. El ángulo se reduce usando roca de menor tamaño o rodillos de mayor tamaño o separando los rodillos para que el producto resulte más grueso. La fricción se ve afectada por la dureza o lo resbaloso de la roca y de la superficie del rodillo. Una superficie dentada, picada, o corrugada aumenta el agarre.

Las superficies de los rodillos tienden a gastarse en surcos, por lo que a menudo tienen manera de ajustarlos lateralmente para emparejar el desgaste. Este puede ser manual o automático.

El tamaño máximo de material que puede entrar a la trituradora de rodillos es directamente proporcional a los diámetros de los rodillos. Si las rocas son demasiado grandes, los rodillos no podrán aprisionarlas y no podrán pasar por la trituradora. El ángulo de aprisionamiento  $B$  (ver figura II.23), que es constante para rodillos lisos, ha sido calculado de  $16^{\circ}45'$ .



*Figura II.23 Aprisionamiento de material por la trituradora de rodillos*

El tamaño máximo de agregado que puede ser triturado, se determina como sigue:

A .- tamaño máximo de agregado al entrar a los rodillos

R .- radio de rodillo

B .- ángulo de aprisionamiento ( $16^{\circ}45'$ )

D .-  $R \cos \beta = 0.9575 R$

C .- abertura entre rodillos

Entonces, de la figura II.23:

$$\begin{aligned} X &= R - D \\ &= R - 0.9575R = 0.0425 R \\ A &= 2X + C \end{aligned}$$

Sustituyendo:

$$A = 0.085R + C$$

La capacidad de una trituradora de rodillos variará dependiendo del tipo de roca, tamaño de agregado al entrar en la trituradora, tamaño de agregado a la salida, ancho de rodillos, velocidad a la cual giran los rodillos y tamaño de la alimentación.

La tabla II.14 indica capacidades representativas para trituradoras de rodillos planos, en toneladas métricas por hora (tmph) de roca para un material de  $1.6 \text{ ton/m}^3$  al triturar. Estas capacidades deben ser usadas como una guía solo para estimar la probable salida de la trituradora. La capacidad real puede estar entre los valores dados.

Si una trituradora de rodillos está produciendo un agregado final, el índice de reducción no será mayor de 4:1, sin embargo, si la trituradora es utilizada para una trituración para producir finos, la reducción puede ser de 7:1

Tamaño de trituradora [in.(mm)]**	Velocidad rpm	Potencia requerida [hp (kw)]	Abertura de salida, [in. (mm)]						
			1/4 (6.3)	1/2 (12.7)	3/4 (19.1)	1 (25.4)	1 1/2 (38.1)	2 (50.8)	2 1/2 (63.5)
16 x 16 (414 x 416)	120	15-30 (11-22)	15.0 (13.6)	30.0 (27.2)	40.0 (36.2)	55.0 (49.7)	85.0 (77.0)	115.0 (104.0)	140.0 (127.0)
24 x 16 (610 x 416)	80	20-35 (15-26)	15.0 (13.6)	30.0 (27.2)	40.0 (36.2)	55.0 (49.7)	85.0 (77.0)	115.0 (104.0)	140.0 (127.0)
30 x 18 (763 x 456)	60	50-70 (37-52)	15.0 (13.6)	30.0 (27.2)	45.0 (40.7)	65.0 (59.0)	95.0 (86.0)	125.0 (113.1)	155.0 (140.0)
30 x 22 (763 x 558)	60	60-100 (45-75)	20.0 (18.1)	40.0 (36.2)	55.0 (49.7)	75.0 (67.9)	115.0 (104.0)	155.0 (140.0)	90.0 (172.0)
40 x 20 (1.016 x 508)	50	60-100 (45-75)	20.0 (18.1)	35.0 (31.7)	50.0 (45.2)	70.0 (63.4)	105.0 (95.0)	135.0 (122.0)	175.0 (158.5)
40 x 24 (1.016 x 610)	50	60-100 (45-75)	20.0 (18.1)	40.0 (36.2)	60.0 (54.3)	85.0 (77.0)	125.0 (113.1)	165.0 (149.5)	210.0 (190.0)
54 x 24	41	125-150	24.0	48.0	71.0	95.0	144.0	192.0	240.0
1.374 x 610)		(93-112)	(21.7)	(43.5)	(64.3)	(86.0)	(130.0)	(173.8)	(217.5)

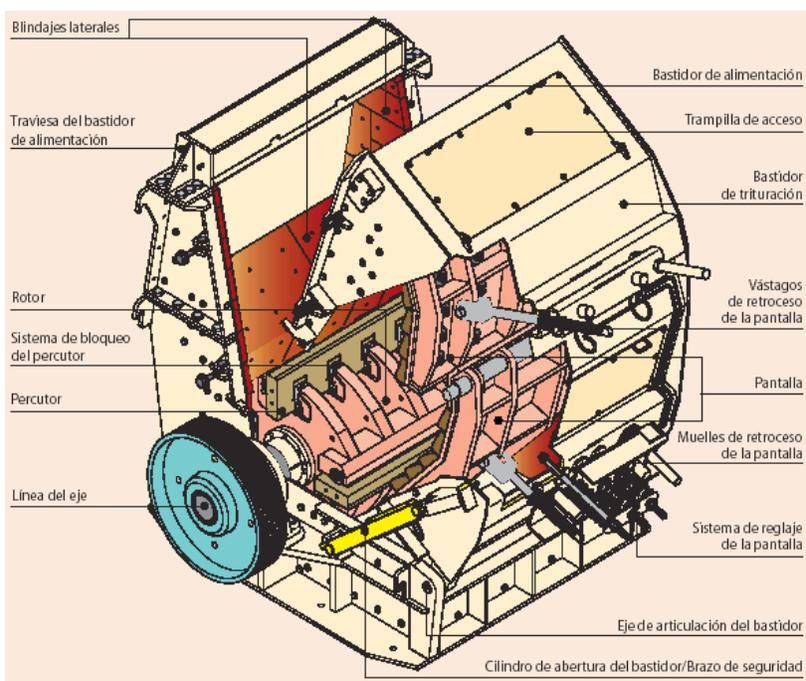
\* Basado en piedra de 1.6 ton/m<sup>3</sup> al triturar.

\*\* el primer número indica el diámetro de los rodillos y el segundo indica la abertura entre ellos.

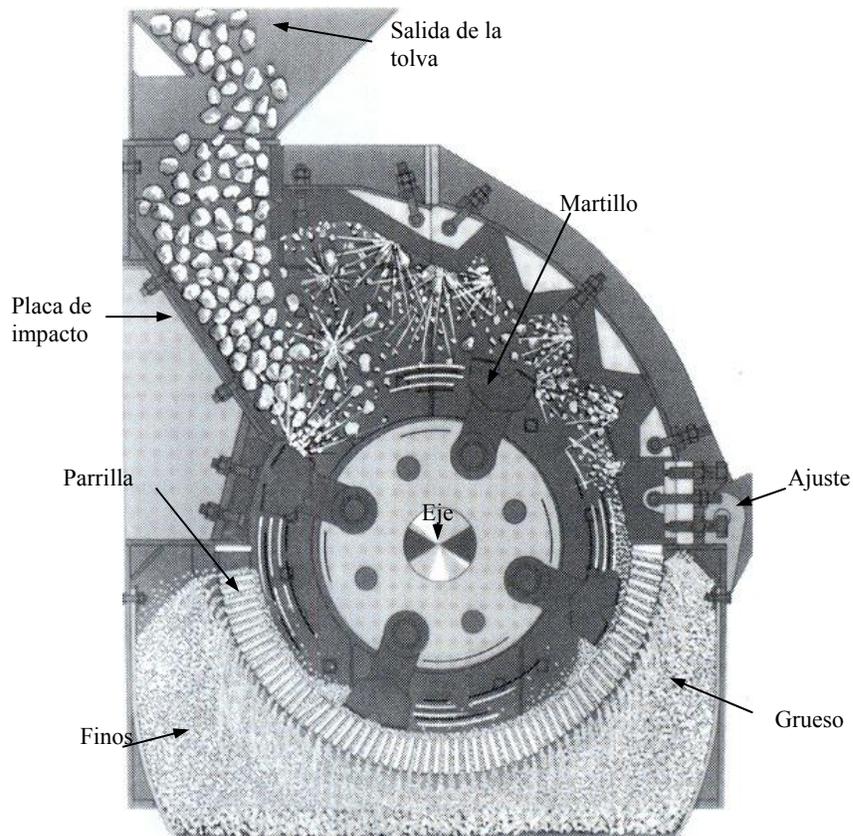
*Tabla II.14 Capacidades representativas de una trituradora de rodillos lisos, en toneladas por hora (tmph) de roca.*

### II. 5.3 Trituradoras de impacto y de martillo.

Principales componentes de una trituradora de impacto:



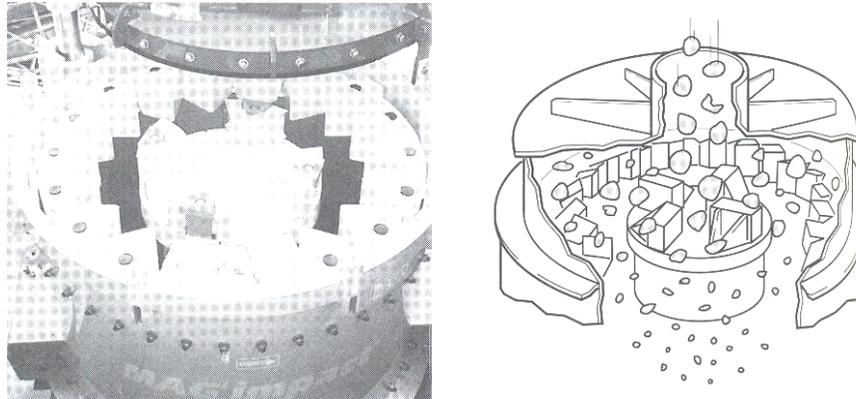
Tanto las trituradoras de impacto como las de martillos , utilizan básicamente el efecto de fuertes impactos de la roca contra las placas del bastidor, impulsadas por uno o dos rotores que están girando a elevadas revoluciones por minuto y golpean a las piedras al resbalarse de la tolva que rebotan repetidas veces contra la placa de impacto (ver fig. II.24).



*Fig. II.24 Vista en corte de una trituradora de martillos*

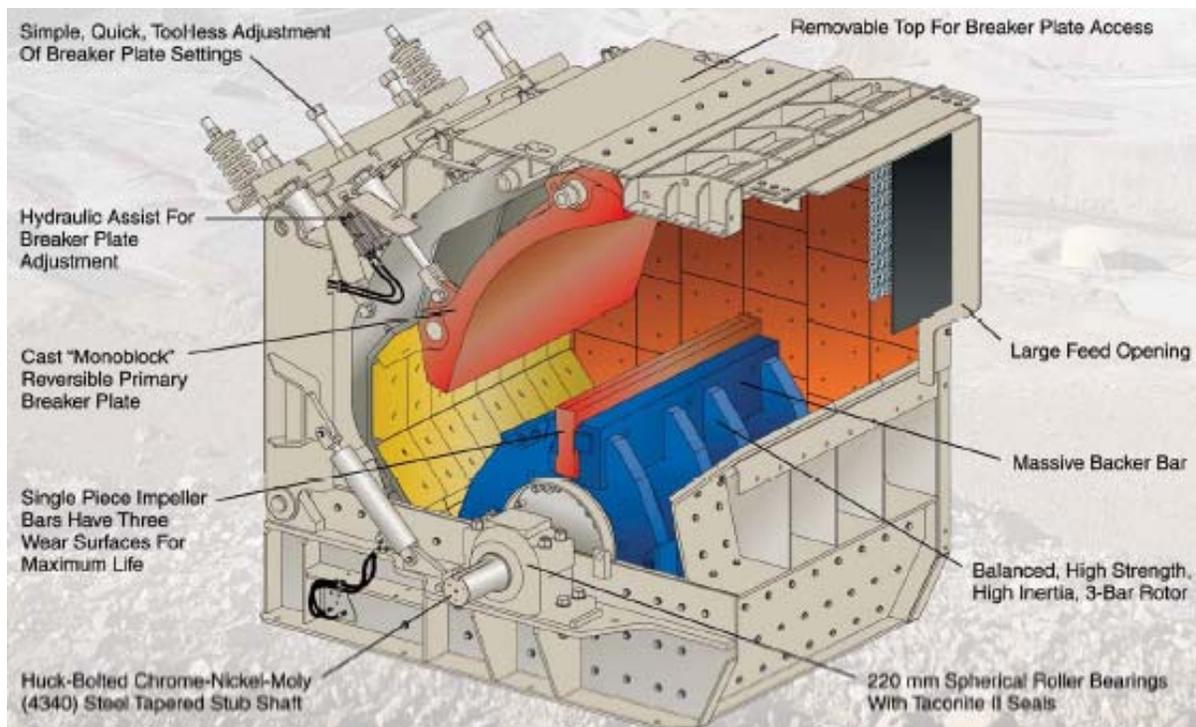
En las trituradoras de martillo con rejilla o parrilla, que funciona como controlador del tamaño máximo del producto, existen también los efectos secundarios de desgaste de la roca entre el martillo y la rejilla, y si son de tamaño mayor los vuelven a lanzar contra la placa de impacto para romperlos de nuevo.

Las aberturas de las parrillas pueden ser de la misma anchura, o pueden ser de varios tamaños, con las aberturas más angostas cerca de la placa de impacto, aumentando progresivamente de anchura al alejarse de ella. Esta última disposición permite el uso de varias tolvas debajo de la parrilla y la separación de la roca triturada según el tamaño de sus fragmentos.



*Fig. II.25 Vista interior de una trituradora vertical de impacto. (VSI)*

Estas máquinas están sujetas a cargas máximas extremas, y requieren volantes pesados para conservar su cantidad de movimiento.

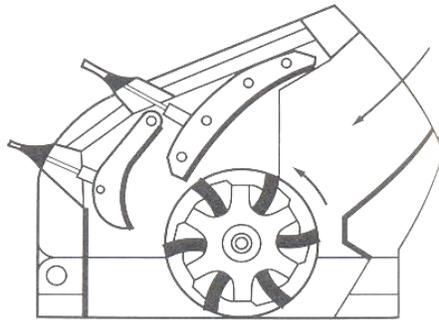


*Fig. II.26 Vista interior de una trituradora horizontal de impacto.*

Con este tipo de máquinas se obtiene material cúbico de elevado coeficiente de forma, con índices de reducción de 20 a 1 y en ocasiones de 30 a 1. Desgraciadamente estas máquinas no son adecuadas para procesar rocas con más del 6% de contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), por el fuerte desgaste que sufren sus martillos y barras de impacto con los materiales pétreos abrasivos siendo aconsejable su empleo para tratar calizas, dolomitas, yesos, asbestos y en general todo tipo de minerales no abrasivos, pues de lo contrario se elevan fuertemente los costos de mantenimiento.

Las trituradoras de martillos tienen la mayor relación de reducción que cualquier otro tipo de trituradora, y cuando la roca es blanda o de estructura favorable, puede reducir los agregados de cuarenta y ocho pulgadas a material de una pulgada en una operación.

El producto resultante tiende a ser en fragmentos de forma cúbica, en mayor grado que en las trituradoras del tipo de compresión. La finura de la trituración se puede obtener ajustando la colocación de la placa más cerca de los martillos; pero la finura del producto la determina la colocación de las barras en las parrillas. Parte de la trituración se efectúa contra las barras, pero se mantiene a un mínimo porque no son tan resistentes como las placas de impacto.



El tamaño de estas trituradoras se designa con el diámetro del rotor por el ancho del mismo en pulgadas, indicando si es de simple o de doble rotor y si cuenta o no con rejilla de clasificación.

Generalmente las barras de impacto, así como las cabezas de martillo, se fabrican con aleaciones de acero resistentes a la abrasión ya que es necesario cambiarlas frecuentemente de acuerdo con el desgaste que les ocasiona el proceso de trituración.



Telsmith fabrica trituradoras de impacto (fig. II.27) de rotor sencillo en tres tamaños distintos. La 4246 se puede utilizar en plantas, tanto estacionarias como portátiles, y las 4826 y 6071 son utilizadas en plantas estacionarias. Estas trituradoras producen finos en abundancia y un material con muy buena cubricidad. Los primeros dos números que identifican a estas trituradoras corresponden al diámetro del rotor, incluyendo a los martillos; los siguientes dos números indican el ancho de abertura de la alimentación.

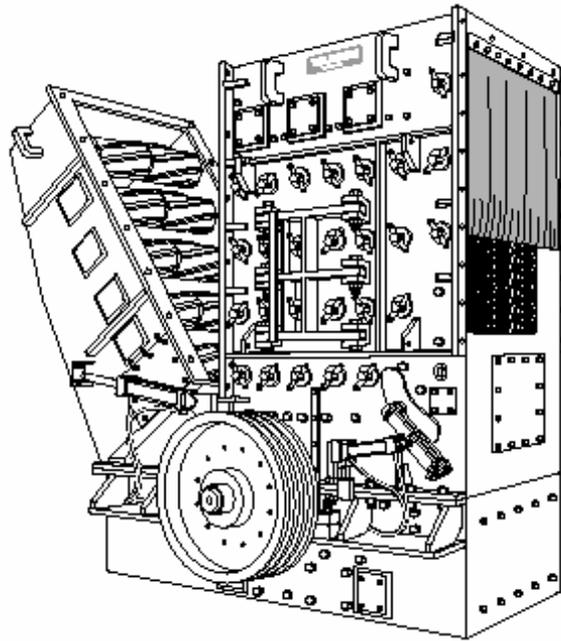


Fig. II.27 Trituradora de impacto TelSmith.

Las capacidades pueden variar mucho, dependiendo del tipo de roca y naturaleza, tipo de motor, velocidad de operación, etc. Solo como referencia, para estas trituradoras pueden variar sus capacidades entre las 250 ton -c/hr y las 2,100 ton-c/hr, considerando una roca caliza de dureza media.

En cuanto a las gráficas granulométricas, también pueden variar mucho, en la figura II.28 se muestra la gráfica del producto para la trituradora 4246.

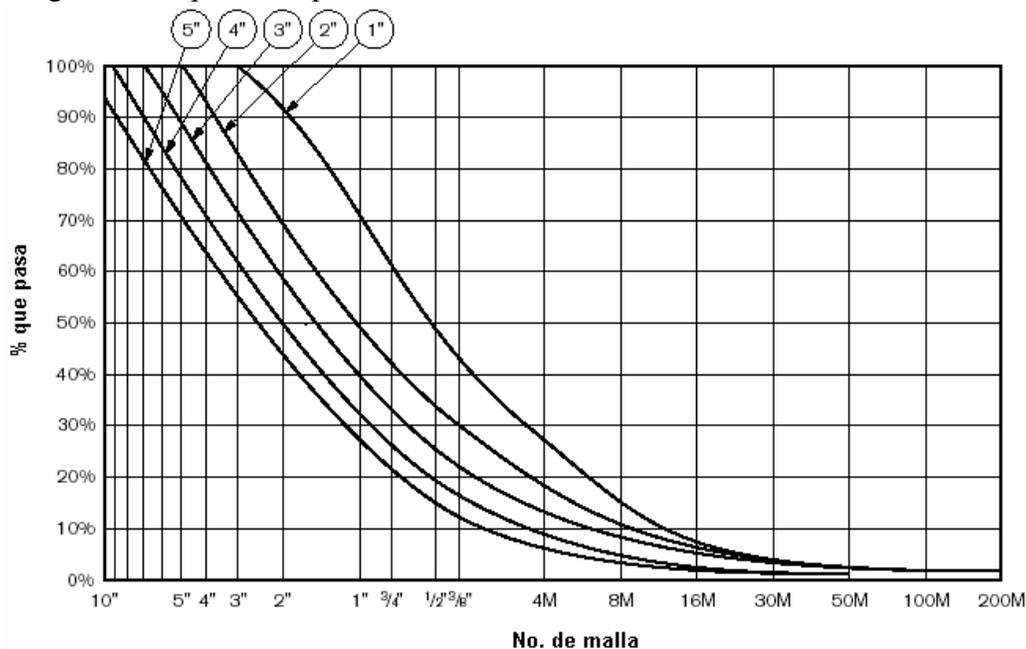


Fig. II.28 Granulometría del producto para la trituradora de impacto 4246.

Las trituradoras de impacto de la marca Nordberg, como la NP se distinguen por su rotor, el empleo de materiales muy resistentes al desgaste y un diseño particular de las cámaras de trituración. Una combinación de estas características permite elevar la capacidad de producción

y elaboración de productos de alta calidad, todo con costos de funcionamiento inferiores, debido a la supresión de muchos problemas de desgaste. Otra particularidad de estas trituradoras de impacto es el sistema de sujeción del martillo, necesitan menos mantenimiento y las operaciones de ajuste son sencillas. Estas trituradoras han ampliado el tamaño para la alimentación y la cámara de trituración y se puede adaptar el rotor según las distintas aplicaciones, para elevar la capacidad de producción.

Como ya se mencionó, estas trituradoras también pueden utilizarse como primarias, siempre y cuando el tipo de roca, intemperización y características lo permitan.



*Trituradora de impacto en una planta de alta capacidad.*

Además del empleo de calidades de acero resistentes al desgaste en el sistema de sujeción (ver fig. II.29), los martillos están asegurados al rotor por un montaje especial de cuñas. Una buena sujeción y el ajuste de posición de los martillos sobre las caras de contacto del rotor, hacen que no exista juego entre el rotor y el martillo teniendo como resultado que haya menos riesgos de rotura.



*Fig. II.29 Sistema de sujeción de martillos.*

Se usa un solo equipo hidráulico para abrir la estructura y hacer el ajuste de las pantallas de impacto. Las puertas con protección dispuestas en todo el perímetro de la estructura permiten acceder al interior de la trituradora. En previsión de las numerosas posibilidades de implantación, es posible reemplazar los martillos en posición horizontal o vertical.



*Equipo hidráulico.*

Se ha reducido el número de piezas diferentes. Además, se pueden intercambiar las distintas piezas de una máquina, dado que todas no sufren el mismo desgaste, y esto permite trabajar con un número más reducido de repuestos. Los detectores instalados en la estructura impiden el funcionamiento de la máquina, para garantizar la seguridad, durante operaciones de mantenimiento.

Estas trituradoras pueden adaptarse a diferentes aplicaciones, simplemente instalando la opción apropiada: asistencia hidráulica, ajuste hidráulico, tercera pantalla de impacto, empleo de diferentes calidades de acero resistentes al desgaste (martillos, blindajes de pantalla, blindajes laterales), etc.

Un sistema de regulación automática permite manejar a distancia la abertura del impactor, sin intervención humana. El principio consiste en calibrar y regular la placa de impacto inferior a la medida deseada. La placa de impacto superior se ajustará automáticamente para un valor calculado. El resultado será la máquina auto ajustándose, para compensar el desgaste, y hará modificaciones en la aplicación.



*Trituradora de impacto*

A continuación se muestran capacidades para diferentes modelos de trituradoras (fig. II.30) así como las curvas granulométricas resultantes (fig. II.31).

Modelos	Granulometría máxima de alimentación 400 mm		Granulometría máxima de alimentación 200 mm	
	Granulometría de salida 60 mm	Granulometría de salida 40 mm	Granulometría de salida 40 mm	Granulometría de salida 20 mm
NP1007	150 Mtp/h	100 Mtp/h	150 Mtp/h	80 Mtp/h
NP1110	200 Mtp/h	150 Mtp/h	250 Mtp/h	150 Mtp/h
NP1213	250 Mtp/h	200 Mtp/h	300 Mtp/h	200 Mtp/h
NP1315	350 Mtp/h	250 Mtp/h	350 Mtp/h	250 Mtp/h
NP1520	500 Mtp/h	400 Mtp/h	600 Mtp/h	350 Mtp/h

Modelos	Granulometría máxima de alimentación 800 mm		Granulometría máxima de alimentación 600 mm	
	Granulometría de salida 200 mm	Granulometría de salida 100 mm	Granulometría de salida 200 mm	Granulometría de salida 100 mm
NP1210	350 Mtp/h	250 Mtp/h	350 Mtp/h	250 Mtp/h
NP1313	450 Mtp/h	300 Mtp/h	500 Mtp/h	350 Mtp/h
NP1415	550 Mtp/h	400 Mtp/h	600 Mtp/h	400 Mtp/h
NP1620	900 Mtp/h	600 Mtp/h	950 Mtp/h	650 Mtp/h
NP2023	1800 Mtp/h	1200 Mtp/h	2000 Mtp/h	1300 Mtp/h

Fig. II.30 Capacidades de la trituradora de impacto, para material de  $1.6 \text{ ton/m}^3$

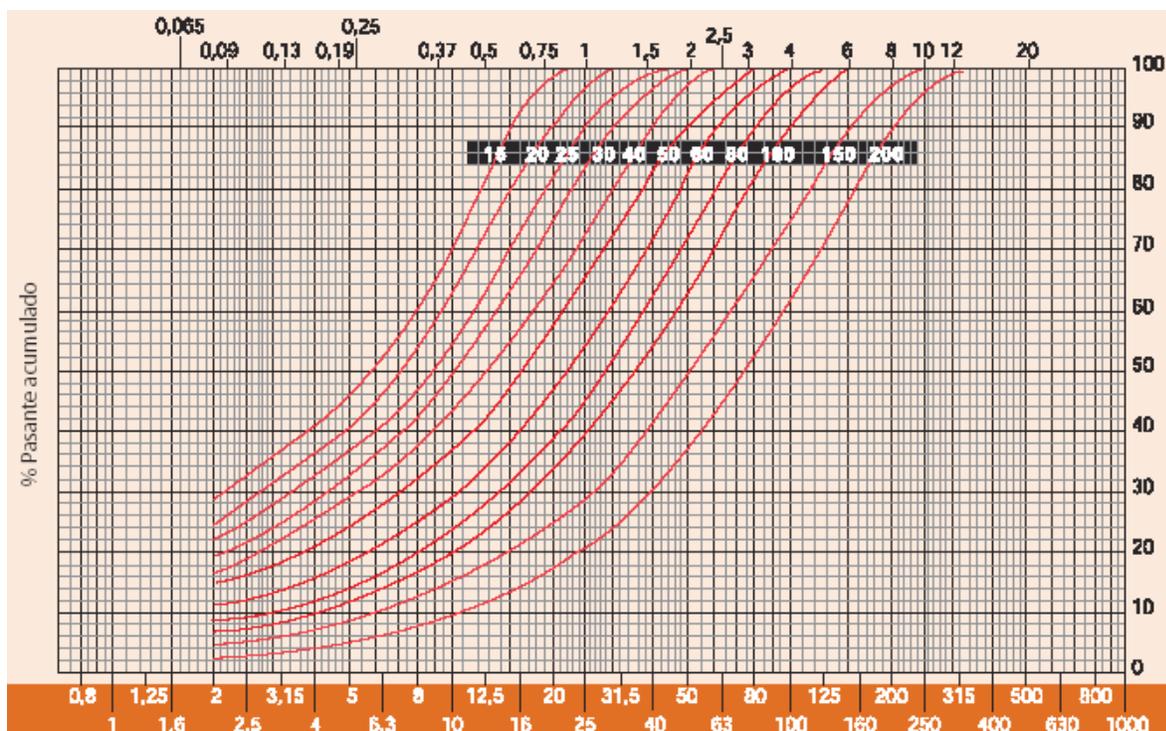
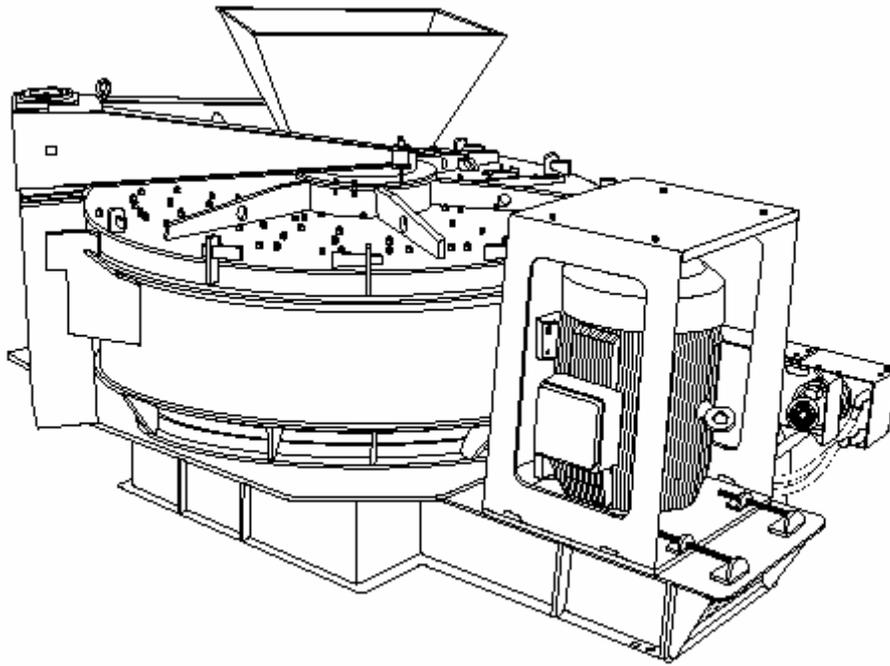


Fig. II.31 Curvas granulométricas.

### Trituradoras VSI

Las trituradoras de impacto de eje vertical (VSI por sus siglas en inglés, vertical shaft impact) de Telesmith se fabrican en 5 modelos standard con capacidades que pueden oscilar entre las 75 y las 500 ton-c/hr.



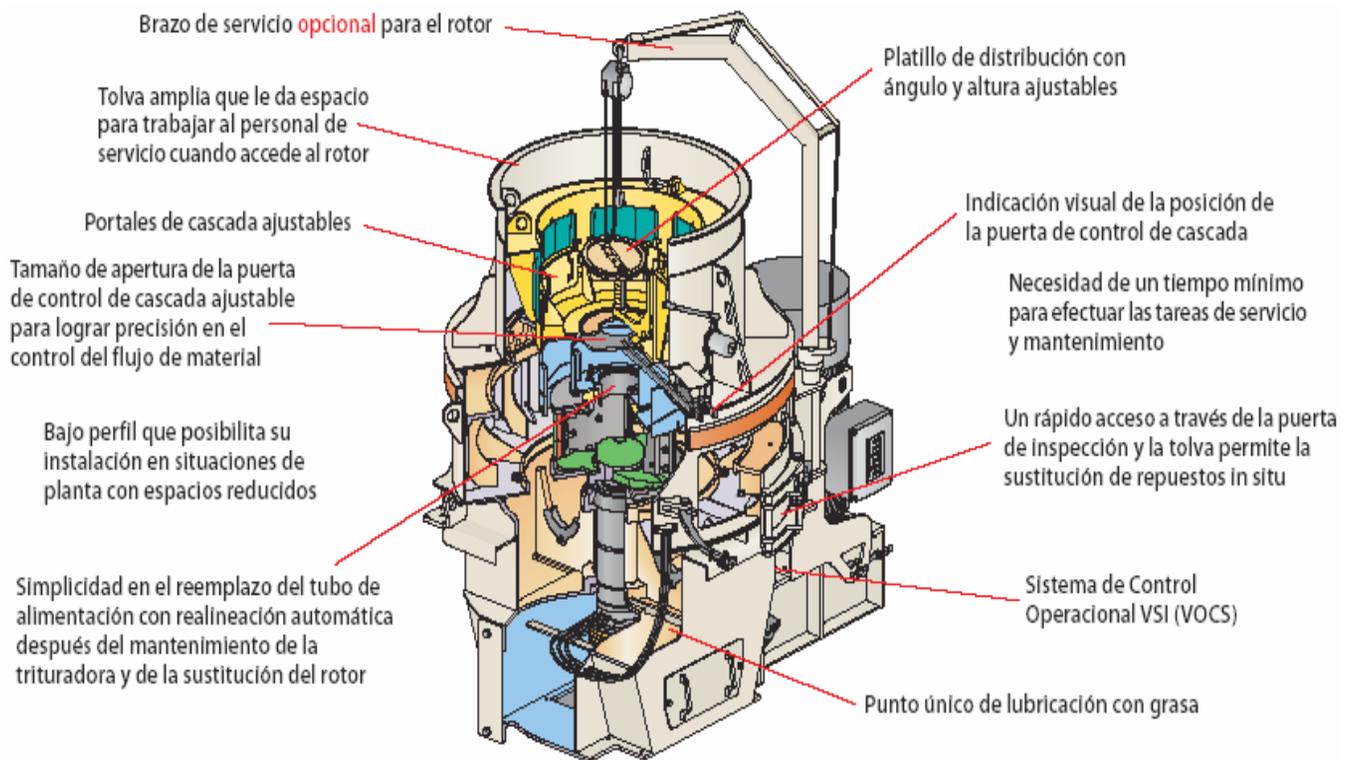
*Fig. II.32 Trituradora de impacto vertical (VSI) Telsmith.*

La trituradora de impacto de eje vertical, de Metso Minerals, llamada Barmac, es otra unidad de reducción de tercera o cuarta fase de alta capacidad para funcionar en muchos entornos de trituración y en el campo de la construcción. Este tipo de trituradoras aplican un procedimiento de trituración roca contra roca.

La trituración combina el impacto de alta velocidad con molienda de desgaste de alta presión para producir grandes volúmenes de producto con forma cúbica. El control continuo de la forma y graduación de la piedra dan por resultado un producto que logra la granulometría requerida.

La forma de las partículas y la graduación constante son el resultado directo del principio roca contra roca de esta trituradora. Las acciones de impacto, molienda y abrasión dentro de la trituradora erosionan las partículas hasta darles un elevado coeficiente de forma.

Tienen un costo total por tonelada bajo, debido a la mejora en la eficiencia energética, la reducción de los costos de desgaste, la prolongación de los intervalos entre los servicios de mantenimiento y la reducción del tiempo necesario para efectuar las tareas de mantenimiento, mejorando al mismo tiempo el rendimiento y el control de la trituración.



*Fig. II.33 Principales componentes de la trituradora de impacto de eje vertical (VSI) de Metso Minerals.*

El montaje, la instalación y la puesta en funcionamiento se pueden lograr en un lapso de 2 a 3 días con dos personas. Debido al peso ligero de la máquina y a las fuerzas dinámicas que actúan durante su funcionamiento, los requisitos de cimentación son mínimos. Se pueden utilizar las estructuras de apoyo existentes o se pueden suministrar columnas o un marco de apoyo.

Opera introduciendo una segunda corriente de material, en cantidades controladas, dentro de la turbulencia de la cámara de trituración, lo cual provoca una sobrecarga en la población de partículas dentro de la cámara, lo cual mejora la transferencia de energía entre las partículas. (fig.II.34)

Esta acción posibilita la regulación externa de la cascada de material mientras la trituradora está en funcionamiento, facilitando el control de las especificaciones y la graduación del producto. La regulación se puede efectuar por operación manual o se puede integrar a los sistemas automatizados de la planta. De esta manera se ofrece un mejor control del producto de descarga de la trituradora, una flexibilidad que posibilita cambios en las especificaciones de alimentación y un control que hace posible un manejo de la calidad del producto y del contenido en partículas finas.

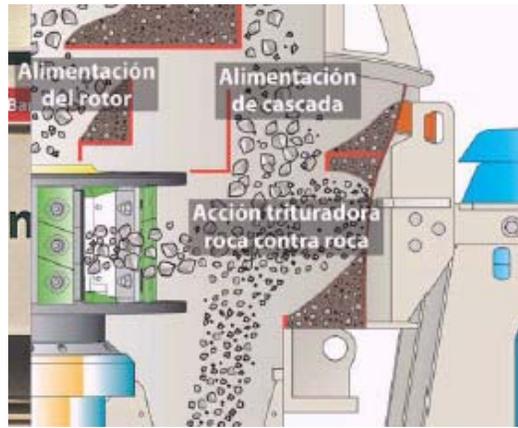


Fig.II.34 Alimentación de la trituradora.

Se puede regular la proporción y la velocidad de cascada que se suministra a la trituradora para maximizar la productividad y eficiencia de la trituradora. Esta regulación se puede lograr abriendo y cerrando hidráulicamente la puerta de caída del material y ajustando la configuración de la alimentación para alcanzar la proporción deseada (ver fig. II.35). La automatización mantiene la trituración en los límites óptimos de funcionamiento.

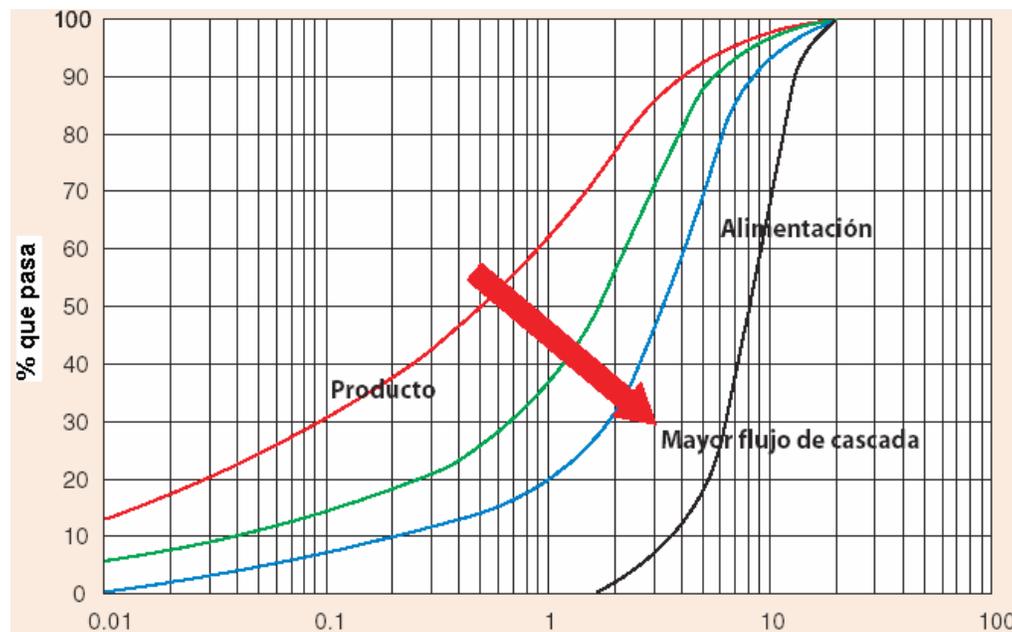


Fig. II.35 Curva granulométrica de la trituradora de impacto de eje vertical, Barmac

En lo referente a la automatización, cuenta con un dispositivo (llamado ACR) que maximiza la capacidad y efectividad de la trituradora, garantiza la operación constante y eficiente en la calidad del producto final y el consumo de energía de la planta. Este dispositivo monitoriza y controla la carga de la trituradora y los niveles de caída del material. Los procedimientos de control interno aseguran que después de la calibración y parametrización iniciales de la trituradora y de la línea de alimentación, el dispositivo ajustará continuamente la trituradora para mantener óptimas condiciones.

El sistema de control operacional (fig. II.36) proporciona al operador la información constantemente actualizada sobre las condiciones de funcionamiento de los componentes mecánicos críticos del equipo. Se monitorizan tres áreas: la vibración causada por un motor no

balanceado, la temperatura de funcionamiento del alojamiento de los cojinetes y la temperatura de la bobina del motor.



*Fig. II.36 Sistema de control automatizado.*

La automatización posibilita llevar a cabo análisis y medidas correctivas en función de las variaciones en los procesos.

Cuenta con una alta capacidad para producir agregados de forma cúbica de elevada calidad que cumplen con las principales especificaciones en la construcción, particularmente en la producción de capas de base para carreteras, asfaltos y concretos.

En materia de agregados y arena manufacturada, los productos finales de cantera requieren de ciertas especificaciones para la construcción. Estas trituradoras producen arena manufacturada y grava para concretos con un buen coeficiente de forma.



*Aspecto del agregado al pasar por la trituradora de impacto*

Estas trituradoras se pueden utilizar en plantas de procesamiento de minerales donde se requiere un producto triturado menor a  $\frac{1}{4}$ ". Es de utilidad en los casos en que la alimentación está mojada o es pegajosa, lo cual hace difícil la trituración tradicional por compresión. También se pueden utilizar para la premolienda, que es similar a la trituración fina pero se usa como trituración adicional o en el lugar de molinos de barras, a efectos de proporcionar una alimentación más fina a los molinos. Un buen ejemplo es la premolienda de crudo de caliza o de clinker. La alimentación de molino se reduce de 1" a No. 4, y se mejora así la capacidad del molino (cerca de un 25%) y el ahorro de energía (cerca de un 15%).

La máquina ha llenado una necesidad específica para la trituración de materiales como bauxita china, caolín, sílice y materiales refractarios.

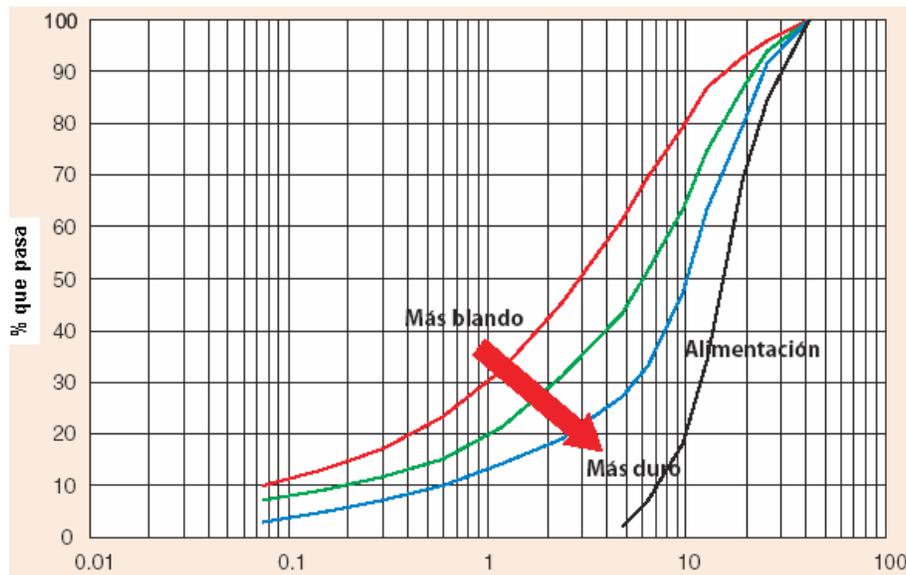


Fig. II.37 Cambios en la granulometría debido a cambios en la dureza del material.

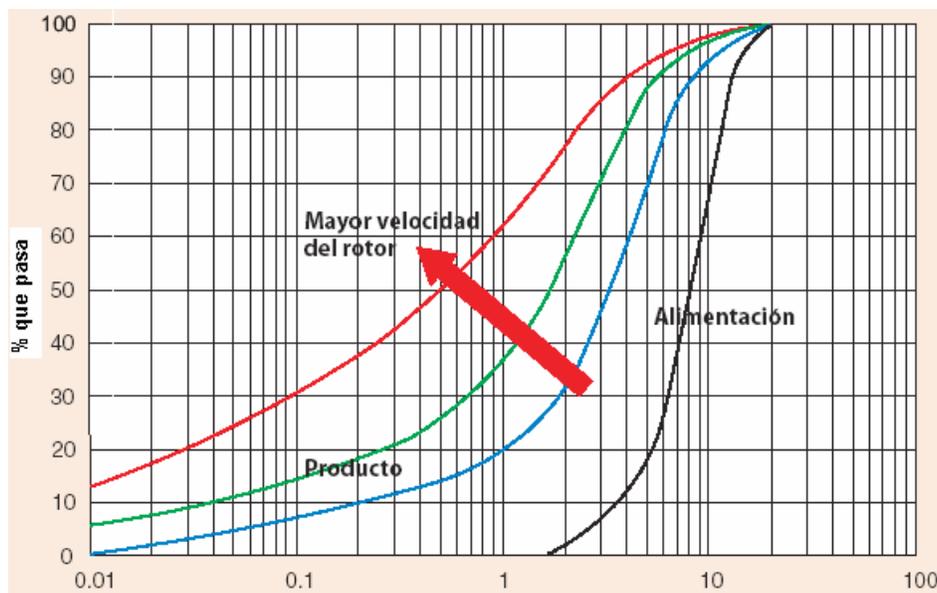
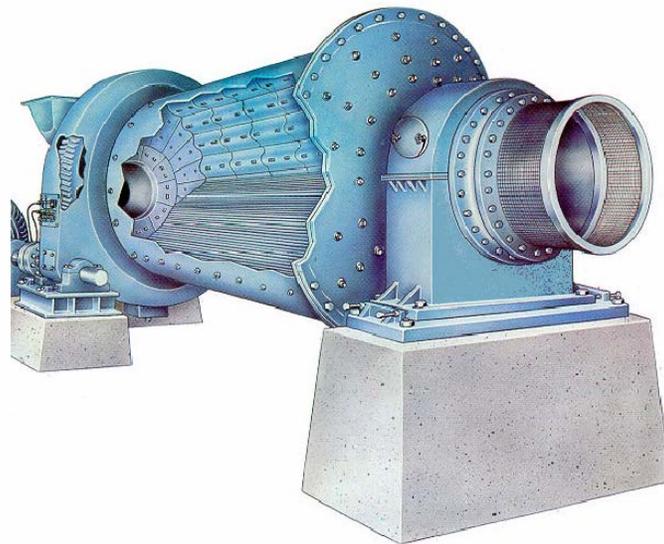


Fig. II.38 Cambios en la granulometría debido a cambios en la velocidad del rotor.

El desarrollo de la tecnología de rotores profundos, junto con la larga vida útil de las piezas de desgaste y las unidades de placas segmentadas reducen drásticamente el tiempo de inactividad vinculado a la sustitución de las piezas de desgaste.

#### II.5.4 Molinos de barras.

Los molinos de barras (fig. II.39) están constituidos esencialmente por un tambor cilíndrico de placa de acero estructural, horizontal, y revestido con placas de acero al manganeso para su protección interior, estando accionado a través de neumáticos con ejes horizontales, o bien a través de un mecanismo de piñón y corona dentada.

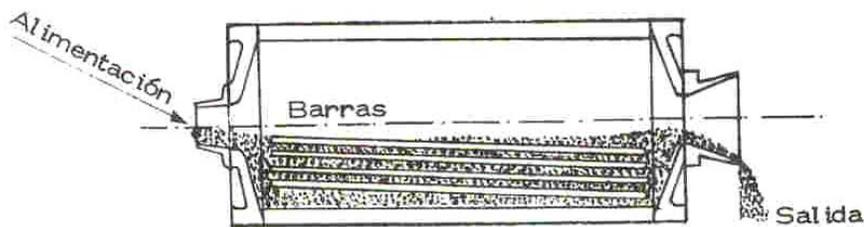


*Fig. II.39 Molino de barras.*

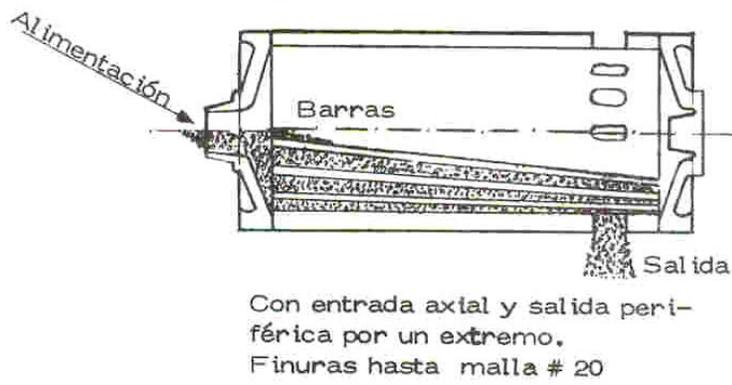
El cilindro está cargado con barras cilíndricas de acero duro de 2" y 3" de diámetro, de longitud ligeramente inferior a la del cilindro. Estas barras accionadas por la rotación del tubo, ruedan las unas sobre las otras, y su movimiento relativo genera una acción intensa de molienda. Los molinos pueden trabajar por vía húmeda o por vía seca, y según el grado de finura del producto por obtener, existen tres tipos de alimentación y descarga, los cuales se ilustran en la figura II.40.



Con doble entrada axial y salida periférica por la parte media. Finuras hasta malla # 4



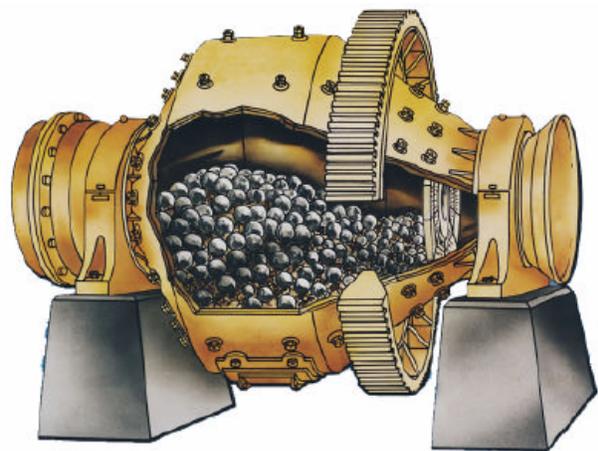
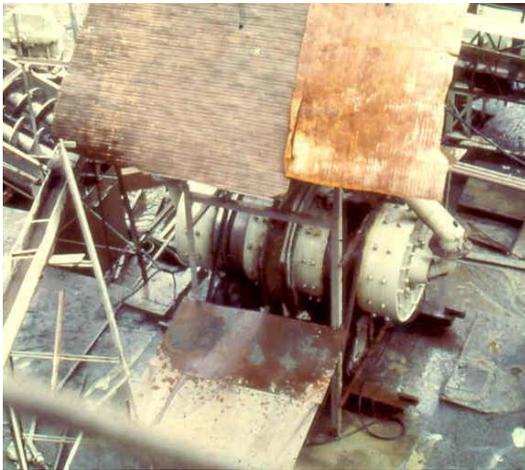
Con entrada y salida axiales. Se obtienen finuras hasta malla # 50



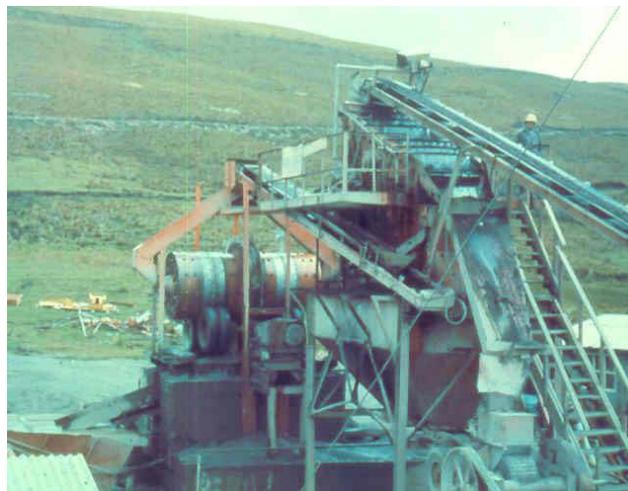
*Fig. II.40 Alimentación y descarga de los molinos de barras.*

### **II.5.5 Molinos de bolas.**

Existen también los molinos de bolas (fig. II.41) que trabajan con el mismo principio que los anteriores, contando con los mismos elementos, pero en lugar de barras se utilizan esferas de diversos diámetros de acuerdo a la finura del material que se requiere.



*Fig. II.41 Molino de bolas*



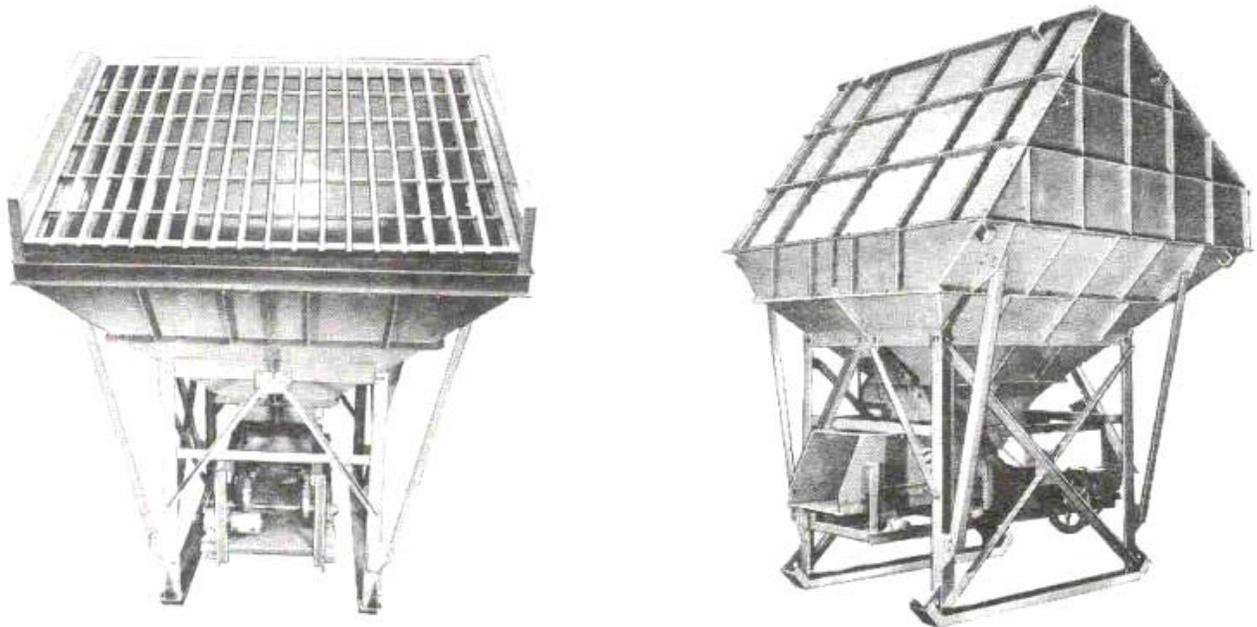
## Capítulo III

# EQUIPO COMPLEMENTARIO

Como se indicó anteriormente, el equipo complementario no actúa directamente en el triturado de una roca, sino que ayuda de una u otra manera a transportar, depositar, distribuir o clasificar el material, existiendo un equipo específico para cada una de estas actividades. De igual forma que con el equipo de trituración, es necesario seleccionar el equipo complementario más adecuado, considerando las condiciones tanto del material como de la obra; para ello es necesario conocer las características específicas del equipo disponible.

### III.1 TOLVAS.

La tolva es el componente de la planta donde el material se deposita por la parte superior y se extrae por la parte inferior. Las tolvas son depósitos de material que funcionan como almacenamiento regulador mientras el material es usado. La figura III.1 muestra una tolva tipo y la figura III.2 a) y b) muestran un equipo en funcionamiento.



*Figura III.1. Vista general de una tolva de recepción, en la que se aprecia la rejilla superior de pre-cribado.*



*Fig. III.2 a) Tolva de recepción de material en la planta de agregados en Xometla, Edo. de México. La roca que se ve tiene un tamaño máximo de 42”.*



*Fig. III.2 b). Tolva de recepción en planta de producción de agregados. Se aprecia el material de alimentación y cómo entra a la trituradora de quijadas.*



*Fig. III.3 Vista en conjunto de la trituración primaria de una planta de trituración portátil, (“El Cajón”, Nayarit) donde se aprecia de izquierda a derecha, la tolva de recepción de la fig. III.2 b); debajo de la tolva está un alimentador grizzly y hacia la derecha una trituradora de quijadas.*

### III.1.1 Uso de las tolvas.

Las tolvas se usan, en general:

1. En la alimentación de las plantas, donde el material en greña es transportado por medio de camiones, bandas transportadoras, cargadores, etc. hasta la tolva. En la parte inferior se coloca un alimentador que irá regulando la cantidad necesaria de material a la boca de admisión de la trituradora
2. Al finalizar el proceso de trituración el agregado es clasificado y puede ser depositado en tolvas, en donde se almacena temporalmente, mientras es requerido.

### III.1.2 Protección contra el desgaste.

Una de las desventajas que presenta el uso de tolvas es su alto costo, debido al rápido desgaste que sufren sus componentes. En este sentido, es recomendable observar una serie de medidas preventivas a fin de incrementar su vida útil; algunas de las más utilizadas son:

- a) Encamisados ( liners) de hule o de acero, dependen de la abrasividad del material. Estos se colocan en las paredes de la tolva, fijándose con tornillos de cabeza plana; en caso de desgaste pueden ser removidos con facilidad.
- b) Una forma muy recomendable para evitar el desgaste es provocar que el material, ya sea roca o agregado, se deslice sobre el mismo material. Esto se logra con un achatamiento en la parte posterior de la tolva, el cual deberá formar un ángulo  $\alpha$  con respecto a la horizontal. Este ángulo debe ser ligeramente menor al ángulo de reposo del material  $\gamma$ , de tal manera que se provoque un acumulamiento de material, sobre el cual deslizará todo material depositado, posterior a éste, provocando impacto y fricción en la misma roca o agregado, evitando así el desgaste de la tolva. Ver figura III. 4

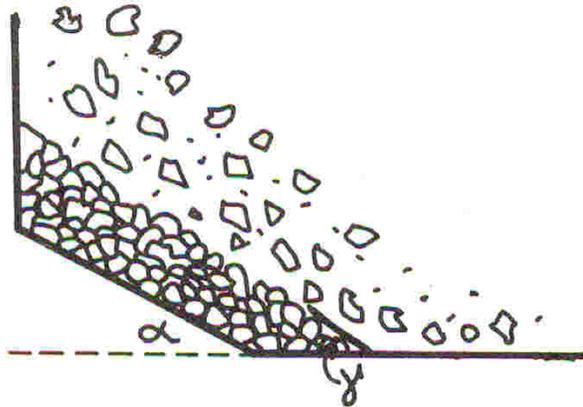


Figura III.4 Forma de evitar el desgaste en una tolva.

El punto importante en el diseño de la tolva es que los materiales no circulen sobre el equipo mismo, para evitar el desgaste de estos, especialmente cuando el material triturado tiene un alto contenido de cuarzo, muy abrasivo, como es el caso de los granitos que se encuentran en la costa del pacífico mexicano.

Las dimensiones de las tolvas deben de ser acordes con la cantidad de material que se va a manejar, régimen de alimentación y régimen de salida.

Las tolvas tienen en la parte superior rieles que impiden que el material caiga bruscamente sobre las bandas o trituradoras según sea el caso, estos rieles cuentan asimismo con una protección contra fricción y desgaste, pre-cribando el material que se recibe.

Como ya se mencionó, las tolvas de alimentación están expuestas a grandes esfuerzos como la trituración, corte, abrasión e impacto constante de rocas y otras partículas. Una superficie no elástica como el acero se deforma o desgasta al recibir el impacto de la carga.



*Roca cayendo a una tolva..*

Existen en el mercado productos que protegen a los equipos y prolongan su tiempo de vida útil (ver fig. III.5), lo que se traduce en costos de mantenimiento reducidos y menos reemplazos de piezas gastadas. El número de tiempos muertos también se reducen y las pérdidas de producción son menores, al tiempo que el montaje de sistemas de sujeción simples y seguros permiten trabajar con mayor rapidez.



*Fig. III.5 Material de protección a tolvas a base de polímeros.*

Los polímeros, como el caucho y el poliuretano, al ser materiales elásticos, absorben la carga, cedен y después recuperan su forma original, cuando la carga desaparece.

Cuando se selecciona un producto de protección contra el desgaste es importante tener en cuenta el peso, la forma y la dureza del material que va a manipularse. Si se establece una granulometría máxima del material se evita un aplastamiento del revestimiento, que reduce su vida útil. Por esto, se recomienda elegir el espesor adecuado del polímero.

Junto con la granulometría, la altura de caída es el criterio de diseño más importante. En las tolvas, la caída del material no debe superar los 3-4 metros. Para contrarrestar alturas de caída muy altas, se puede utilizar un espesor mayor.

El costo de inversión (fig. III. 6) es considerablemente más alto para el revestimiento de polímeros que para el acero, pero el primero se recupera rápidamente a través de una menor necesidad de mantenimiento y una mayor vida de servicio.

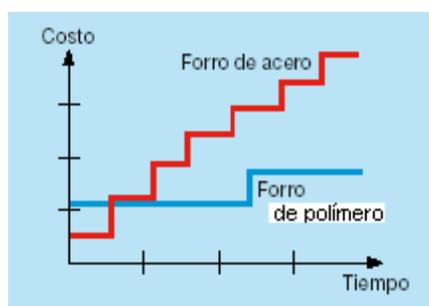


Fig. III.6 Comparación de costos.

Los productos de protección contra el desgaste de polímero contribuyen también a crear un mejor entorno de trabajo ya que reducen sustancialmente el ruido y las vibraciones. En la mayoría de las aplicaciones es posible reducir el ruido en un 50% (ver fig. III.7).

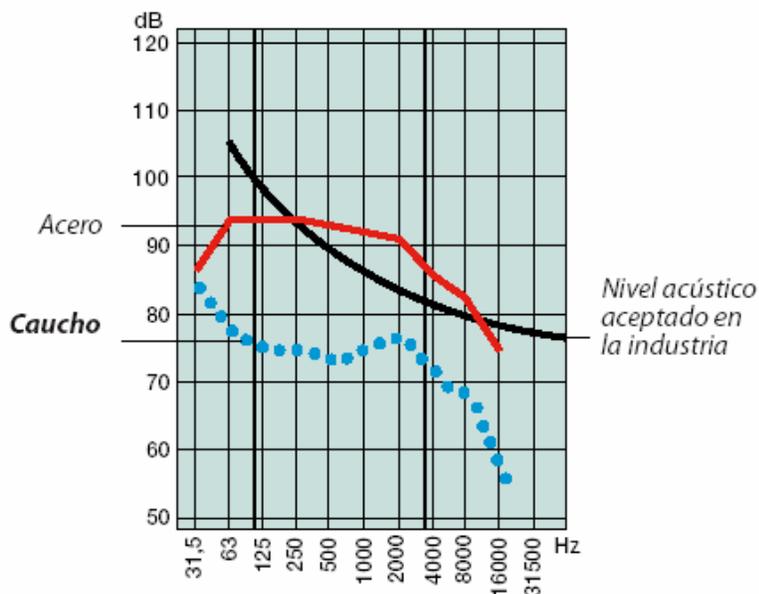


Fig. III. 7 Comparación de los niveles de ruido.

Los elementos de caucho reforzados con acero tienen un respaldo metálico que mantiene unidos los elementos por si el caucho es cortado por partículas extremadamente irregulares o de cantos filosos. El respaldo metálico también evita que el material fino penetre en los empalmes y afloje el revestimiento interior.

Los productos de polímero son materiales de peso reducido. Esto da por resultado una manipulación e instalación sencillas, por lo que el personal de mantenimiento corre menor riesgo de sufrir accidentes causados por el levantamiento de objetos pesados. El peso reducido de los productos de polímeros permite estructuras de soporte más simples y ligeras.

### **III.2 ALIMENTADORES.**

Las trituradoras de quijadas están diseñadas para una interacción con el material que están triturando, una tasa de alimentación baja producirá una gran cantidad de sobre tamaño. En una trituradora de impacto, una buena eficiencia, debido al choque entre rocas, no será posible sin una adecuada alimentación. Cabe mencionar que las trituradoras giratorias no necesitan alimentador.

La capacidad en las trituradoras de quijadas y de impacto será incrementada si la alimentación de la roca se realiza a una tasa uniforme. Una alimentación, como la realizada mediante una pala mecánica, puede llevar a sobrecargar a la trituradora y luego esta es seguida por un abastecimiento insuficiente de roca. Por tanto, el uso de un alimentador colocado antes de la trituradora elimina muchos problemas, los cuales reducen la capacidad de la trituradora. De esta manera, la instalación de un alimentador puede incrementar la capacidad de una trituradora de quijadas en un 15%.

Los principales objetivos de los alimentadores son:

1. Recibir el material.
2. Introducir el material a la planta de trituración.
3. Proporcionar la cantidad requerida de material.
4. Alimentación uniforme y continua.
5. Adecuación de sus dimensiones a las condiciones y naturaleza de la alimentación.

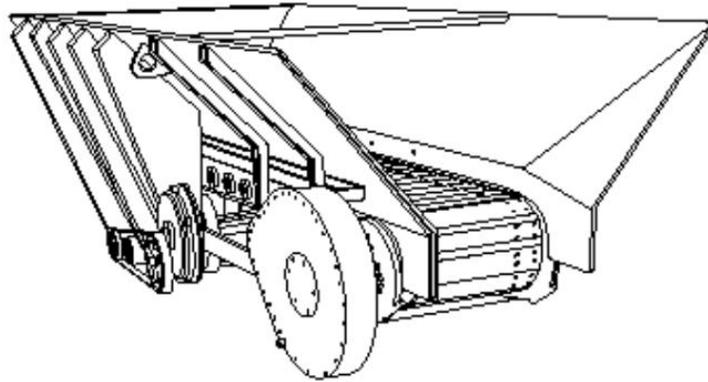
Existen varios tipos de alimentadores:

- 1.- De mandil o de tablero metálico (Apron)\*
- 2.- Vibratorio (Grizzly)
- 3.- Reciprocante (Plate)
- 4.- De banda (Belt)

*\*Nota: El término entre paréntesis corresponde a su nombre en inglés.*

#### **III.2.1 Alimentador de mandil (apron feeder).**

Es un alimentador construido de un recubrimiento metálico que forma una especie de cinturón o banda, compuesto de paletas metálicas, el cual se mueve a una velocidad relativamente lenta (3 a 10 m/min.) que proveerá una descarga favorable del material. las paletas de acero forjado y la sobre posición de estas proveen al alimentador de un sistema de auto limpieza, por lo que está acondicionado para manejar material contaminado de arcilla. Este tipo de equipo se recomienda para instalaciones de alta producción, donde se manejan grandes bloques de roca, en especial en plantas mineras y cementeras. Estos alimentadores tienen la ventaja de que pueden tener una longitud o extensión considerable.



*Fig. III. 8 Alimentador de mandil o tablero metálico.*

Este alimentador provee un movimiento al material permitiendo que se deslice y haciendo variaciones en la velocidad, se logra obtener un control en la tasa de alimentación. Por lo general son utilizados para manejar material grueso, donde los impactos pueden resultar severos para otro tipo de alimentadores.

Los alimentadores están, generalmente, inclinados hacia arriba de  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  para conservar la altura para la descarga en la tolva. La inclinación puede llegar a tener o no efecto en la capacidad del alimentador, pero sí incrementa la potencia requerida en comparación con un alimentador horizontal o plano. Este equipo se puede encontrar en muy diversas dimensiones, siendo los anchos más utilizados: 24", 30", 36", 42", 48", 54", 60", 72" y 84".



*Fig. III. 9 Alimentador de mandil.*

Tamaño mínimo del alimentador o Ancho x Longitud	Longitud máxima en pies	Capacidad en TPH para 25 PPM	H.P. REQUERIDOS PARA LAS LONGITUDES STANDARD.									Carga muy pesada. Mandil fabricado en fundición de acero al manganeso		Carga pesada. Mandil fabricado en placas de acero formadas
			9'	12'	15'	18'	21'	24'	27'	30'	Peso del alimentador de long. mínima (lbs).	Peso por pie adicional (lbs).	Peso del alimentador de long. mínima (lbs).	
30" x 6'	18'	234	5	5	7½	7½	7½	--	--	--			4975	
36" x 9'	21'	338	5	5	7½	10	10	--	--	--	11215	780	9860	
42" x 9'	21'	459	7½	10	10	15	15	--	--	--	11885	830	10365	
48" x 12'	27'	600	-	15	15	20	20	20	25	--	15605	865	13215	
60" x 15'	30'	937	-	--	25	25	30	30	40	50	24250	1120	20650	
72" x 15'	30'	1350	-	--	30	40	40	40	60	60	31470	1580	22790	

*Tabla III.1 Capacidades y características principales de los alimentadores de mandil o tablero metálico.*



*Fig. III.10 Descarga a un alimentador de mandil (abajo).*

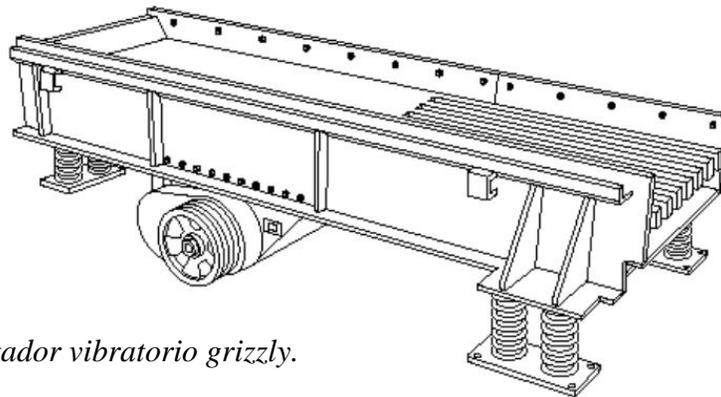
*Fig. III.11 Vista lateral de un alimentador de mandil*



### III.2.2 Alimentador vibratorio con o sin rejilla de pre-cribado (grizzly).

El término en inglés “grizzly” es muy usado para hacer referencia a este tipo de alimentador. Grizzly significa criba; así que este es un alimentador que vibra y que además tiene una criba al final de éste (fig. III. 10). Esta criba o rejilla realiza una preclasificación del material enviando a la trituradora primaria únicamente el material que se requiere en esta primera etapa de trituración. De esta manera, la rejilla permite el paso de finos y material pequeño que pueda contener el material en greña y será almacenado o mandado a otra etapa de trituración, según sea el caso, evitándose así un desgaste innecesario del equipo y además, obteniéndose un mayor rendimiento en la producción.

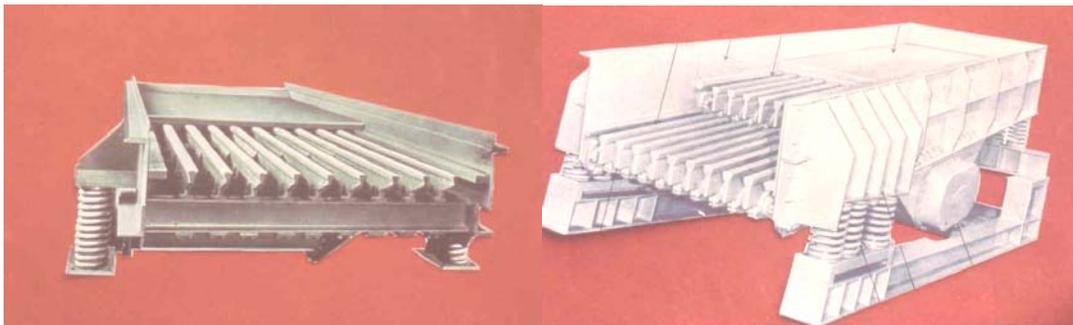
Este tipo de alimentador es el de mayor uso en la actualidad. Son muy usados para manejar varios tamaños de materiales, como puede ser, la roca producto de una voladura para entrar a una trituradora primaria. Se colocan normalmente en una posición horizontal pero pueden inclinarse hacia la trituradora en ángulos desde los 5° hasta los 10° para incrementar su capacidad; por cada 5° incrementados, la capacidad aumenta un 20%. El diseño de la tolva de descarga es fundamental para el funcionamiento del alimentador. Debe de haber un espacio considerable entre la tolva y el alimentador para permitir que el impacto del material descargado sea absorbido en gran parte por la tolva y que sea muy poco el recibido por el alimentador.



*Fig. III.12 Alimentador vibratorio grizzly.*

Por medio de vibraciones a 45° con respecto a la horizontal, el material es conducido hacia adelante, y éste se desliza por gravedad. El rango de alimentación puede ser controlado por un motor de velocidad variable y un control del mismo que regula la frecuencia de las vibraciones.

Este alimentador se utiliza generalmente en plantas de mediana y elevada producción, para elaborar agregados pétreos para la industria de la construcción.



*Fig. III.13 Alimentadores vibratorios grizzly marca TelSmith*

ANCHO ESTANDAR	36"		42"		48"				60"			72"		
LONGITUD ESTANDAR	14'	16'	14'	16'	14'	16'	18'	20'	18'	20'	22'	18'	20'	22'
Alimentador Vibratorio - Peso Total lb	6910	8145	7390	8260	7765	9340	19000	20400	21350	22600	24300	24350	24750	25850
Alimentador Grizzly vibratorio con sección de rejilla de 5'-peso total lb	7005	8310	7625	8550	8015	9625	19350	20750	21800	23050	24750	24550	24750	26300
Alimentador Grizzly Vibratorio con Sección de rejilla de 8' peso total lb	--	8900	--	9270	--	11240	--	--	23200	--	--	--	--	--
Alimentador Grizzly vibratorio con Sección de rejilla de 9' Peso total lb	--	--	--	--	--	--	19900	21650	22850	24700	--	25250	27000	--
Alimentador Grizzly vibratorio con Sección de rejilla de 10' Peso total lb	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	25300	--	--	28000
Extensiones fuera de la zona de carga - ancho Dentro de la lona – ancho	7' 6" 13' 6"	7' 6" 13' 6"	8' 0" 14' 0"	8' 0" 14' 0"	8' 6" 14' 6"	8' 6" 14' 6"	8' 6" 14' 6"	8' 6" 14' 6"	9' 6" 15' 6"	9' 6" 15' 6"	10' 5" 16' 5"	10' 5" 16' 5"	10' 5" 16' 5"	10' 5" 16' 5"
Extens. fuera de la zona de carga-peso Dentro de la zona – peso	13210 20200	14625 22225	14850 22775	16085 25100	17825 27450	19875 30750	21865 34450	24050 38575	24545 36325	26900 40675	29575 44750	27475 38875	30125 43525	33125 47875
Motor eléctrico - H.P.	20	20	30	30	30	30	40	40	40/50	50	50	50/60	60	60
Rango de capacidades en Ton/hora	325- 975	325- 975	400- 1150	400- 1150	450- 1325	450- 1325	450- 1325	450- 1325	575- 1700	575- 1700	575- 1700	700- 2050	700- 2050	700- 2050

*Tabla III.2 Capacidades y características principales de los alimentadores vibratorios.*

El alimentador mostrado en la figura III.14, es una variable, ya que cuenta con tres rejillas de pre-cribado, y su utilización o no dependerá del diseño de la planta de trituración.

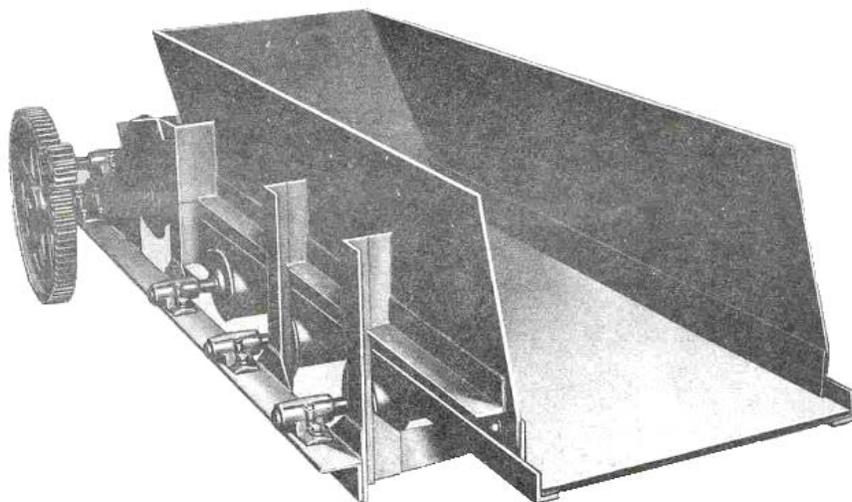


*Fig. III.14 Alimentador grizzly con 3 cribas distintas de la marca Nordberg.*

### **III.2.3 Alimentador recíprocante o de plato (Plate feeder).**

Este tipo de alimentador es muy usado en Europa como la primera unidad que recibe el material de descarga del camión de volteo. Su robusta construcción puede soportar fuertes cargas de impacto. Los costos de instalación son bajos. Se compone de una placa metálica rectangular montada sobre rodillos, animada de un movimiento de vaivén ocasionado por una biela excéntrica, con la cual se puede controlar el régimen de la alimentación. Estos alimentadores se usan, por lo general, en instalaciones pequeñas para el manejo de arenas y gravas, son

relativamente económicos tanto en costo como en mantenimiento. Los anchos más utilizados son: 16", 20", 24", 30", 36", 48", 60" y 72".



*Fig. III.15 Alimentador de plato o reciprocante.*

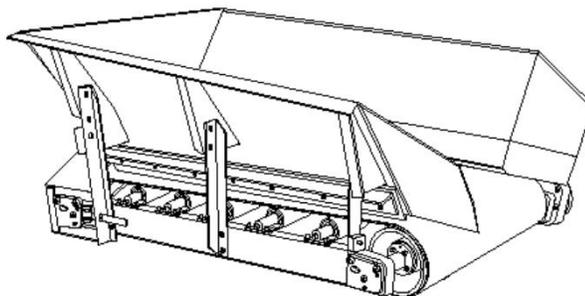
	TRABAJO NORMAL				TRABAJO PÉSDADO				
	16"x5'	20"x5'	24"x5'	*30'x5'-6"	*30"x5'-6"	36"x6'	*48"x7'	60"x8'	*72"x10'
Tamaño del alimentador de plato standard (ancho x long)	16"x5'	20"x5'	24"x5'	*30'x5'-6"	*30"x5'-6"	36"x6'	*48"x7'	60"x8'	*72"x10'
Capacidad, en ton-c./hora	15-60	25-100	35-140	55-220	55-220	75-300	150-600	240-960	280-1100
Ajuste de la carrera, en pulg.	2-6	2-6	26	2-6	2-6	3-8	3-8	3-8	3-8
Velocidad de la flecha excéntrica, en R.P.M.	50	50	50	50	50	40	40	40	30
Caballos de fuerza requeridos	1½	1½	2	3	5	7½	10	20	40
Peso de la unidad, en lbs.	1100	1150	1320	2180	3200	4100	6700	10000	16700
Peso del empaque de madera para exportarse, en lbs.	1250	1300	1500	2450	3600	4600	7500	11250	18000
Volumen, en pies <sup>3</sup>	70	90	100	170	170	250	520	650	930

*Tabla III.3 Capacidades y características de los alimentadores reciprocantes o de plato.*

### III.2.4 Otros tipos de Alimentadores.

Alimentador de banda (Belt feeder).

Opera con el mismo principio que el de mandil pero se utiliza para material de menores dimensiones, por lo general arena o tamaños pequeños de agregado.



*Fig. III. 16 Alimentador de banda.*

Se puede modificar la capacidad regulando la apertura de la compuerta y la velocidad de la banda, pero hay que tener en cuenta que las altas velocidades ocasionan un desgaste excesivo en la banda y las velocidades muy bajas requieren de una banda mas ancha.



### **Alimentador oscilante (wobbler feeder).**

Otro tipo de alimentador es el wobbler, por su nombre en inglés, u oscilante. Funciona como alimentador y a su vez también funciona como un separador preliminar. Este alimentador consiste en una serie de tubos de acero elípticos que están en posición transversal a la dirección de la alimentación y colocados, alternadamente, en posición vertical y horizontal. (Ver fig. III.17)



*Fig. III.17 Funcionamiento del alimentador oscilante.*

Conforme los tubos rotan a la misma velocidad y dirección, el material más pequeño pasa a través de éstos, mientras que los demás son llevados hacia adelante. Estas unidades son muy efectivas en lo que a material viscoso se refiere, ya que ayuda a que el equipo primario no se atasque o se trabe, como puede ser el debido a una cantidad de arcilla considerable.

### **III.2.5 Selección de alimentadores.**

Datos requeridos para seleccionar un alimentador:

- 1.- Toneladas por hora que deben ser manejadas, incluyendo alimentaciones máxima y mínima.
- 2.- Peso volumétrico del material.
- 3.- Distancia a la cual debe transportarse el material.
- 4.- Altura a la cual el material debe ser elevado.
- 5.- Limitaciones de espacio.
- 6.- Método utilizado para la carga del alimentador.
- 7.- Características del material.

Procedimiento para seleccionar un alimentador:

Etapa 1: Seleccionar el tipo de alimentador de acuerdo con la tabla III.4 “Aplicación de los alimentadores”

Etapa 2: Seleccionar el ancho del alimentador. El ancho puede depender de la trituradora que va a ser alimentada; en el caso de una trituradora de quijadas, ya sea con respecto a la boca de admisión o por el tamaño de la abertura de la tolva que va a utilizarse. El ancho del alimentador puede también ser determinado por el tamaño máximo de la roca en la alimentación o por la profundidad deseada del material y su velocidad de transporte. (ver nota).

Etapa 3: Verificar la capacidad del alimentador seleccionado contra las cifras indicadas en las páginas de capacidades respectivas.

Etapa 4: Determinar los hp’s (caballos de fuerza) requeridos de las tablas de selección del tipo de alimentador respectivo (Etapa 1).

Nota: La profundidad para un material con peso volumétrico de 1.6 ton/m<sup>3</sup> (100 lb/pie<sup>3</sup> aproximadamente), puede encontrarse por medio de la fórmula siguiente:

$$D = \frac{4 * TPH}{W * FPM}$$

en la cual:

D .- Profundidad en pulgadas

TPH .- Toneladas por hora

FPM .- Pies por minuto a los cuales es alimentado el material

W .- Ancho neto del alimentador en pies

TIPO DE TRABAJO	TIPO DE ALIMENTADOR RECOMENDADO
Carga de camión o carga directa por tractor, cargador o retroexcavadora. El tamaño máximo de la roca no deberá exceder el 75% del ancho del alimentador.	Alimentador de tablero metálico de mandil, para trabajo extra pesado con paletas de acero al manganeso.
Alimentación de una tolva de carga de material no abrasivo. El tamaño máximo de la roca no deberá exceder el 75% del ancho del alimentador.	Alimentador de tablero metálico de mandil, para trabajo extra pesado con paletas de acero al carbón.
Carga de camión o carga directa de tractor, cargador o retroexcavadora. El tamaño máximo de la roca no deberá exceder al 50% del ancho del alimentador.	Alimentador de tablero metálico de mandil, para trabajo pesado.
Alimentación de una tolva de carga de material no abrasivo. El tamaño máximo de la roca no deberá exceder al 30% del ancho del alimentador.	Alimentador de tablero metálico de mandil, para trabajo standard.
Carga de camión o carga directa por tractor. El tamaño máximo de la roca no deberá exceder al 75% del ancho del alimentador.	Alimentador vibratorio de charola o alimentador vibratorio de rejilla.
Alimentador bajo la trituradora primaria para proteger a la banda transportadora de evacuación.	Alimentador vibratorio de rejilla.
Alimentador bajo tolvas o pilas de almacenamiento. El tamaño máximo del agregado no deberá exceder al 50% del ancho del alimentador.	Alimentador reciprocante o de plato.
Alimentador bajo tolvas o pilas de almacenamiento. El tamaño máximo del agregado no deberá exceder al 30% del ancho del alimentador.	Alimentador de banda.

*Tabla III.4 Aplicación de los alimentadores.*

### III.3 CRIBAS.



El cribado es parte del proceso de trituración, donde el material es separado por medio de mallas, para su consecuente clasificación por tamaños.

El seleccionar un apropiado tipo y tamaño de criba es de gran importancia. Una planta de agregados con un inadecuado cribado limita su tasa de producción e incrementa la dificultad de producir materiales adecuados; los costos de operación serán altos en otras secciones de la planta ya que estarán trabajando a una capacidad menor para ajustarse a las limitaciones del cribado.

El proceso de cribado se basa en la simple premisa de que las partículas más pequeñas a la abertura de la criba pasarán a través de ella y que las partículas más grandes quedarán retenidas.

Las cribas son cajas metálicas, montadas sobre resortes, abiertas por la partes superior y delantera, donde se han colocado mallas por las que se clasifica el material, comúnmente se les conoce como camas de cribado.

En toda planta de producción de agregados es necesario clasificar el material; esto se hace mediante una o más camas de cribado, que además ayudan a dirigir, separar y controlar el material a través de todo el proceso de trituración.

Los principales objetivos del cribado son:

1. Clasificación del producto por tamaños.
2. Separación de los agregados que no tengan el tamaño adecuado.
3. Separación de los agregados finos que no necesiten más trituración.

Cuando es necesario separar el material en varios tamaños se habilitan las cribas con varios pisos de mallas, tantos pisos como tamaños se quiera separar. Por ejemplo, si se pide separar el material en tres tamaños:  $\frac{3}{4}$ " -  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{1}{2}$ " -  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{4}$ " - 0, se colocan en la criba las mallas de  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{1}{4}$ ".

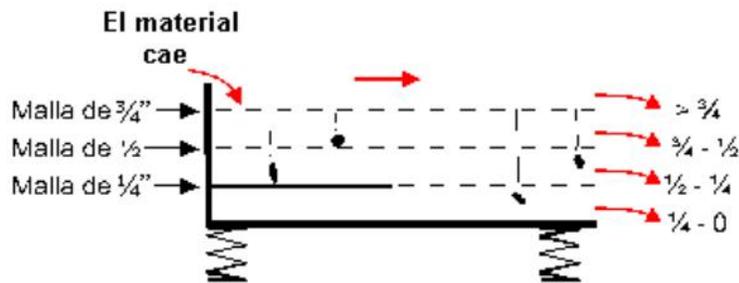


Fig. III.18 Disposición de una criba horizontal de dos pisos y medio.

La criba, tal como se muestra en la figura III.18, se denomina “criba de dos pisos y medio” ya que el piso en la parte de abajo (malla de  $\frac{1}{4}$ ”) sólo se extiende en la mitad delantera, para disminuir el costo de la malla, porque la cantidad que pasa por esta criba es menor que la que pasa por las dos mallas superiores. La caja de la criba se desgasta mucho menos ya que está construida generalmente con material resistente al desgaste.

Las cribas se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Cribas vibratorias.
2. Cribas giratorias (trommels).

### III.3.1 Cribas vibratorias.

Este tipo de cribas son las más usadas y son fácilmente ajustables para aumentar la eficiencia. Las plantas de producción de agregados, generalmente usan de 1 a 3 camas horizontales o inclinadas de cribado. Para realizar la separación deseada se pueden realizar variaciones en la inclinación, velocidad y direcciones de rotación para proveer la flexibilidad para determinar la mejor combinación de éstas variables.

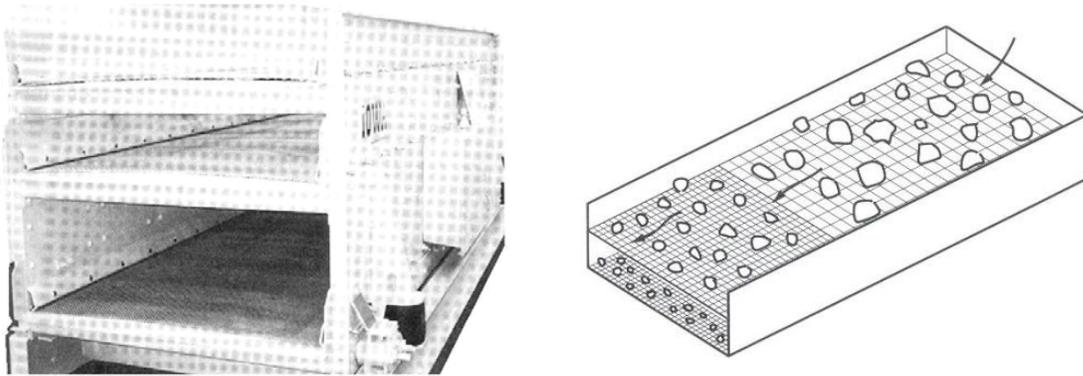
Las cribas vibratorias inclinadas han probado ser las cribas más confiables para la separación de agregados. La adición de contrapesos extras permiten a la criba manejar agregados densos y gruesos.

Las cribas vibratorias se suelen designar por las dimensiones de ancho por largo. Así, una criba modelo 5' x 16' representa una estructura de 5 pies por ancho por 16 de largo, lo que determina un área de cribado de 80 pies cuadrados.

Los tamaños más usuales en la actualidad varían desde 4' a 8' de ancho y de 8' a 24' de longitud.

Se seleccionan cribas horizontales normalmente para grupos móviles o espacios reducidos.

Estas cribas consisten en una o mas camas montadas una encima de la otra en un cajón metálico rectangular (fig. III. 19).



*Fig. III. 19 Caja de cribas.*

Estas cribas pueden estar horizontales o no. Las cribas inclinadas son las más usuales en plantas estacionarias, con una inclinación de  $15^\circ$  a  $30^\circ$ . La vibración, de 950 a 1250 golpes por minuto, hace que el agregado resbale sobre la superficie de la criba. Regularmente, se necesita de una gran amplitud y una velocidad lenta para aberturas grandes y lo contrario para aberturas pequeñas. En el caso de una criba horizontal, las vibraciones deben mover al material tanto hacia arriba como hacia adelante. Por esta razón, la acción de la vibración es de  $45^\circ$  con respecto a la horizontal.



*Fig. III. 20 Criba vibratoria móvil Metso.*



*Fig. III. 21 Criba vibratoria Terex.*



*Fig. III. 22 Criba vibratoria TelSmith.*

Para una criba de varias camas, las aberturas de las cribas deben reducirse progresivamente hacia abajo, para cada cama.

Los tamaños de cribas varían mucho según la marca a utilizar o el modelo, pero por mencionar algunos tamaños, por lo general son de: 4' \* 10', 5' \* 16', 6' \* 16', 6' \* 20', 8' \* 20', 8' \* 24'.

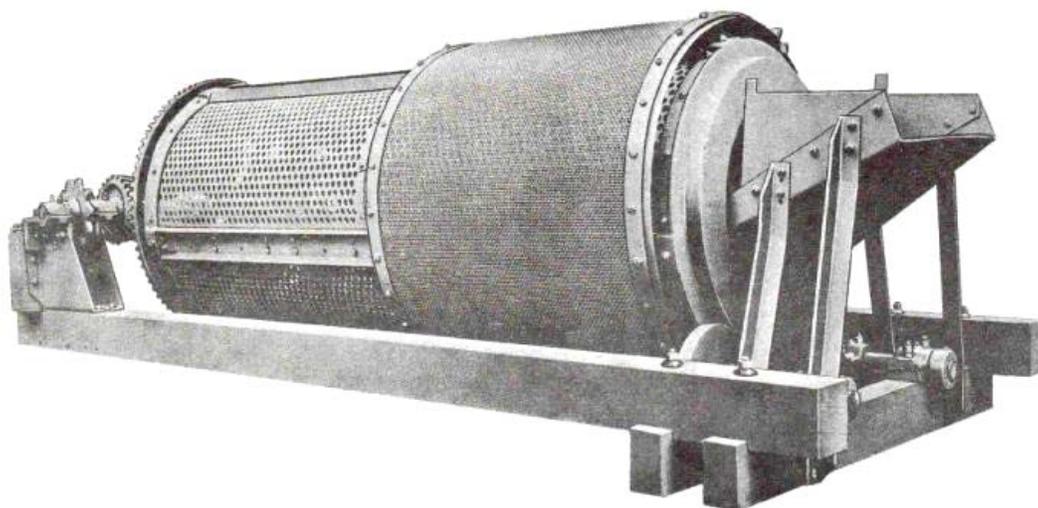
### III.3.2 Cribas giratorias.

Las cribas giratorias tiene muchas ventajas, especialmente cuando son usadas para cribar y lavar material como arena y grava. Su funcionamiento es simple y lento, el mantenimiento y costos de reparación son bajos. Si el agregado a ser lavado (se verá mas adelante) contiene, por ejemplo, arcilla o limo, se puede instalar un depurador cerca de la entrada para agitar el material mojado. Al mismo tiempo, se puede rociar agua al agregado mientras se mueve en la criba.

Las cribas giratorias son generalmente, cilindros de mallas de alambre o de placas perforadas colocados con una inclinación de cinco a siete grados que se hacen girar a una velocidad de 15 a 20 rpm.

El material que se coloca en la parte interior del extremo superior del cilindro es arrastrado por el costado de la criba hasta que su peso vence la adherencia y la fuerza centrífuga y cae al fondo. El movimiento hacia arriba tiene una dirección que se aproxima ligeramente hacia el extremo inferior y la caída es recta, por lo que el material trata de moverse del extremo superior al inferior en una serie de pasos cortos.

Lo que hace que suba el material se debe a lo pegajoso y la velocidad de las partículas. Los fragmentos pegajosos en una criba que gira velozmente seguirán a la criba durante revoluciones completas, tapando u obturando los agujeros, mientras que las partículas duras lisas en una criba lenta parecerán moverse directamente al fondo. En general, la velocidad se debe ajustar de manera que la carga recorra menos de la tercera parte de la altura de la criba. Una buena criba usada correctamente no debe sufrir estas dificultades.

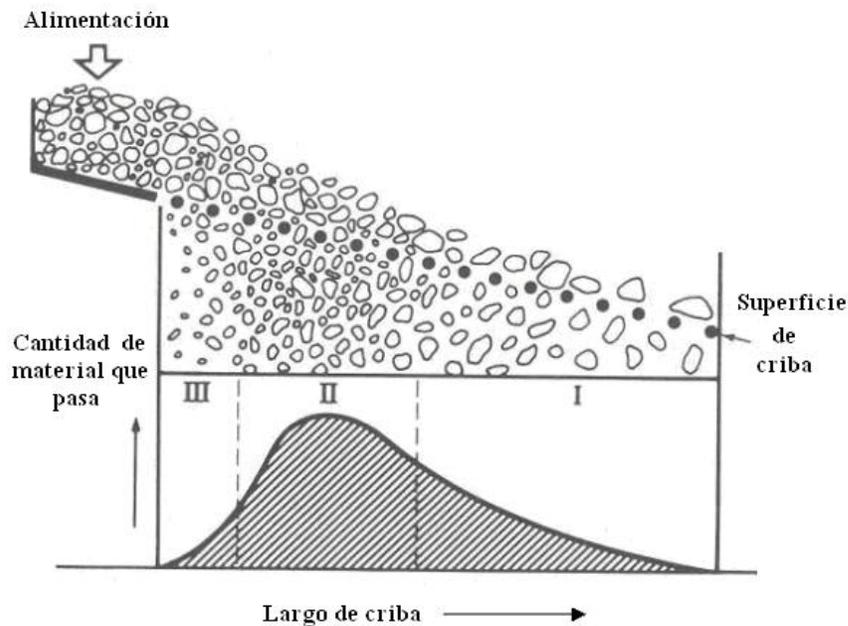


*Fig. III.23 Vista de una criba giratoria (trommel).*

### III.3.3 Capacidad y eficiencia en cribas.

El desempeño de la criba depende de la capacidad y eficiencia de ésta. La capacidad de una criba es el número de toneladas de material que un pie cuadrado puede separar por hora. La capacidad de una criba no es la cantidad total de material que puede ser alimentado y que pasa sobre su superficie, sino la tasa a la cual está separando el material deseado desde que es alimentada. La capacidad variará con el tamaño de las aberturas, el tipo de material cribado, contenido de humedad en el material y otros factores. Al aumentar la capacidad generalmente resulta en un decremento de la eficiencia, estos dos aspectos siempre deben de considerarse a la par al momento de calcular la criba.

Una forma de incrementar la eficiencia es aumentando el largo de la criba, de esta manera el material tiene una mayor oportunidad para pasar a través de ella, pero resulta en un pequeño decremento de su capacidad, como se ilustra en la fig. III.24. Normalmente, una criba tiene un largo de 2 a 3 veces su ancho y bajo circunstancias específicas, como puede ser de espacio, la proporción largo-ancho se ajusta según las especificaciones.



*Fig. III.24 Cantidad de material que pasa, según cada región que ocupa en la criba.*

La eficiencia de la criba se define como la razón de la cantidad de material que pasa la criba dividida por la cantidad total de material que es suficientemente pequeño para pasar a través de ella. La mayor eficiencia se obtiene con una sola malla, generalmente entre el 90 y el 95%. Un valor del 100% no resulta práctico de alcanzar. Una eficiencia de 90 a 95 % es recomendable para la industria de los agregados; conforme más camas se tengan, ésta se verá decrementada una a una, a partir de un 85% para la segunda cama y de 75% para la tercera. El uso de agua, incrementará la eficiencia, pero para esto se requiere de equipo adicional. Muchas de las especificaciones de agregados se hacen para ajustarse a la ineficiencia en el proceso de cribado.

La capacidad de una criba, además de depender de su superficie efectiva de cribado, se ve determinada por múltiples factores, entre los que destacan:

- Granulometría del material alimentado
- Número de productos que se requieren
- Porcentaje de sobre tamaño contenidos por el material que se clasifica en cada malla
- Porcentaje de infra tamaños
- Grado de humedad del material
- Eficiencia de cribado deseada
- Procedimiento de cribado (vía seca o vía húmeda)
- Número de piso de cribado
- Peso del material
- Espesor de alambres que forman la malla

El proceso de cribado (vía húmeda o vía seca) lo determinan las especificaciones y el control de calidad, siendo común el proceso de vía húmeda para la obtención de agregados pétreos para concreto hidráulico y generalmente el proceso de vía seca para agregados para pavimentos de carreteras y aeropistas.

El procedimiento de estimación de los rendimientos de las cribas se basa fundamentalmente en factores estadísticos. Los fabricantes de estos equipos han llegado a determinar por este procedimiento diferentes factores empíricos que influyen en el rendimiento de las cribas dadas diferentes aberturas de mallas.

La práctica actual seguida por los fabricantes, consiste en expresar la capacidad de una criba en toneladas cortas por hora, para cada tamaño de abertura de malla.

Mencionado esto, existe una gran variedad de tablas para obtener la capacidad de las cribas (dependiendo del fabricante) en base a la siguiente expresión:

$$\text{Area} = \frac{\text{Alimentación} - \text{Sobre tamaño}}{A * B * C * D * E * F}$$

Donde A, B, C, D, E Y F son factores que dependen de las características de las cribas y del material (ver tablas III.5). También se llegan a utilizar otros factores (G, H, J) que, dependiendo del criterio del ingeniero diseñador de la planta, puede considerarlos o no.

## CAPACIDAD DE LAS CRIBAS VIBRATORIAS

### Tablas III.5

*FACTOR "A": Capacidad en toneladas cortas por hora 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%.*

Claro de la malla cuadrada	0.0331"	0.0661"	0.093"	0.125"	0.131"	0.185"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
Número de malla	20	12	8	7	6	4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Arena	0.58	0.94	1.01	1.47	1.59	1.69	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Polvo de roca	0.48	0.78	0.84	1.19	1.30	1.41	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Polvo de carbón	0.36	0.59	0.64	0.91	0.98	1.07	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Grava de río	---	---	---	---	---	---	2.13	2.40	2.74	2.90	3.03	3.23	3.36	3.56	3.63	4.12	4.59	4.98	6.17
Roca triturada	---	---	---	---	---	---	1.74	2.04	2.29	2.39	2.52	2.68	2.10	2.95	3.04	3.45	3.83	4.17	5.13
Carbón	---	---	---	---	---	---	1.35	1.51	1.76	1.80	1.91	2.02	2.10	2.25	2.27	2.57	2.87	3.11	3.87

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

Porcentaje de Sobretamaño	Factor "B"	Porcentaje de Sobretamaño	Factor "B"
10%	1.13	85%	.50
20%	1.02	90%	.46
30%	.96	92%	.43
40%	.88	94%	.40
50%	.79	96%	.32
60%	.70	98%	.24
70%	.62	100%	.00
80%	.53	---	---

*Factor "C": Una separación perfecta o eficiencia del 100% no es económica. En la práctica del cribado de agregados, para productos terminados, 98% de eficiencia es el extremo y de un 90% a un 94% se considera satisfactorio*

Eficiencia deseada	70%	75%	80%	85%	90%	92%	94%	96%	98%
Factor "C"	1.90	1.70	1.50	1.35	1.15	1.08	1.00	0.95	0.90

*Factor "D": Este factor es necesario considerarlo cuidadosamente cuando se esté cribando un material con alto contenido de arena o roca fina. Por ejemplo, si se está cribando a 1/2", considerar el porcentaje menor a 1/4" en la alimentación*

Cantidad en la alimentación menor de la mitad de la malla de cribado	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Factor "D"	0.50	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.70	2.00	2.40	---

#### CRIBADO POR VIA HUMEDA

El cribado por vía húmeda debajo 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 250 a 500 galones por minuto de agua.

Tamaño de la abertura de la malla (pulgadas o número de la malla)	20	14	10	8	1/8"	6	4	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	3/4"	1" ó más
Factor "E"	1.10	1.50	2.00	2.25	2.50	2.50	2.50	2.00	2.00	1.75	1.40	1.30	1.25

*Factor "F": 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 pisos, se utilizará el factor "F" indicado correspondiente.*

Piso	Superior	Segundo	Tercero	Cuarto
Factor "F"	1.00	0.90	0.80	0.70

Debido a los factores que afectan la capacidad de la criba, no es posible calcular una capacidad exacta para esta. Si un número dado de toneladas de material deben pasar por hora, es recomendable seleccionar una criba cuya capacidad total sea 10 o 25% mayor que la capacidad requerida.

A continuación se muestra otra forma de calcular los diferentes factores para el cálculo de cribas.

La figura III.25 da capacidades para cribado en seco que pueden ser usadas como guía para seleccionar el tamaño adecuado de la criba. Las capacidades deben ser modificadas mediante la aplicación de los apropiados factores de corrección.

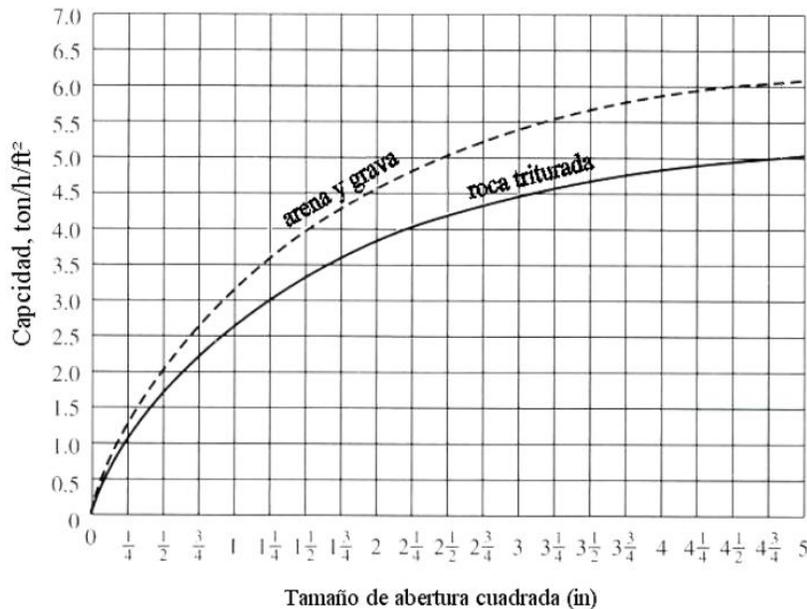


Fig. III.25 Capacidades propuestas para cribas.

Los valores representativos de estos factores se discuten a continuación.

*Factores de eficiencia*

Si una baja eficiencia de cribado es permisible, la capacidad debe ser mayor que los valores de la fig. III.25. La tabla III.6 proporciona factores cuyas capacidades deben ser multiplicados para obtener las capacidades correctas para las eficiencias dadas.

<b>Eficiencia permisible (%)</b>	<b>Factor de eficiencia</b>
95	1.00
90	1.25
85	1.50
80	1.75
75	2.00

Tabla III.6 Factores de eficiencia.

*Factor por camas*

Este factor variará de valor dependiendo de la posición de la malla en una criba múltiple o de varias camas. Ver tabla III.7

Número de camas	Factor por camas
1	1.00
2	0.90
3	0.75
4	0.60

Tabla III.7

*Factor por tamaño de agregado*

Las capacidades de las cribas dadas en la fig. III.25 están basadas para un cribado de material seco que contiene tamaños de agregados tales como los que se pueden encontrar a la salida de cualquier trituradora. Si el material a cribar contiene un excedente de tamaños pequeños, la capacidad de la criba se verá incrementada, si al contrario, el material tiene un excedente de tamaños grandes, la capacidad se reducirá. La tabla III.8 da factores usuales que se pueden aplicar para corregir el efecto de finos o de material grueso.

Porcentaje de agregado menor a 1 / 2 el tamaño de la abertura de la criba	Factor por tamaño de agregado
10	0.55
20	0.70
30	0.80
40	1.00
50	1.20
60	1.40
70	1.80
80	2.20
90	3.00

Tabla III.8 Factor por tamaño de agregados.

Para determinar el área de una criba, podemos utilizar la fig. III.25 que muestra las capacidades teóricas de una criba en toneladas por hora por pie cuadrado para un material de 1.6 ton/m<sup>3</sup>.

La capacidad corregida de una criba se da por la ecuación:

$$Q = ACEDG$$

donde:

- Q.- Capacidad de la criba (ton/h)
- A.- Área de la criba (ft<sup>2</sup>)
- C.- Capacidad teórica de la criba (ton/hr/ft<sup>2</sup>)
- E.- Factor de eficiencia
- D.- Factor por la cama de cribado
- G.- Factor por tamaño de agregado

El área mínima se calcula por tanto:

$$A = \frac{Q}{CEDG}$$

*Ejemplo:*

Determinar el tamaño mínimo para una criba sencilla con una abertura de 1 ½"; para cribar 120 t/hr de roca triturada seca, para un material de 1.6 ton/m<sup>3</sup>. La criba tiene un ancho de 4 pies. Una

eficiencia del 90% se considera satisfactoria. El análisis del agregado indica que aproximadamente 30% de este será menor de ½”.

Los factores utilizados en la ecuación, valen:

de la fig. III.25, se lee que:

$$C = 3.3 \text{ ton/hr/ ft}^2$$

de la tabla III.6

$$E = 1.25$$

de la tabla III.7

$$D = 1$$

de la tabla III.8

$$G = 0.8$$

Sustituyendo:

$$A = \frac{120}{3.3 * 1.25 * 1 * 0.8} = 36.36 \text{ ft}^2 = 3.4 \text{ m}^2$$

Ya que los factores utilizados pueden variar y para ofrecer un margen de seguridad, como se había mencionado con anterioridad, es recomendable seleccionar la criba cuya capacidad total calculada sea de un 10 a un 25% mayor que la requerida, para este ejemplo, se propone utilizar un factor de seguridad de 1.2, entonces:

$$A = 3.4 * 1.2 = 4.0 \text{ m}^2$$

Así que como mínimo se debe utilizar una criba de 1m x 4m = 4m<sup>2</sup> (o su equivalente en pulgadas).

Cuando el espesor de la cama de cribado excede a 4 veces la abertura del claro libre de la malla de cribado, el tamaño menor no tiene contacto con la malla antes de la descarga final. En efecto, los tamaños menores del agregado nunca tienen la oportunidad de pasar a través del claro libre y son arrastrados con el sobre tamaño del material. Por tanto, el espesor de la cama en la descarga final no debe exceder de 4 veces el claro libre de la malla.

La forma para determinar el espesor de la cama de cribado resulta de la expresión siguiente:

$$E = \frac{S * C}{5 * V * A}$$

Donde:

E.- Espesor de la cama en la descarga final (pulgadas)

S.- Sobre tamaño (ton-c/h)

C.- Peso volumétrico (Pies cúbicos por tonelada de material)

V.- Velocidad del viaje (ppm)

A.- Ancho de la criba (pies)

Nominalmente se considera 75 ppm para cribas inclinadas con pendiente de 18° a 20° y usualmente 45 ppm para cribas horizontales.

### III.3.4 Características y tipos de mallas.

Cuando se trituran materiales muy abrasivos, como el granito ya mencionado, el costo de la trituración puede resultar muy alto por el reemplazo frecuente de las mallas.

En estos casos la solución ha sido construir mallas ponchando agujeros en placa de acero-manganeso del tamaño de la abertura de la malla que sustituyen. Se recomienda ponchar los agujeros al tresbolillo (fig. III.26).

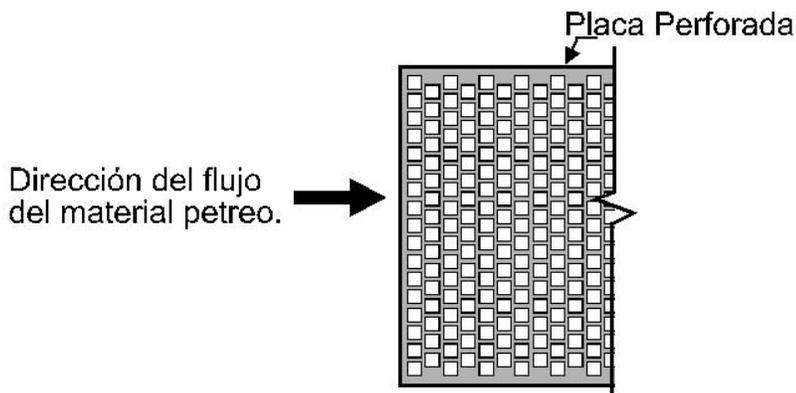


Fig. III.26 Placa perforada para servir como malla..

El tamaño de las ponchaduras es el del diámetro del material, para el espesor de la placa y la separación entre las ponchaduras es suficiente hacerlas iguales al diámetro del alambre de la malla.

En casi todas las operaciones básicas de trituración, los agregados deben separarse en dos o más clasificaciones de tamaños de partículas. Esta separación permite la selección de cierto material para, según el caso, un adicional o proceso especial o la división de determinado material para que no pase a un proceso innecesario.

Esto se realiza, en primera instancia y en la mayoría de los procesos de trituración, en la etapa primaria de trituración, separando el material de tamaño tal que pueda pasar esta etapa sin necesidad de trituración, mediante la ayuda de un alimentador grizzly, que permite un pre-cribado y reduce, de esta manera, la carga total de la trituradora primaria y aumentando a su vez la capacidad total de la planta.

La criba puede designarse en función de la abertura o malla. La diferencia entre estos dos conceptos se ilustra en la fig. III.27. La abertura es la dimensión medida entre dos alambres adyacentes paralelos: La malla es el número de aberturas por pulgada, medida de centro a centro de los alambres paralelos.

Abertura (de 1")  
Malla (No.3)

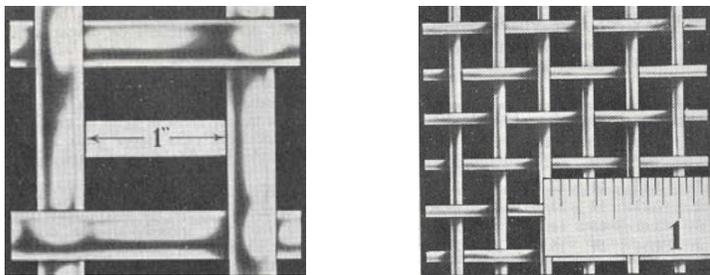


Fig. III.27 Diferenciación entre abertura y malla.

Una abertura cuadrada en la malla, permite el paso de un material de mayor tamaño que el que pasaría por un agujero redondo del mismo diámetro. La tabla III.9 contiene una tabla de tamaños equivalentes de las aberturas cuadradas y redondas. Como un ejemplo de su uso, si una criba con agujeros redondos de dos pulgadas de diámetro está separando el agregado correctamente, una malla con aberturas cuadradas que la reemplazara tendría una separación de  $1\frac{3}{4}$ ".

Las aberturas rectangulares dejan pasar materiales mayores que su menor dimensión, pero menores que el cuadrado de la dimensión mayor. Cada forma rectangular tendrá características diferentes.

Las aberturas rectangulares se usan cuando la inclinación de la criba reduce la longitud efectiva de los cuadrados. Las mallas a prueba de obstrucciones tienen los alambres más largos de la malla de menor tamaño, que los transversales, por lo que se pueden vibrar y remover haciendo pasar los pedazos que se atorán entre ellos. El "cegamiento" es el atascamiento parcial o total de la tela de alambre con material inerte.

Diámetro del agujero redondo	Tamaño de la abertura cuadrada	Diámetro del agujero redondo	Tamaño de la abertura cuadrada
1/8	3/32	2 3/8	2
3/16	5/32	2 1/2	2 1/8
1/4	3/16	2 3/4	2 1/4
5/16	1/4	3	2 1/2
3/8	5/16	3 1/4	2 3/4
1/2	3/8	3 1/2	3
5/8	1/2	3 3/4	3 1/8
3/4	5/8	4	3 5/16
7/8	3/4	4 1/4	3 1/2
1	7/8	4 1/2	3 3/4
1 1/4	1	4 3/4	4
1 3/8	1 1/8	5	4 1/4
1 1/2	1 1/4	5 1/4	4 1/2
1 5/8	1 3/8	5 1/2	4 3/4
1 3/4	1 1/2	5 3/4	4 7/8
1 7/8	1 5/8	6	5
2	1 3/4	7	5 3/4
2 1/4	1 7/8	8	6 3/4

Tabla III.9

Hay una tolerancia para el cribado, ya que es imposible tener agregados del mismo tamaño perfectamente cribados: La cantidad de agregado que se criba en una pulgada y retenido en 1/4 de pulgada no debe ser menor del 30% o mayor del 40% de la cantidad total de agregado.

Las cribas formadas por barras en un solo sentido dejan pasar fácilmente los fragmentos con forma de laja de tamaño excedente. Si el contraventeo inferior se coloca con separaciones tan pequeñas que las ranuras se conviertan en cuadradas, esta dificultad disminuye. Sin embargo, para que tengan la misma capacidad deberán separarse más las barras o alargarse el recorrido del material.

Para un material dado y una separación de las barras, la cantidad de material que pasa a través de la rejilla se aumentará alargando la criba o reduciendo su inclinación. Una criba más larga ocupa un espacio mayor tanto horizontal como verticalmente. Una inclinación muy pequeña hace que el material se quede en la superficie y obstruya las ranuras. Una criba muy corta o muy inclinada impedirá que pase todo el material de tamaño menor.

Como ya se mencionó, los pisos de clasificación o camas, son mallas rectangulares formadas por alambres entretejidos o bien por placas con perforaciones de diferentes aberturas de acuerdo al tamaño requerido, las más usuales en base a las especificaciones son las siguientes:

<b>1. ESTADOS UNIDOS: NORMA A.S.T.M.</b>	
<b>DESIGNACION DE MALLA</b>	<b>CLARO ENTRE MALLAS (mm)</b>
3"	76
1 ½"	38
¾"	19
¼"	6.3
# 4	4.76
# 8	2.38
# 16	1.19
# 30	0.59
# 50	0.297
#100	0.149
#200	0.174
#400	0.037

<b>2. FRANCIA: NORMA AFNOR NF-XII-501</b>	
<b>DESIGNACION DE MALLA</b>	<b>CLARO ENTRE MALLAS (mm)</b>
50	50
20	20
15	15
10	10
5	5
Módulo 37	4
35	2.5
32	1.25
28	0.50
25	0.25
22	0.125
20	0.080
17	0.040

<b>3. INGLATERRA: NORMA BSA-410</b>	
<b>DESIGNACION DE MALLA</b>	<b>CLARO ENTRE MALLAS (mm)</b>
3"	76
1 ½"	38
¾"	19
¼"	6.3
#5	3.35
#10	1.67
#22	0.699
#44	0.353
#85	0.178
#100	0.172
#200	0.076
#300	0.053

*Tablas III.10 Especificaciones para mallas según diferentes criterios.*

En México se utilizan las normas de la SCT, SARH, CFE, etc., basadas en las de la A.S.T.M.

Para que se pueda efectuar la separación, el material natural debe moverse o sacudirse sobre la superficie de la criba. Los materiales pegajosos o mojados y las aberturas pequeñas requieren el máximo de movimiento. El movimiento se puede obtener por gravedad a lo largo de una criba inclinada, por rotación, o haciendo vibrar la criba. Son comunes las combinaciones de la gravedad con otros métodos.

La superficie de la criba debe ser lo suficientemente fuerte como para soportar el peso del material, lo suficientemente flexible para resistir la vibración y debe tener el área necesaria para permitir el paso de la cantidad de material deseado. Existe una gran variedad de superficies de cribas y tipos, que son fabricados de diferentes materiales con características particulares. Los catálogos de los fabricantes de cribas contienen gran cantidad de información que servirá como ayuda para el momento de seleccionar una criba. Cada selección de criba es única y frecuentemente requiere de prueba y error para obtener el procedimiento de cribado apropiado.

Las diferentes formas de la superficie de cribado están disponibles en gran variedad de formas, como las ilustradas a continuación.

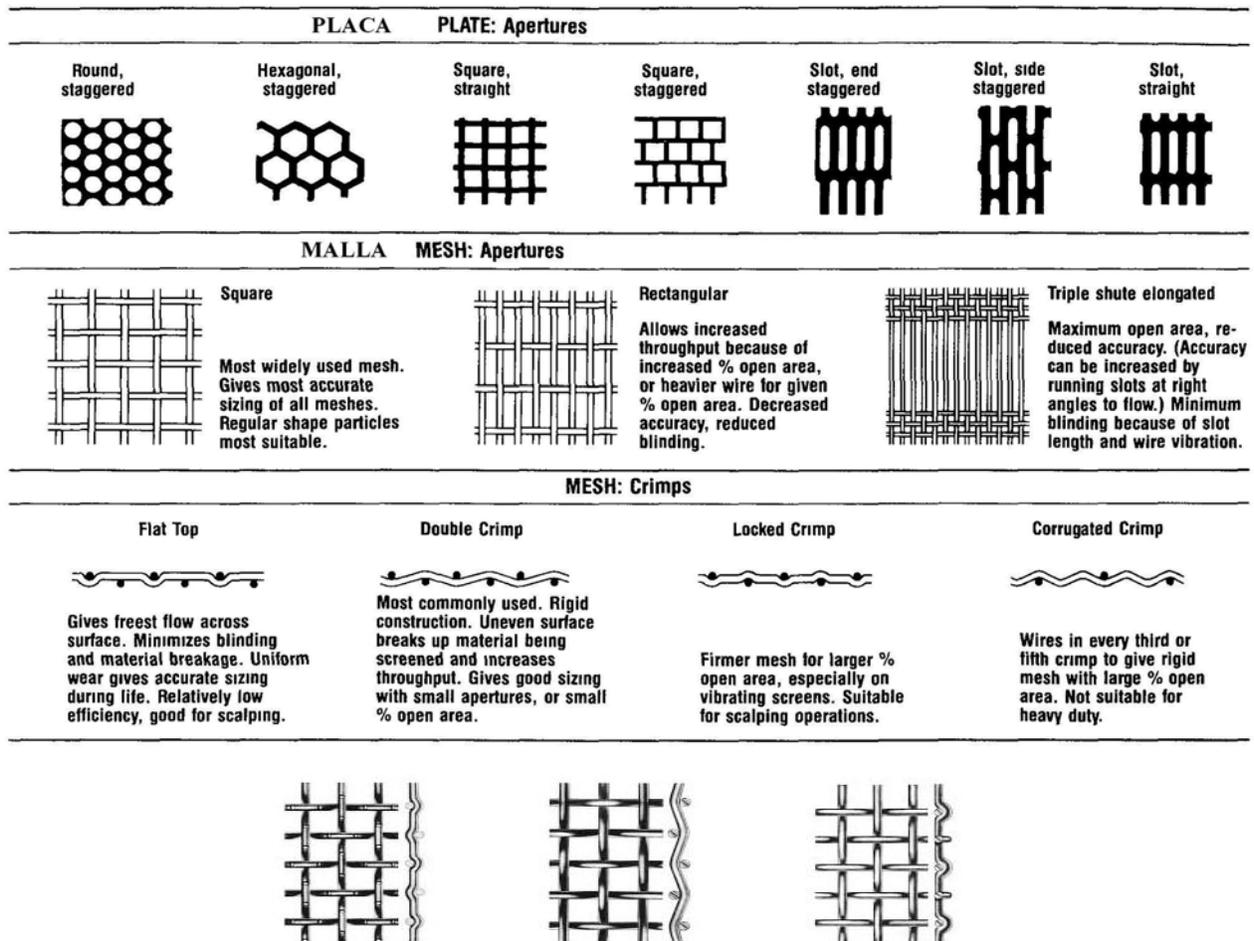


Fig. III.28 Diferentes superficies para cribas.

Existen otros tipos de cribas usadas en la industria de los agregados como de caucho, de poliuretano, de plato perforado ya mencionado, etc. Las cribas de caucho y poliuretano son usadas regularmente en áreas de alto desgaste, para incrementar la vida de servicio.

#### Mallas metálicas para cribas

En el mercado, la marca Trellex cuenta con una serie de mallas metálicas con diferentes aperturas, diámetros de alambre, tipos de metales y rizados.

#### Selección de metales

##### *Superloy – Acero al alto carbón.*

Ofrece buena resistencia a la fatiga y una buena resistencia a la abrasión, dos factores importantes para determinar el tipo de metal.

##### *Ludloy – Templado al aceite.*

Tiene más carbón y manganeso que el acero anterior, lo cual proporciona una resistencia superior a la abrasión y una buena resistencia a la fatiga. Esto es importante cuando la abrasión es el factor a considerar.

##### *Astroloy – Acero inoxidable.*

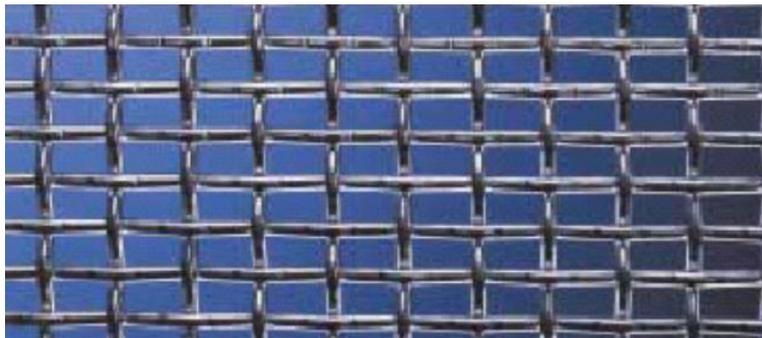
Es un metal duro y resistente a la abrasión y la corrosión. Este metal es de mayor utilidad cuando se usa en procesos en los que el material es extremadamente abrasivo y químicamente corrosivo. La superficie lisa del metal previene que el material se adhiera al mismo, lo que hace que se pueda utilizar en procesos en los que el material esté húmedo y tenga una tendencia a empastarse.

#### Mallas ranuradas.

Tienen una mayor área abierta que permite el mayor paso de material.

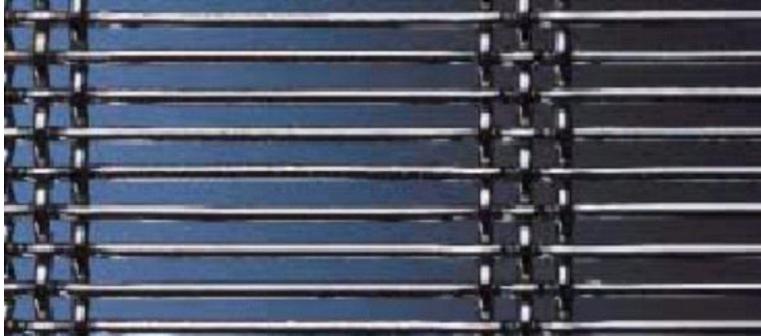
#### *Mallas Rek-Tang*

Se utilizan para una mayor producción además de un tamaño preciso. Las aberturas rectangulares forman una área de apertura grande lo cual permite que pase más material a través de la malla, manteniéndose el tamaño de producto deseado.



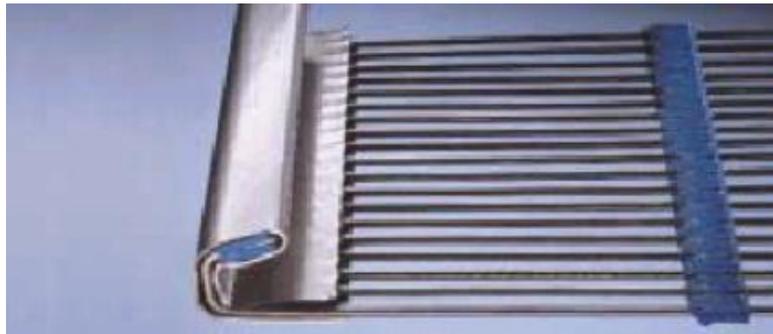
### *Mallas Sta-Clear*

Son de utilidad al hacer pasar material que tiene una tendencia a adherirse al alambre (se empasta) o cuando se atasca (se acuña) en mallas de abertura cuadrada o rectangular con una longitud de ranura corta



### *Mallas Hi-T*

Están hechas de acero inoxidable con poliuretano resistente a la abrasión. Esta ranura larga no rizada proporciona una mayor área de apertura que maximiza el paso del material. Los perfiles de poliuretano de gran resistencia sujetan los alambres en su lugar de manera segura, lo cual permite que las mallas resistan materiales de alimentación más grandes y mayores cargas que otras mallas no onduladas.



### *Mallas SH*

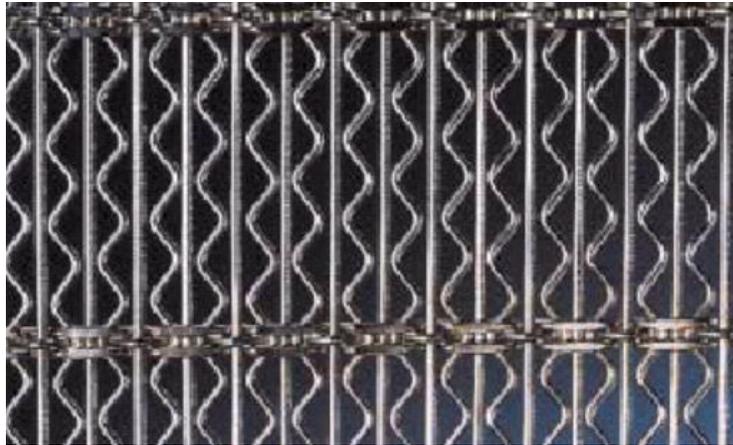
Se utilizan principalmente en unidades de cribado portátiles, proporcionan una alta producción al cribar arena y grava, tierra, mantillo, escombros de terraplén, etc. Estas mallas están fabricadas como unidades completas y consisten en alambres tensos con perfiles móviles para reducir el tiempo de cambio o el tiempo muerto.



## Mallas autolimpiables

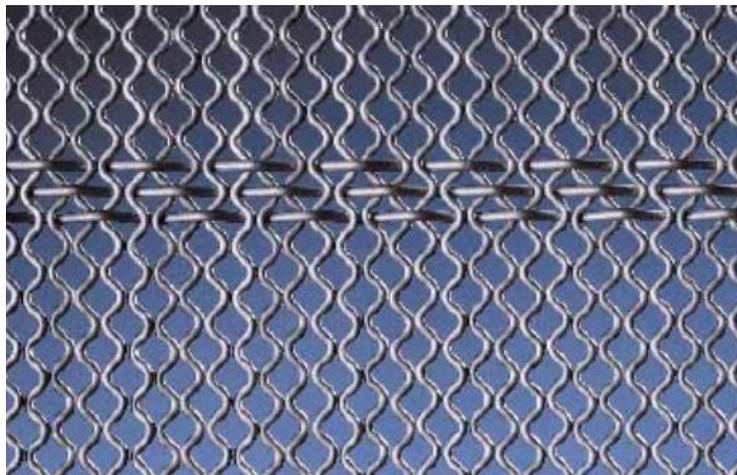
### *Mallas Sta-Clean*

Están fabricadas alternadamente con alambres rectos y alambres rizados horizontalmente, que proporcionan una acción de auto limpieza, lo cual reduce el empastado y el acuñamiento del material, lo cual implica una mayor eficiencia de cribado.



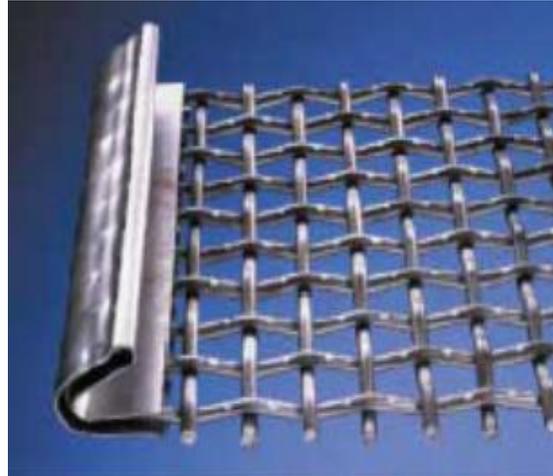
### *Mallas Poly-Clean*

Están diseñados para sistemas de alta abrasión en donde el material tiende a empastarse o acuñarse. Son fabricadas con perfiles de poliuretano resistentes a la abrasión moldeados sobre alambres de acero

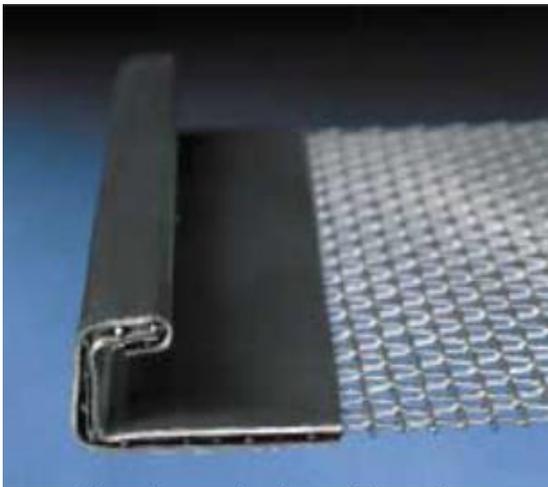




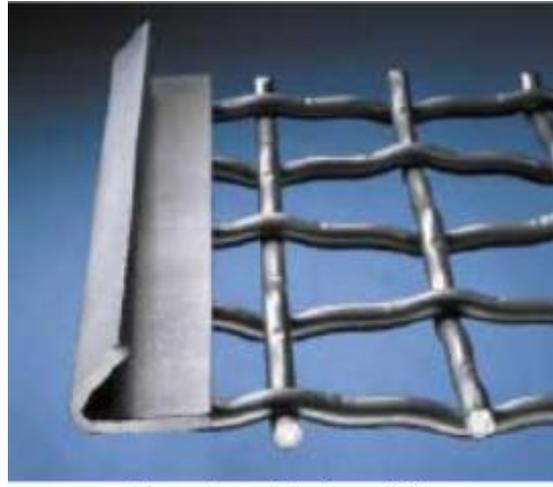
**Orilla en gancho doblada a 45°**



**Orilla en gancho con refuerzo de metal**



**Gancho cuadrado con inserción**



**Gancho soldado a 45°**



**Barra cuadrada soldada**



**Barra de gancho en U soldada**



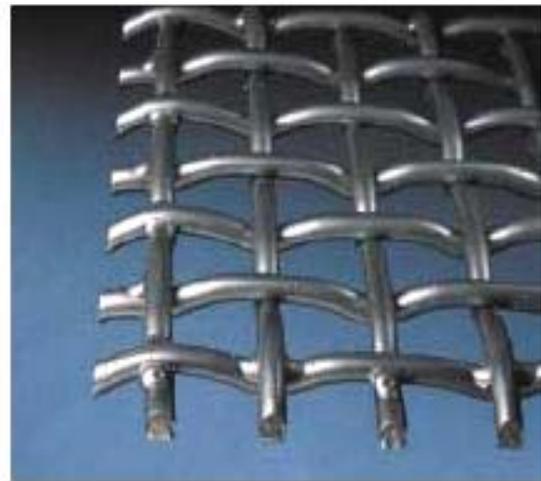
*Barra de gancho de dos piezas*



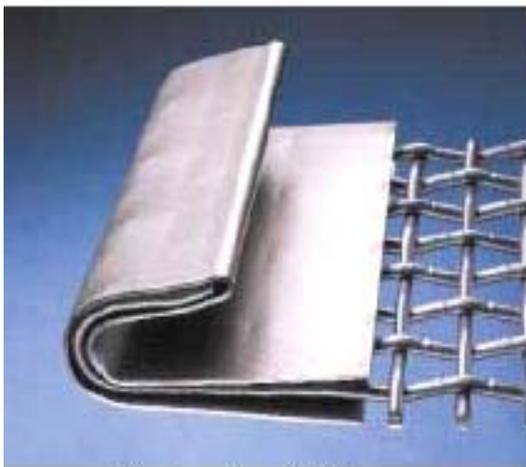
*Pieza insertada soldada*



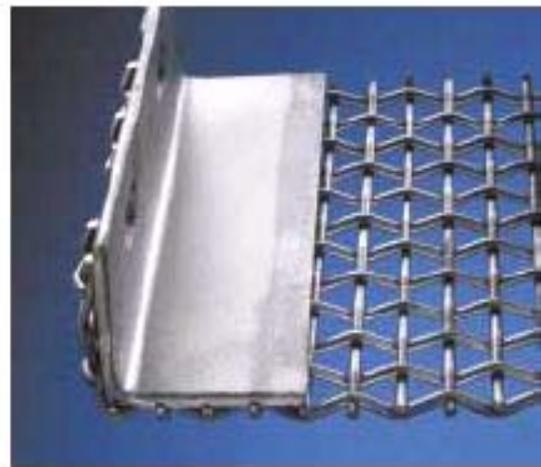
*Orilla con perno*



*Alambre de orilla soldada*



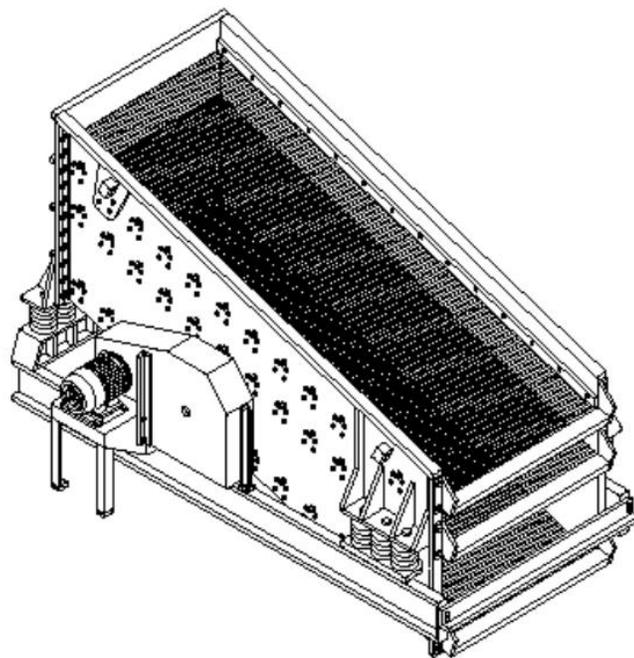
*Pieza de gancho en U doblada*



*Placa de 90° soldada*



*Mallas de poliuretano.*



*Fig. III.29 Criba Vibro-king de la marca Telsmith, con doble o triple capas de cribado, en tamaños de 5 x 16 pies hasta 8 x 24 pies.*



*Fig III.30 Criba vibratoria de la marca Nordberg.*

#### **III.4 BANDAS TRANSPORTADORAS.**

Como se mencionó anteriormente, una de las opciones para el transporte y manejo de agregados pétreos, son los transportadores de banda, conocidos mejor como bandas transportadoras, siendo éste un equipo de mecánica simple y de gran eficiencia.

Existen varios tipos de bandas transportadoras de acuerdo a las necesidades de la industria en general, pero todos constan de una cinta o banda de hule reforzada con capas de lona o de nylon en diferentes anchos, montados en trenes con un número de rodillos variables, generalmente tres con diversas inclinaciones uniformemente espaciadas y accionadas por una polea de cabeza motriz que a su vez es accionada por un moto-reductor eléctrico que le imprime a la banda una velocidad lineal que va de 30 a 180 m/min, aunque también llegan a utilizarse a una velocidad de 300 m/min en casos de bandas muy largas; en la mayoría de los casos con el fin de transportar de este modo un flujo uniforme del material.

La selección de una banda transportadora envuelve los siguientes factores principales:

- a) Capacidad
- b) Longitud y elevación
- c) Peso del material y tamaño.

Una banda transportadora consiste en una máquina formada por una banda sinfín, plana, que sirve para transportar, elevar o distribuir material que se coloca en su cara superior. Opera entre una polea principal y otra terminal y se apoya en rodillos, que a su vez descansan en una armazón o en cables de acero. Las bandas transportadoras se fabrican desde unidades elevadoras pequeñas portátiles que se cargan con palas de mano, hasta máquinas gigantescas que transportan millones de toneladas de tierra a lo largo de muchos kilómetros.



*Fig. III. 31 Banda transportando agregado hacia una pila.*

Como unidades independientes, se adaptan bien al transporte rápido de material suelto, usándose principalmente cuando es necesario mover grandes volúmenes de material a lo largo una ruta. Se aplican especialmente cuando se tienen que elevar cargas con un ángulo grande respecto la horizontal, o cuando se tienen que transportar a través de terreno muy quebrado en el que sería muy difícil construir un camino. Sirven bien como alimentadores de las plantas de procesamiento de agregados ya que proporcionan una corriente continua. Simplifican los problemas de tránsito cuando el espacio para acarreo está restringido, como en los túneles y en los bancos congestionados. Sin embargo, no es el equipo adecuado para acarrear grandes terrones que obstruyan las tolvas, dañen la banda o que puedan caerse durante el tránsito.

Su eficiencia mecánica es elevada, porque se mueven pocas cargas muertas con la carga, el rozamiento es mínimo y la potencia consumida al poner en marcha y al parar es mínima.

Además de su uso como equipo independiente y como transportadores semi independientes, las bandas transportadoras se usan como parte de las máquinas cargadoras, excavadoras de zanjas y en las plantas de producción de agregados.

Dentro de este sistema, la parte de mayor importancia es la misma banda. El tipo de fibra y el número de capas determina la resistencia de la banda. El hule no le aumenta la resistencia, pero protege la fibra contra el desgaste y de la intemperie. Su espesor y calidad varían según los diferentes tipos de servicio.

En el promedio de las instalaciones, la banda tiene un costo aproximadamente igual a la mitad del costo de construcción de la instalación, y su reparación y reemplazo es el cargo más importante de conservación. Por lo tanto es muy importante su cuidado.

La banda está colocada entre una polea principal y una polea terminal o de retorno, y lleva su carga sobre su cara superior, generalmente hacia la polea principal. Su carrera superior se apoya en grupos de rodillos en los que los tres que forman el grupo están dispuestos de manera que le

dan a la banda la forma de canal y la carrera inferior está apoyada a distancias mayores en rodillos planos llamados rodillos de retorno.

### III.4.1 Partes de las bandas transportadoras.

La figura III.26 muestra las partes de una banda transportadora. Lleva un bastidor que mantiene en su lugar el mecanismo, que son; el motor que hace girar la polea motriz la que, a su vez, mueve la polea por fricción; una polea terminal que invierte la dirección del movimiento de la banda; y los rodillos de ida y de retorno.

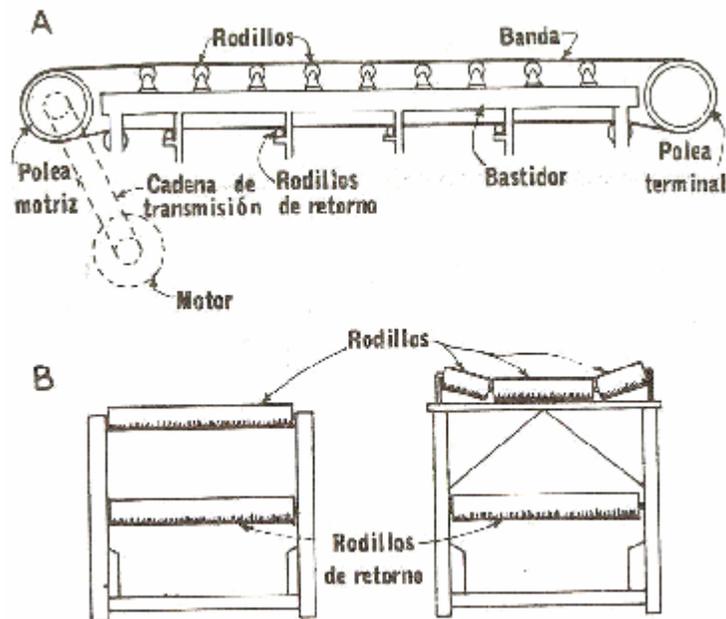


Fig. III.32 Componentes de una banda transportadora

**El bastidor.-** Muchos bastidores son del tipo seccional. Siempre se usan dos tramos extremos y tantos intermedios como sea necesario tener para obtener la longitud deseada. Los tramos se unen entre sí por medio de tornillos.



Fig. III.33 Bastidor de una banda transportadora

**Banda.-** La banda es una faja plana recubierta de hule. Las bandas muy largas o muy cargadas pueden estar reforzadas con cable de acero. El tipo de fibra, el número de capas y el refuerzo que lleve determinan la resistencia de la banda. La cubierta de hule sirve solamente para proteger la fibra del desgaste y de la intemperie. Su espesor y calidad varían para adaptarse a los diferentes tipos de servicio.

No existe límite definido para la longitud de una sola banda. Se necesita una superficie mayor de fricción y un tipo de construcción más resistente conforme se va aumentando la longitud de la unidad, cuanto más inclinada funciona, o cuanto más pesada es la carga.

Las bandas para mover materiales sueltos generalmente corren formando un canal en el tramo superior, que centra la carga y reduce el derrame a los lados. Los transportadores muy cortos pueden llevar una carga mayor usando una banda plana con guías laterales fijas.

**Propulsión.-** La energía se transmite en las poleas por fricción. Si la resistencia de la banda al movimiento es mayor que la fricción, la polea girará o se resbalará dentro de la banda produciéndose una pérdida de potencia, y desgaste en ambas superficies. La magnitud de la fricción o tracción la determina la naturaleza de las superficies, la tensión del lado flojo de la banda y el área de contacto.



*Fig. III 34. Propulsión de una banda caguama*

La carga o tensión en el tramo de carga de la banda, que tiende a producir deslizamiento, se forma por la fuerza de la gravedad sobre este tramo, la fricción en los rodillos, poleas, banda y en su carga; y por la inercia de todo el sistema cuando se arranca o se acelera.

La magnitud de la tracción que se puede obtener aumentando la tensión está limitada por el aumento de potencia requerida y por el acortamiento de una banda muy apretada.

El área de contacto lo determinan el diámetro de la polea, el arco de contacto y el número de poleas. Las poleas más grandes no sólo aumentan el área de contacto, sino que reducen las deformaciones por flexión en la banda. Su desventaja es el mayor costo de la polea y los cambios que deberán efectuarse en el bastidor y en la instalación para acomodarla.

**Rodillos.-** El tramo superior de la banda se apoya en rodillos. Son, generalmente, en forma de U, en los que el rodillo central soporta la parte cargada de la banda y un par de rodillos exteriores levantan los bordos para formar una sección acanalada que evita que se derrame la carga por los lados.

Los rodillos giran en cojinetes de bolas o de rodillos. El lubricante se cambia solamente a largos intervalos y puede estar sellado.

Los rodillos de retorno soportan el tramo inferior sin carga de la banda. Llevan poco peso y pueden estar muy separados. Su construcción y lubricación son semejantes.

El espaciamiento entre rodillos depende del ancho de la banda y del peso del material. (Ver tabla III.11).

Ancho de la banda en pulgadas	ESPACIAMIENTO NORMAL RECOMENDADO						
	Rodillos de carga lateral						Rodillos de Retorno
	Peso volumétrico del material, en Lb/pie <sup>3</sup>						
	30	50	75	100	150	200	
18	5'-6"	4'-6"	5'-0"	5'-0"	4'-6"	4'-6"	10'-0"
24	5'-0"	4'-6"	4'-6"	4'-0"	4'-0"	4'-0"	10'-0"
30	5'-0"	4'-6"	4'-6"	4'-0"	4'-0"	4'-0"	10'-0"
36	5'-0"	4'-6"	4'-0"	4'-0"	3'-6"	3'-6"	10'-0"
42	4'-6"	4'-6"	4'-0"	3'-6"	3'-0"	3'-0"	10'-0"
48	4'-6"	4'-0"	4'-0"	3'-6"	3'-0"	3'-0"	10'-0"
54	4'-6"	4'-0"	3'-6"	3'-6"	3'-0"	3'-0"	10'-0"
60	4'-6"	4'-0"	3'-6"	3'-0"	3'-0"	3'-0"	10'-0"

*Tabla III.11 Espaciamiento entre rodillos.*

**Ajuste.-** Las bandas cortas comúnmente tienen un ajuste de tornillo o tensor en la polea terminal, que se desliza acercando o alejando las poleas terminales en una corredera. Debe tenerse cuidado en dejar los ajustes iguales en ambos lados para mantener el eje de la polea en ángulo recto con la dirección del movimiento de la banda. Cualquier desigualdad apretará la banda más de un lado que del otro y tenderá a desalojarse hacia el lado más apretado y a salirse por él.

Para las bandas largas no conviene una tensión fija, porque las variaciones de temperatura afectan la longitud del bastidor, y a la banda la afectan tanto la temperatura como la humedad. Existen dos tipos de tensores automáticos comunes que mantienen las bandas a una tensión constante. En el tipo horizontal de gravedad o de contrapeso, la tensión se controla con una polea terminal en una corredera, que se puede separar por medio de un peso que cuelga de una polea. Con los tensores verticales de gravedad se usa una polea terminal fija, y la polea lastrada está suspendida entre dos rodillos de retorno, de preferencia en o cerca del punto de tensión mínima de la banda.

**Alineamiento.-** La banda es sensible a pequeños cambios en el alineamiento del bastidor y de la polea, que harán que se desvíe de la línea recta. Los cambios internos en la tensión de la banda o una unión que se comienza a despegar, pueden producir el mismo efecto. Las molestias producidas por la oscilación de la banda se pueden disminuir mucho haciendo tanto las poleas como los bastidores de una anchura suficiente para que la banda no tenga que correr exactamente en una línea recta para librarse de molestias. Los tipos más anchos son más caros,

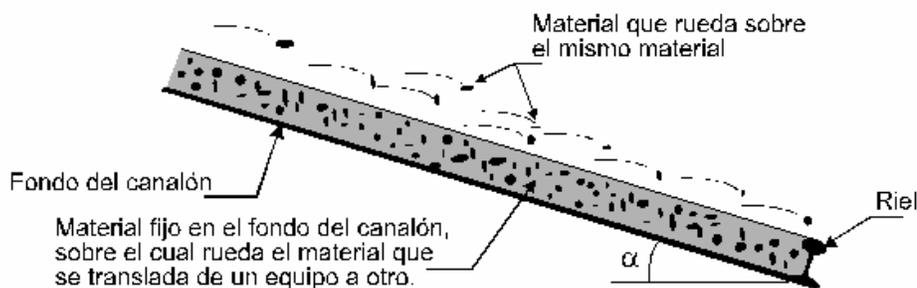
por supuesto, pero, al correr los años, se pagarán de sobra por la mayor vida de la banda, y por necesitar menos comprobaciones y ajustes.

Los rodillos para dar forma de canal a la banda controlan la dirección de la misma en la dirección del movimiento. Sin embargo, solamente se pueden dar pequeñas inclinaciones. porque si se exageran producirán un freno contra el fondo de la banda, que se desgastará rápidamente y consumirá más potencia.

**Trinquetes.**- Los transportadores inclinados tienden a correr hacia atrás cuando se interrumpe la potencia, porque el peso de la carga empuja hacia abajo parte de la banda. Esta tendencia se puede contrarrestar con un freno de tamaño suficiente, pero, a menudo, es más conveniente usar un dispositivo que impida automáticamente que se mueva en sentido inverso, sin interferir con el movimiento ordinario de la banda.

Las bandas transportadoras se cargan por medio de una canaleta o chute (por su nombre en inglés) de una tolva o con otro transportador o con algún mecanismo alimentador. El material al caer siempre tiene una componente vertical, y puede estarse moviendo en dirección y con velocidad diferentes que la banda. Como resultado siempre se produce impacto en la banda al detener su caída y al darle velocidad y dirección correctas. Las canaletas y deflectores deben construirse de modo que conviertan la mayor cantidad posible del movimiento vertical y transversal del material, en movimiento en la dirección que tiene la banda, y en forma que depositen la carga a escuadra en el centro de la banda. Si el material es abrasivo, la canaleta debe construirse de manera que el material forme un colchón que la proteja. Cuando el transportador principal es grande, puede convenir colocar un transportador alimentador corto (banda de transición) para tener la seguridad de que la alimentación se hace a la velocidad y dirección correctas. En esta forma se traslada el desgaste de una banda costosa a una barata.

Así como las tolvas son protegidas contra el desgaste, también los chutes deben protegerse. (fig. III.35)



*Fig. III.35 Canalón protegido contra el desgaste*

Los materiales gruesos, especialmente cuando tienen aristas filosas, requieren mayores precauciones en la estación de carga que los finos o blandos. Los daños producidos por los impactos pueden reducirse usando revestimientos de hule más gruesos, tanto en la cara superior, como en la inferior de la banda, y utilizando apoyos de rodillos revestidos de hule en la estación de carga.

**Derrames.**- Generalmente se tira poco el material de una banda cuando es suficientemente ancha para su carga. Sin embargo, muchas bandas se sobrecargan en volumen cuando no en peso, y los saltos sobre los apoyos de rodillos, movimientos en la carga, y cambios de alineamiento hacen rodar los fragmentos y rebotar fuera de los bordes. Si se pone una tarima

debajo de toda la longitud de la banda, o como se hace algunas veces, debajo de los extremos y de las estaciones de carga, se evitará que este material caiga en el tramo de retomo de la banda. Una banda limpia y poleas limpias y apoyos de rodillos alargan la vida de la banda.

Es importante que se coloque una barra o aspa limpiadora en el tramo de retomo precisamente arriba de la polea terminal, porque puede caer un objeto grande y filoso sobre la banda y quedar aprisionado entre la misma y la polea, y perforar la banda y aun cortarla en tiras.

**Bandas acanaladas y guías.**- La mayor parte de las bandas que transportan materiales sueltos en los que quedan incluidos la tierra excavada y la roca tronada se acanalán en forma que el centro queda más bajo que los bordes. Los rodillos laterales de los apoyos generalmente tienen una inclinación de 20 grados. Sin embargo, existe la tendencia de utilizar inclinaciones mayores, pudiéndose usar ángulos de 35° y 45° para aumentar la carga y/o reducir los derrames.

Se usan guías laterales para evitar los derrames por los bordes de las bandas en las estaciones de carga, y para aumentar la capacidad de las bandas cortas. Generalmente consisten en superficies verticales o inclinadas formadas por tablas o láminas metálicas, con una ceja inferior de hule flexible, que se apoya ligeramente sobre la banda. Esta ceja debe bajarse conforme se gasta, y cambiarse cuando sea necesario, para evitar el daño por los materiales que se atorán debajo de ella.

**Dispositivos de seguridad.**- Los transportadores de banda trabajan por largos periodos sin atención. Los rodillos requieren lubricación dos veces al año o menos; un bastidor bien apoyado y construido mantendrá las partes alineadas; las canaletas bien diseñadas y protegidas no se tapan nunca. Sin embargo, se presentan accidentes fortuitos que pueden resultar muy costosos si sus resultados no se controlan y es imposible tener un hombre vigilando acontecimientos que no se pueden presentar durante años, o nunca, por lo que se deben instalar controles automáticos para resolver las emergencias.

Si la energía falla en una banda inclinada, tenderá a correr hacia atrás, amontonando su carga dentro y alrededor de la canaleta de carga. Este movimiento se puede evitar por medio de un trinquete en la polea principal o impulsora, que permite el movimiento en un sentido, pero que inmediatamente evita que retroceda.

Si se atorán objetos entre la banda y una polea, si el material descargado se amontona en la banda, o si la banda se sale de sus apoyos de rodillos, la potencia requerida aumentará bruscamente. Si la propulsión es eléctrica, se puede instalar un interruptor automático de sobrecarga en la línea para que interrumpa la potencia y que evite o limite los daños resultantes.

**Bandas inclinadas.**- Las bandas se utilizan para el transporte en posición inclinada hacia arriba, horizontal e inclinadas hacia abajo. Una banda puede elevar arena con un ángulo de 15°, y arena mojada hasta con un ángulo de 20°. Algunos materiales pueden transportarse hasta en pendientes de 28° en las bandas ordinarias. Los factores limitadores son el deslizamiento entre la banda y la carga, y el de la misma carga.

### **III.4.2 Capacidades.**

Las personas que están acostumbradas a ver mover la tierra con cucharones o en camiones tienen dificultad para apreciar el volumen que se mueve en una delgada capa de tierra en una banda.

La capacidad se da generalmente en toneladas por hora. La producción la determinan el ancho de la banda, su velocidad, la configuración de su artesa o rodillos y la altura del material en ella. La potencia requerida es proporcional al peso y a la altura de la elevación.

Estas variables convierten el proyecto de un sistema transportador en un asunto complejo, que da cabida a las diferencias de opinión. En general, cuando se aumenta la anchura de la banda se aumenta el costo de toda la construcción.

En la tabla III.12 se dan las capacidades teóricas de acarreo para diferentes velocidades de las bandas y ángulos de inclinación de los rodillos, considerando una velocidad de 100 pies por minuto (ppm) y un peso del material de 1.6ton/m<sup>3</sup> (100 libras por pie cúbico). En la nota de pie (1) se indica la manera de calcular las capacidades teóricas para otras velocidades y pesos de material.

Ancho de la banda en pulgadas	Angulo de inclinación de la artesa en grados	Capacidad máxima de la banda en Ton/h (1)					Tamaño máximo del material en pulgadas	
		Angulo de sobrecarga (2)					Tamaño uniforme	Mezclado con 50% de finos <sup>(3)</sup>
		5°	10°	20°	25°	30°		
18	20	--	--	50	56	63	4	4
	35	No recomendable						
	45	No recomendable						
24	20	--	--	96	108	120	5	7
	35	--	102	122	132	142	2 ½	3 ½
	45	106	115	132	140	170	2 ½	3 ½
30	20	--	--	157	175	195	6	10
	35	--	167	200	215	232	3	5
	45	175	187	215	230	244	3	5
36	20	--	--	230	260	290	7	12
	35	--	248	295	318	343	3 ½	6
	45	258	278	318	340	360	3 ½	6
42	20	--	--	320	360	400	8	14
	35	--	344	408	442	475	4	7
	45	358	386	440	470	500	4	7
48	20	--	--	430	480	530	10	16
	35	--	457	540	645	630	5	8
	45	475	510	584	623	660	5	8
54	20	--	--	547	612	678	11	18
	35	--	585	693	750	806	5 ½	9
	45	608	655	748	797	845	5 ½	9
60	20	--	--	680	762	844	12	20
	35	--	730	863	933	1000	6	10
	45	758	815	930	992	1050	6	10

(1) Todas las capacidades están en función para un peso del material de 1.6 ton/m<sup>3</sup> (100 lb/pie<sup>3</sup>) y para una velocidad de la banda de 100 rpm. Para otros materiales, para obtener sus capacidades equivalentes hay que multiplicar los valores de la tabla por (lb/pie<sup>3</sup>)/100

(2) El ángulo de sobrecarga es el formado entre una línea horizontal y la tangente de la pendiente del material, ambas líneas pasan por el punto donde se toca dicha pendiente con la banda inclinada. Generalmente este ángulo es 10° ó 15° menor que el ángulo de reposo(Fig. III.36).

(3) Material mezclado con 50% de finos.- Por lo menos la mitad de este material deberá ser menor que la mitad del tamaño máximo contenido en el material.

**TABLA III.12 Capacidades máximas de la banda..**

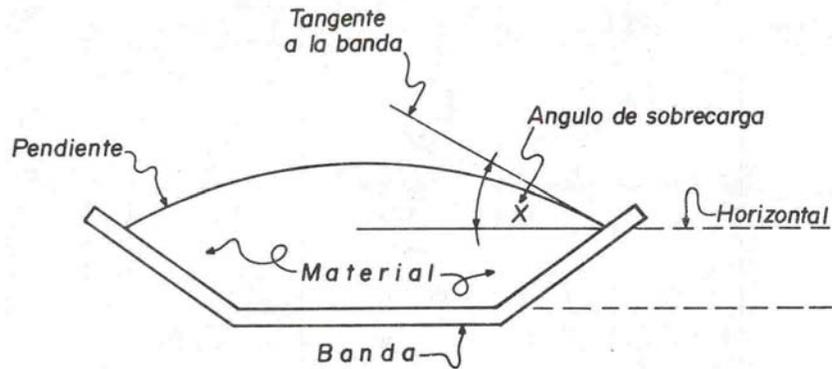


Fig. III.36 Angulo de sobre carga

Aumentando la velocidad, excediendo la estipulada en las especificaciones, se acorta la vida de la banda, pudiéndose producir pérdidas de potencia por deslizamientos entre la banda y la carga. Las cargas mayores exigen bastidores más fuertes, y también rodillos, y bandas más gruesas. Además, se puede presentar el problema de derrame lateral.

Si se quiere aumentar la capacidad de una instalación ya construida, el procedimiento más económico, aunque a menudo no el más correcto, es aumentar la potencia y la velocidad manteniendo la carga original.

Los pesos en libras por pie cúbico y otras características de algunos de los materiales más comunes se indican en la tabla III.13.

TABLA III.13. CARACTERISTICAS VOLUMETRICAS DE MATERIALES COMUNES

Material	Tamaño y Estado	Peso lb/pie <sup>3</sup>	Angulo de sobrecarga en grados	Angulo máximo de transporte en grados
Acido fosfórico		60		
Alúmina		50- 65		12
Alumbre	Pedazo	55		
Asbesto	Roca pequeña	81	20	
Asbesto	Partícula	22		
Cenizas	Secas	35	25	22
	Húmedas	45		27
	Produce gas			
	húmedo	78		
Asfalto	Triturado	45		
	Pavimentación	80		
Bagazo		5		
Cebada		40		15
Barita	Pedazo, ½"-3"	130-150		
	Polvo	110-130		
Basalto	½" - 3"	85-110		
	Polvo	80-90		
Bacha	Cristal	85-90		

Bauxita	Apiñado	75-85	20	
Pulpa de remolacha	Seca	12-15		
	Húmeda	25-45		
Bentonita		50		
Hueso	Carbonizado	25		
Harina de hueso		55		
Bórax	½" – 3"	55-65		
	Polvo	45-50		
Ladrillo, loseta	Duro	125		
	Blando	100		
Carburo de calcio	Polvo	70		
Cemento	Pórtland	75-85	25	20
	Clinker	80-95	20	18
		90		
Creta, Tiza	½" – 3"	70-85		
	Polvo	65-75		
Carbón		45		
Arcilla	Partícula	60		
	Fina seca	100-120		22
Hulla, carbón de piedra	Color carbón	52-27		
	Gran tamaño	52-58	12	16
	Tamaño doméstico	52-56		16
	Muy pequeño	50-54		18
Carbón de piedra	Bituminoso	50-54		18
	Abundado	43-52	20	18
	Pulverizado	30-37		18
	Lignito	45-55		22
Coque	Del horno	25-30	15	20
	Brisa	25-35		22
Abono	Establo	50		
Concreto	Fraguado	110		12-30
	Fresco	110-150		12
Mineral de cobre	Triturado	120-150		
Criolita	½" – 3"	90-105		
	Polvo	75-90		
Desperdicio	Cristal	80-100		20
Polvo de carbón		45-50		20
Dolomita	Triturada	100		22
Tierra	De mina	70-80	15-30	20
	Húmeda	100-110	30	22
Feldespato	½" – 3"	80-95		10
	Polvo	75-80		
Pescado	Crudo	52-56		
	Harina	40		
Flourspato	½" – 3"	95-120		
	Polvo	85-95		
Arena fundida	Suelta	80-90		

	Apisonada	100-110		
Tierra de batán	Seca	30-40		
	Grasosa	60-65		
Basura	Normal	30		
	Doméstica	50		
Cristal	Roto	80-100		
Granito	½" – 3"	80-95		
	Polvo	75-80		
Grava	Seca	90-100	15-25	15-20
	Húmeda	100-120		15-20
Grava y arena (mezcladas)	Húmeda	100-130		
	½" – 3"	70-80		15-21
Yeso	Polvo	60-70		23
Ilmenita		140-160		
Mineral de hierro	½" – 3"	130-145	20	22
	Polvo	105-120		25
Caolín	Arcilla	65		20
	Pigmento Blanco	250-260		
Plomo				
Piedra caliza	Suelta	100		
	Apiñada	90	25-30	20
	Fina	80-85		20
Manganeso	Oxido	120		
Mármol	Sólido, compacto	165		
	Suelto	100		
Mica	½" – 3"	85-95		
	Polvo	75-80		
Mortero	Húmedo	150		
Concha de ostra		62		
Turba	Sólida seca	30		
	Suelta seca	20		
Petróleo (combustible)		35-40		
Roca fosfórica	Suelta quebrada	75	25	15
	Húmeda quebrada	85		
	Granular	95		
Brea		72		
Plástico	Polvo	30-40		
Sal potásica	Silvestre	80		
Piedra pómez	Tierra	40		
Cuarzo	½" – 3"	80-95		
	Polvo	70-80		
Roca	Triturada	125-145		21
	Ordinaria	56	10	20
	Fina	75	15	11
Arena	Húmeda	110-130	20-30	22
	Seca	90-110	10-20	15

Escama	Laminadero	125		
Pizarra		85-100	25	20
Sinterizado		125		
Granulado	Granular seco	60-65	12	18
	Granular Húmedo	90-100		22
Pizarra, esquisto	½" – 3"	85-95	15	20
	Polvo	70-80		15
Cenizas de sosa	Encendidas	30-65	17	20
	Densas		22	20
Azúcar	En forma de cono	25		
	En bruto	55-65		
	Refinada	55		
Sulfuros	Sólido	125		
	½" – 3"	75-90	20-25	20
	Polvo	65-75		
Talco	½" – 3"	85-95		
	Polvo	75-80		
Roca ígnea (basalto)		105		
	Polvo	95		
Césped	Seco	30		
Madera (astillas)		12-25	7	25
Zinc	Triturado	150-160		22
	Concentrado	75-80		
	Oxido	10-30		

Las velocidades recomendadas para los diferentes materiales varían de 300 a 1,200 pies/min.

A menudo se usan transportadores de varias millas de longitud en la construcción de presas para llevar material de los bancos de préstamo. Pueden operar en pendientes mucho mayores que los camiones, por lo que en terreno quebrado el costo de su construcción original puede no resultar mayor que un camino de acarreo de igual capacidad. Una vez construido, puede tener un costo de operación menor por yarda que las flotillas de camiones.

**Ancho de la banda.-** Para determinar el ancho de la banda, velocidad de la misma y configuración de la artesa, se selecciona la banda de ancho menor que conduzca al material extendido y lo transporte con la capacidad requerida sin exceder la velocidad máxima recomendable. (Tabla III.14)

MATERIAL			VELOCIDAD DE LA BANDA (PPM)								
			ANCHO DE LA BANDA								
CARACTERISTICAS		EJEMPLO	18"	24"	30"	36"	42"	48"	54"	60"	
Los fragmentos son del tamaño máximo recomendado (1)	No abrasivo	Carbón de piedra, tierra	350	400	450	500	550	600	600	600	
	Semi-abrasivo	Grava, cascajo	300	350	400	450	500	550	550	550	
	Altamente abrasivo	Roca, mineral	250	300	350	400	450	500	500	500	
Los fragmentos son de ½ tamaño máximo recomendado (1)	No abrasivo	Carbón de piedra, tierra	400	450	500	550	600	650	700	750	
	Semi-abrasivo	Grava, cascajo	350	400	450	500	550	600	650	700	
	Altamente abrasivo	Roca, mineral	300	350	400	450	500	550	600	650	
Granular 1/8" – 1/2"		Arena, grano, astilla	400	500	600	700	800	900	900	900	
Finos aereados		Cemento, cenizas	200 - 300								
Transporte con descarga móvil			200								

*TABLA III.14.- Velocidades máximas recomendadas de las bandas en pies por minuto (p.p.m.)*

**Rodillos laterales inclinados.**- Se tienen varias ventajas importantes que se pueden aprovechar con el uso de rodillos laterales inclinados, colocados para formar la artesa. Estas son:

1. Al incrementar la sección transversal se tiene una mayor capacidad de carga transportada.
2. Ahorro en espacio, en costo estructural y de mantenimiento porque es frecuente utilizar bandas angostas para conducir la capacidad calculada.
3. Menor deterioro en la protección de la banda dado que el material está en menor contacto directo con la banda.
4. Reducción de desperdicios por derrame de material.

Antes de tomar la decisión final ya sea que se empleen o no rodillos laterales inclinados, es necesario ser cuidadoso con algunos aspectos críticos para la transportación de la carga calculada. Entre estos, primero está la construcción de la banda. La estructura de la banda debe ser bastante flexible en la curvatura de la artesa; esto es, donde se encuentra la zona central de los rodillos inclinados. De igual manera, en algunas ocasiones no es necesario que la banda sea lo bastante flexible en la zona de los rodillos inclinados.

La velocidad de la banda debe ser lo suficientemente alta para que la descarga del material tenga una trayectoria bien definida, y no se realice por los lados de la banda ni muy alejada del lugar de la descarga principal. Para que lo anterior tenga una alta aplicación, se sugiere una velocidad mínima en la banda de 350 pies por minuto (ppm) para un ángulo de inclinación de la artesa de 35° o de 450 ppm para un ángulo de inclinación de la artesa de 45°.

Otro factor que es necesario considerar para la aplicación de los rodillos profundos de la artesa es la distancia de transición entre la carga y la descarga final. Esta distancia es la comprendida entre la última polea y el rodillo próximo colocado en la profundidad de la artesa. Dicha distancia debe ser lo suficientemente grande para prevenir excesos de tensión en los bordes de la banda ya que va desde una condición de artesa afilada hasta la condición de rodillo liso sobre la polea.

De otra manera, la distancia no debe ser tan grande que provoque derrame de material.

Para rodillos de carga lateral de la artesa con una inclinación de 35° a 45°, las siguientes recomendaciones mantendrán la tensión de los bordes de la banda a un nivel seguro.

Para 35° de inclinación.- La colocación del último rodillo de carga lateral deberá estar alejado de la polea a no menos de 1.5 veces el ancho de la banda.

Para 45° de inclinación.- La colocación del último rodillo de carga lateral deberá estar alejado de la polea a no menos de 2 veces el ancho de la banda.

Si la aplicación de cualquiera de estas guías provoca un tramo mayor que el espaciamiento normal de rodillos en el transporte, entonces se debe considerar usar un rodillo de transición, esto es, un rodillo con un ángulo de inclinación de aproximadamente la mitad de la inclinación que tenga el último rodillo colocado en la profundidad de la artesa.

### **III.4.3 Problemas comunes y formas de solucionarlos.**

Existen en el mercado diferentes componentes para bandas transportadoras que nos sirven de ayuda para evitar problemas a los que nos enfrentamos al hacer uso de las bandas transportadoras, ya sea debido al tipo de material, su granulometría o bien, debido al desgaste que en la mayoría de las veces es ocasionado por la fricción. A continuación se listan una serie de problemas y posibles soluciones, utilizando nuevos productos que, dependiendo del tipo de obra, serán de ayuda para resolverlos o para una mayor vida útil de los equipos.

#### **1. Material adherido a la banda**

Problema: Limpiar la banda en el punto de descarga.

Posible solución.- Utilizar un sistema de raspadores de bandas. Utilizando algunos de los productos existentes en el mercado, o una combinación de estos, es posible solucionar este tipo de problema, dependiendo el tipo de banda, del tipo y tamaño de agregados manejados y si se manejan secos o húmedos y la calidad del limpiado, tomando en cuenta el monto de esta inversión.

#### **2. Daños por impacto**

Problema.- Reducir la altura de caída libre y/o absorber la energía cinética producida por la caída del material.

Posible solución.- Mediante la instalación de barras de impacto montadas sobre una cama de impacto de trabajo pesado de un adaptador especial que encaja en el soporte del rodillo existente de tal manera que se absorbe eficazmente la energía producida por la caída del material. Las barras de impacto protegen la banda de los daños causados por material con bordes de gran tamaño. Las camas de impacto se fabrican con laterales regulables con el fin de facilitar la instalación y ofrecer un encaje perfecto.

#### **3. Mala alineación**

Problema: Limpiar la banda. Cubrir la banda. Guiar la banda.

Posible solución.- Si el material se adhiere a los rodillos de retorno, la instalación del sistema de raspadores de bandas en combinación con las mangas de caucho para rodillos de retorno, soluciona este problema. Si el transportador está expuesto a la lluvia, nieve o vientos laterales, las cubiertas de las bandas y el encapsulamiento contra el polvo se ocuparán de protegerlo. Si el problema es difícil de localizar o de corregir, el sistema de alineamiento de bandas es una manera rápida y eficaz de controlar el desplazamiento de las bandas sin comprimirlas de modo que sus bordes pudieran dañarse.

#### 4. Accidentes por compresión o aplastamiento

Problema: Proteger las áreas en las que exista la posibilidad de que las manos, el pelo o las ropas sueltas de los trabajadores queden atrapados.

Posible solución.- La instalación de guarda rodillos de retorno reduce significativamente el riesgo de que las manos, el pelo o las ropas sueltas queden atrapados entre los rodillos de retorno y la banda transportadora. Esta es una forma simple y económica de mejorar la seguridad en el trabajo.

#### 5. Polvo

Problema: Contenerlo.

Posible solución.- Conteniendo el material transportado utilizando el sistema de sellado de puntos de carga y el sistema de encapsulamiento anti-polvo o las cubiertas para bandas transportadoras para limitar la presencia de polvo y mantener los materiales finos en la banda. Es una manera de mejorar el ambiente de trabajo y reducir los costos de mantenimiento.

#### 6. Deslizamiento (patinaje)

Problema: Aumentar el coeficiente de fricción entre la banda y la polea.

Posible solución.- Eligiendo el diseño correcto de revestimiento para las poleas es posible aumentar el coeficiente de fricción efectivo y de este modo, eliminar los problemas de patinaje de las bandas. En el mercado existen una gran variedad de revestimientos para las poleas en diferentes calidades de caucho, así como diseños especiales para obtener la máxima eficiencia en todas las aplicaciones.

#### 7. Desplazamiento en retroceso de la banda

Problema: Eliminar el peligroso desplazamiento en retroceso de las bandas transportadoras cargadas.

Posible solución.- Mediante la instalación de un freno anti-retroceso se elimina el riesgo de que una banda transportadora cargada retroceda. La máxima confiabilidad se obtiene colocando un freno anti-retroceso directamente sobre el eje motriz o en la polea principal. El freno anti-retroceso ofrece también una protección eficaz contra lesiones del personal.

#### 8. Daños prematuros en los rodillos

Problema: Evitar este daño

Posible solución.- Se utilizan rodillos de alta calidad en condiciones de operación severas. En el mercado hay una gama completa de diseños de rodillos ya sea con bastidor fijo, suspendidos por cables, o de guirnalda para todo tipo de servicio, desde liviano a extra pesado. Por lo tanto, la selección de los rodillos depende únicamente de lo mas conveniente para cada aplicación.

#### 9. Daños en los empalmes

Problema: Evitar estos daños.

Posible solución.- Existe una amplia gama de cementos vulcanizantes de uno o dos componentes, adhesivos, y otros materiales para el empalme de bandas tanto para la vulcanización en caliente o en frío de los empalmes de bandas transportadoras. Estos cementos también proporcionan excelentes resultados para la adherencia de revestimientos de caucho en las poleas.

#### 10. Derrames de material

Problema: Sellar la zona de carga a la banda. Proporcionar un buen soporte al borde de la banda. Desviar el material hacia el centro de la banda. Eliminar la mala alineación.

Posible solución.- Una manera de solucionar este problema consiste en instalar un sistema de sellado lateral en combinación con una cama de impacto. Las barras de impacto o barras de

deslizamiento dan un mejor apoyo al borde de la banda, evitando que se descuelgue entre los rodillos de impacto. Para obtener una vida útil más larga frente al desgaste y una mejor eficiencia, debe instalarse un revestimiento contra el desgaste en el interior del cajón de descarga y a lo largo de las guarderas o guarda correas de modo que el material se mantenga alejado del sello. Centrar la banda instalando un sistema de alineamiento de bandas de manera que el borde de la banda se mantenga por afuera del sello.

### III.4.4 Accesorios.

#### Barra de impacto

Las barras de impacto se utilizan cuando es necesario combinar niveles elevados de absorción de energía con una fricción reducida. Su área de operación se sitúa en el punto de carga a la banda transportadora, donde reemplazan a los tradicionales rodillos de impacto. Esta barra de impacto carece de piezas móviles, lo que permite evitar los problemas de rotura de rodamientos y la parada de rodillos. Esta barra de impacto reduce significativamente los tiempos muertos por averías y los costos de mantenimiento y prolonga la vida útil de las bandas transportadoras.



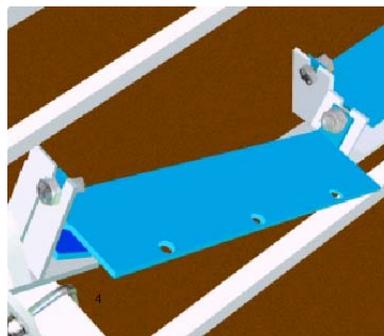
#### Cama de Impacto

La mejor construcción para la instalación de una barra de impacto consiste en la utilización de una cama de impacto. Los laterales de la cama están articulados, permitiendo que la instalación del sistema y el reemplazo de las barras de impacto gastadas resulte rápida y sencilla. Siendo el ángulo de los laterales ajustable, el borde de la banda recibe el soporte necesario para permitir que el sistema de sellado funcione de la mejor manera posible.



#### Adaptador

Este adaptador es un producto eficaz y de bajo costo que simplifica la instalación de las barras de impacto. El adaptador se diseña para instalarse directamente en los bastidores existentes. Se recomienda para aplicaciones de trabajo liviano. Una de las ventajas principales es que el sistema no tiene ninguna pieza móvil, lo que reduce considerablemente los costos de mantenimiento.

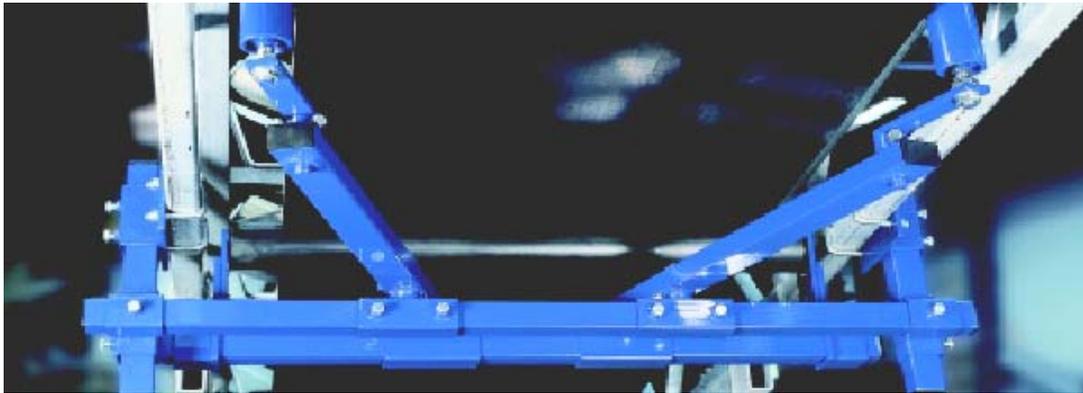


#### Control del centrado de la banda

##### Modelo estándar

Tener una banda centrada es una condición previa para el funcionamiento correcto del sistema de sellado en el punto de carga. La reducción de los derrames aumenta la eficiencia. Se instala en el lado de retorno de la banda y proporciona un control constante y activo de la banda. De esta manera se evitan los daños en el borde de la banda y partes importantes de la estructura del transportador. Los rodillos guía en el borde de este componente detectan cualquier desalineación de la banda y el rodillo de control, la centra. Se elimina totalmente el riesgo que la banda quede

aprisionada, lo cual se logra con una fricción mínima, lo que proporciona una solución prácticamente libre de mantenimiento.



#### Modelo para Trabajo Pesado

Consiste en el mismo diseño básico que el modelo estándar pero más robusto. Resulta adecuado para bandas de cables de acero y para velocidades de banda superiores a 3.5 m/s. Cuanto más ancha sea la banda y más elevada la velocidad, con mayor rapidez se producen los daños y los costos se elevan. Este diseño permite grandes ahorros por reducción del desgaste y desgarre de la banda, los rodillos y el bastidor del transportador.

#### Modelo para Bandas Reversibles

Las bandas transportadoras reversibles, normalmente tienen muchos problemas de centrado. La mayor parte de los métodos utilizados para centrar las bandas transportadoras normales no funcionan bien en las bandas reversibles, para evitar esto se ha desarrollado un modelo de alineador que requiere un mínimo espacio y de fácil instalación. Los rodillos en el borde detectan cualquier desalineación de la banda y el rodillo de control rectifica el desviamiento. El aparato es regulable para adecuarse a diferentes anchos de banda transportadora. De esta manera se soluciona un problema de mantenimiento constante, reduce los costos de operación y aumenta la disponibilidad del transportador.



### Sistema de sellado lateral Bloque (Poliuretano)

El sellado lateral es un método eficaz para el sellado de las bandas en la zona de carga. Los bloques van traslapados entre sí con el fin de evitar los derrames de material entre sus uniones. Los bloques de poliuretano se mantienen fijos en su lugar mediante un perfil de aluminio sujetado en su posición con un dispositivo de ajuste rápido que permite que la instalación y regulación resulten rápidas y sencillas. De esta manera es posible reducir los costos de servicio y mantenimiento. El material de los bloques permite una larga vida útil y no daña la banda.



### Sistema de Encaje a Presión

Es un sistema que sirve para el sellado en la longitud completa del transportador. La banda de caucho se suministra en longitudes largas, eliminando completamente los empalmes y reduciendo el riesgo de derrames. La instalación es rápida y sencilla con el mecanismo de encaje a presión. Al soltar los pernos la banda de caucho se desliza automáticamente hacia abajo, fijándose nuevamente en posición correcta. De esta manera el mantenimiento se simplifica y los derrames se reducen.



### Barras Deslizantes

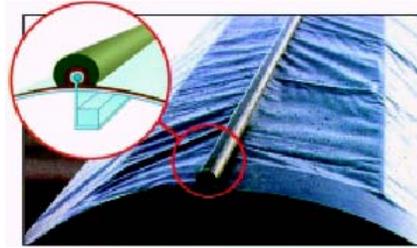
Están diseñadas para el soporte lateral de las bandas transportadoras, proporciona apoyo al borde de la banda y evitan el pandeo entre los rodillos creando una superficie plana para un mejor sellado. Cuentan con una superficie de poliuretano que tiene una baja fricción y una buena resistencia contra el desgaste. Pueden instalarse de varias maneras, bien en combinación con barras de impacto en una cama de impacto en la zona de carga o en aplicaciones mas livianas sobre una plancha de acero que reemplace a los rodillos laterales. Una tercera opción es un soporte especial. Tanto los ángulos como el ancho y la altura son ajustables. Esto permite que la banda transportadora reciba el mejor soporte posible y la banda lateral de sellado dispone de una superficie plana para un mejor sellado. Permite que sea posible mantener los bastidores existentes puesto que el soporte se instala entre ellos.



### Sellos contra el polvo

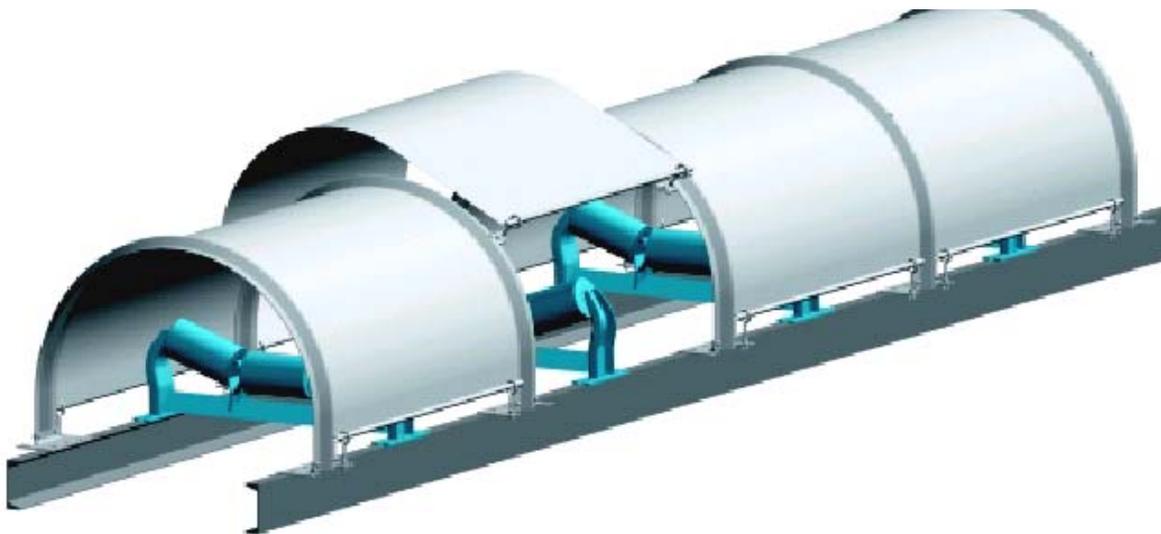
#### Cubiertas para bandas transportadoras

Las cubiertas para bandas transportadoras consisten en un sistema modular de bastidores de acero, tubos de soporte, tela de caucho, una tira terminal y elementos de caucho para la sujeción. Permite efectuar la inspección de las bandas y rodillos desde los dos lados del transportador. El material transportado está protegido contra el viento y los agentes meteorológicos a la vez que se mejora el ambiente de trabajo y se protege el medio ambiente al mantener el polvo sobre la banda.

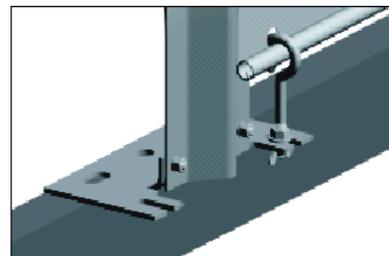


#### Cubiertas metálicas

Estas cubiertas son construcciones robustas de plancha de metal galvanizado o aluminio que evitan de manera eficaz que el material transportado sea retirado del transportador. Se produce una mejora del ambiente de trabajo al tiempo que aumenta la seguridad. El diseño robusto también resulta muy adecuado para climas fríos con abundancia de nieve.



En los transportadores con pendiente, sin cobertura, la lluvia puede causar problemas importantes al arrastrar el material fuera de los transportadores. Este problema se elimina de manera eficaz con las cubiertas. Ambos lados pueden abrirse con facilidad para permitir la inspección o el reemplazo de los rodillos, simplificando el mantenimiento.

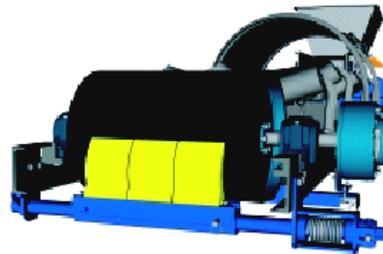


#### Limpieza de las bandas transportadoras

##### Pre-Cleaner

Este prelimpiador se coloca contra el tambor motriz inmediatamente debajo de la descarga del material. Está compuesto por un número de segmentos separados que pueden moverse independientemente para máxima

flexibilidad. La cuchilla del prelimpiador está fabricada de poliuretano resistente al desgaste, lo que proporciona una larga vida útil. Las cuchillas tienen un buen efecto de raspado sin dañar la banda. Las cuchillas individuales se montan en un perfil de aluminio que hace sencillo la instalación y el reemplazo de las cuchillas gastadas. Los tensores de resorte aseguran que se mantenga la presión correcta contra la banda, reduciendo de esta manera la necesidad de un reajuste constante.



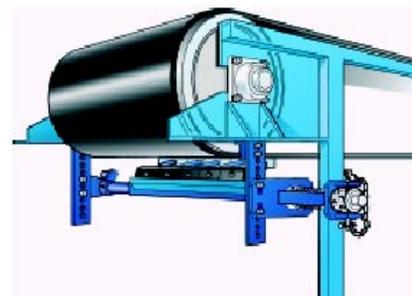
#### T Cleaner

Es posible que queden restos de materiales finos adheridos a la banda. En este caso se instala un limpiador de finos tipo después del prelimpiador con el fin de obtener la máxima limpieza. Si se transporta material fino y seco, tal vez un limpiador de finos solo podría ser suficiente. Para el limpiador se utiliza un perfil de aluminio, similar al usado en el prelimpiador. La cuchilla es de metal duro vulcanizado a caucho flexible, lo que permite que las cuchillas se muevan individualmente. Un tensor de resorte mantiene la presión constante y asegura que los requerimientos de espacio sean mínimos. El limpiador T también funciona muy bien en los transportadores reversibles.



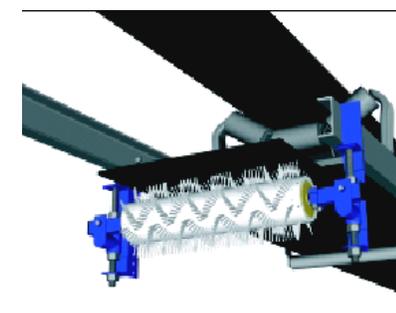
#### Arm Cleaner

El limpiador de brazo, al igual que el limpiador anterior, es un limpiador de finos instalado en la parte inferior de la banda inmediatamente detrás del tambor motriz. Los elementos de raspado están instalados de tal manera traslapada entre sí, lo que reduce el riesgo de formación de estrías. Las cuchillas de metal duro van montadas sobre un brazo que está sujeta a su vez a un cuerpo de caucho, proporcionando flexibilidad individual. Un tensor de resorte proporciona la presión correcta para toda la vida del limpiador. Las cuchillas de metal permiten temperaturas más elevadas que los otros tipos de limpiadores.



#### Cepillo giratorio

Es un cepillo eficaz para las bandas transportadoras con perfiles (chevrónes) utilizadas para el transporte de materiales finos y secos. La banda se mantiene limpia y se reducen los derrames debajo de la banda. De esta manera se obtiene una reducción de los costos de mantenimiento y las necesidades de limpieza.



### Easy Clean

Se trata de una barra de raspado fabricado de caucho resistente al desgaste con una capa de poliuretano para darle rigidez. Esto significa que es posible mantener un ángulo de raspado de 90° durante toda su vida útil, proporcionando una mejor limpieza de las bandas que si se utilizara solo una barra de caucho.



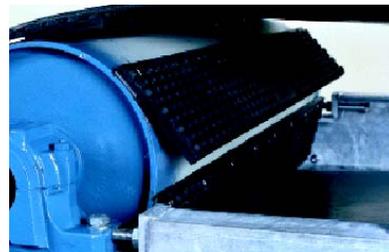
### Barras de Poliuretano PU

Son resistentes al desgaste, estas barras de raspado proporcionan una larga vida útil. Se fabrican en diversos espesores, anchos y longitudes para su uso en aplicaciones nuevas o ya existentes. La rigidez del material impide que la barra de raspado se doble, de modo que es posible mantener un buen ángulo de raspado durante toda su vida útil.



### Griplag

Tiene un diseño de superficie que impide el deslizamiento y a la vez cumple una función de autolimpieza, evitando la acumulación de material y la desalineación de la banda. Absorbe el movimiento entre la polea y la banda causado por la diferencia de la extensión de la banda en la parte superior e inferior al girar sobre la polea.



### Traclag

Este revestimiento antideslizante está diseñado para ser colocado en tambores con el fin de evitar el deslizamiento y la desalineación de la banda. Se utiliza en todos los tipos de tambores de accionamiento, giro y polea. Se encuentra en el mercado en varios espesores y calidades de caucho diferentes y la parte superior cuenta con una superficie en forma de diamante, de espina de pescado, o completamente liso. Este revestimiento se adhiere al tambor de acero y la cara posterior puede suministrarse con una capa de contacto recubierta con un plástico de protección para facilitar la adherencia.



### Barras antideslizantes

Las barras antideslizantes tienen un diseño robusto y son fabricadas de un caucho resistente al desgaste para proporcionar una larga vida útil de servicio. Las barras antideslizantes pueden utilizarse para mejorar la operación de bandas transportadoras en pendiente y



elevadoras. El diseño simétrico también permite usarlas en transportadoras reversibles.

#### Mangas para Rodillos

Es un revestimiento de caucho elástico instalado en los rodillos de retorno. La elasticidad del caucho impide la acumulación de material en los rodillos, evitando de esta manera la desalineación de la banda. El caucho también ofrece protección a los rodillos contra la corrosión y el desgaste, alargando su vida útil y reduciendo el riesgo de daños en la banda.



#### Imanes

Los imanes y los detectores de metal son usados para proteger a las trituradoras de algún daño ocasionado por piezas de metal, que accidentalmente se puedan encontrar entre el material triturado. Los imanes electromagnéticos se colocan estratégicamente sobre el paso del agregado para remover las piezas de metal, sin necesidad de detener a la banda transportadora. Existen varios tipos de imanes, pero el modelo electromagnético suspendido es el que se usa, por lo general, en la industria de los agregados. Cuenta con un mecanismo de auto limpieza y es fácil de mover hacia un lado de la banda transportadora para poder remover los metales recolectados.

Los detectores de metal simplemente detienen a la banda transportadora y rocía automáticamente un chorro de pintura, en el punto detectado para que sea más fácil su localización y el objeto pueda ser removido.



*Fig. III. 37 a) Imán sobre banda transportador.*



*Fig. III.37 b) Imán sobre banda transportadora.*

#### Control de Polvo

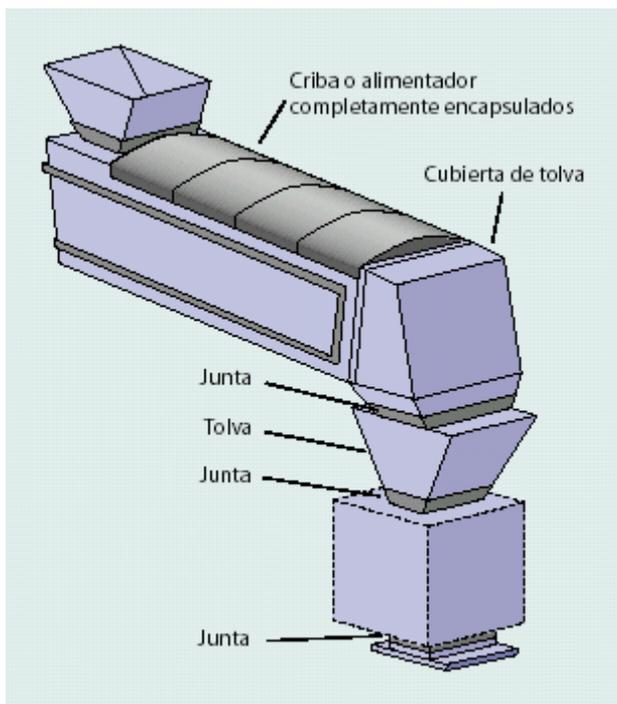
El polvo representa grandes problemas. La minería moderna a gran escala y las plantas de producción de agregados producen una gran cantidad de polvo y ruido. Además de constituir un daño a la salud, el polvo acelera el desgaste de la maquinaria y los equipos, produce corrosión y aumenta los costos de mantenimiento y reparación.

Existen en el mercado componentes para cribas a base de gomas para el control de polvo en mallas de cribado, alimentadores, tolvas y otros equipos donde se maneja el polvo. La elasticidad de la goma usada permite adaptarla para cualquier tipo de equipo, que también es resistente a las vibraciones.

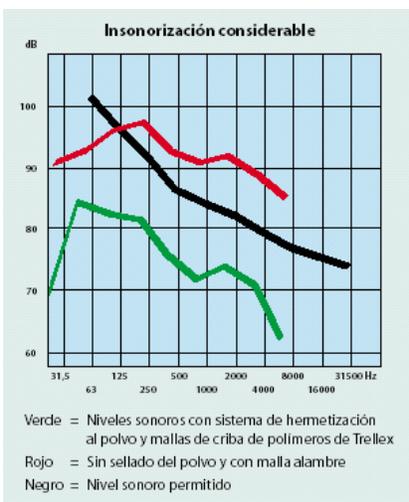


*Fig. III.38 Criba sellada para protección contra el polvo.*

Se pueden construir tapas de inspección fáciles de abrir, con juntas herméticas, que garantizan una larga vida de servicio para el sistema de sellado contra el polvo además de que tienen un gran efecto en la reducción del ruido.



Gracias al uso de equipos de sellado de polvo, mallas de cribado y forros de tolva, por ejemplo en una gran cantera con una capacidad de trituración de 500 t/h, cuya roca tiene un gran contenido de sílice, se puede reducir la necesidad de aspiración de polvo de 530,000 m<sup>3</sup>/h a 35.000 m<sup>3</sup>/h (19x10<sup>6</sup> ft<sup>3</sup>/h a 12x10<sup>5</sup> ft<sup>3</sup>/h), el contenido de polvo de 25 mg/ m<sup>3</sup> a 0.5 mg/ m<sup>3</sup> (9.03x10<sup>-10</sup> lbs/in<sup>3</sup> a 2x10<sup>-11</sup> lbs/in<sup>3</sup>) y el nivel de ruido de 95 dB a 76 dB.



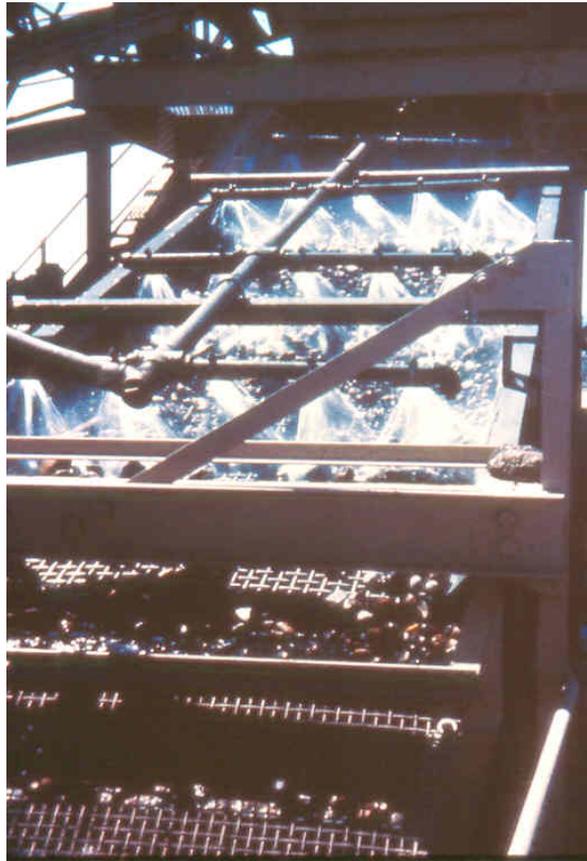


### III.5 EQUIPO DE LAVADO Y DESENLIDADORES.

En la producción de agregados pétreos por vía húmeda, fundamentalmente para la elaboración de concretos hidráulicos, es necesario lavar el material, esto se hace por medio del equipo de lavado, colocado sobre las cribas vibratorias, y que utilizan chiflones a alta presión. El uso de 4 a 11 litros de agua por minuto por tonelada por hora de agregado por lo general provee de un lavado adecuado, aunque los fabricantes recomiendan de 11 a 19 litros por minuto por tonelada por hora.

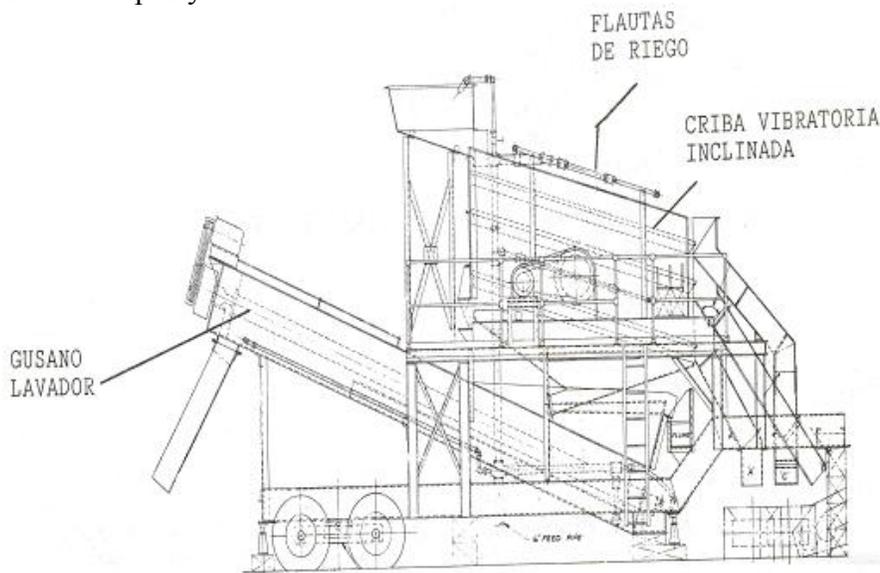
Hay cuatro factores importantes que se deben tener en cuenta para minimizar la cantidad de agua requerida:

1. Ubicación y diseño adecuados de las flautas de riego.
2. Cantidad de material sobre la cama de cribado.
3. Remoción en seco de finos antes del lavado.
4. Mojar el material antes de que sea colocado en la criba.



*Fig. III. 39 Vista de flautas de riego.*

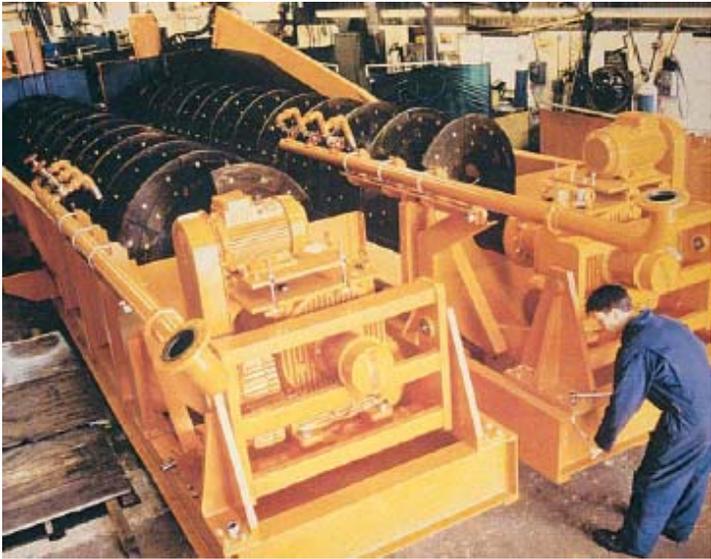
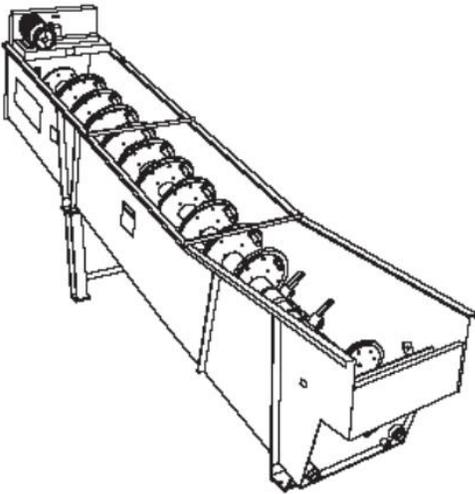
Existiendo diversos tipos y modelos:



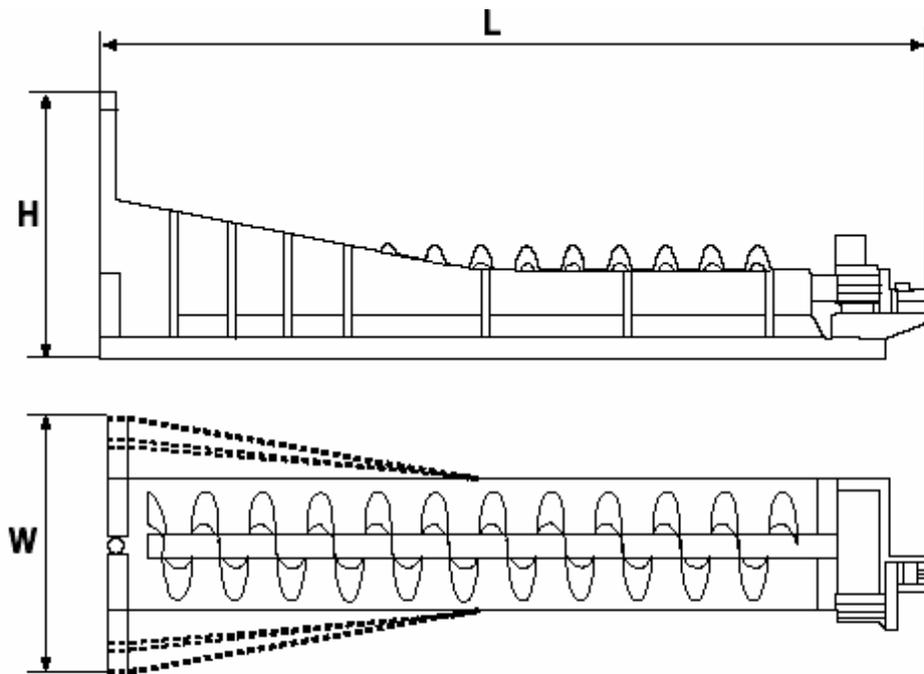
*Fig. III.40 Planta portátil de cribado y lavado de agregados pétreos.*

Gusano lavador o clasificador de tornillo de Arquímedes. Está compuesto de un recipiente metálico que por lo general se ensancha en la parte inferior formando un tanque de clasificación, en su interior se encuentra una espiral que lava las impurezas de las arenas escurriéndolas del agua excedente y evacuándolas por su parte antero-superior para su almacenamiento

(Fig.III.41 ). Se fabrican en diámetros de 20",24", 30", 36",42",48",60" Y 72", en sus versiones de gusano simple y gusano doble.



*Fig. III.41 Tanque lavador*



Model*	H mm (inch)	L mm (inch)	W mm (inch) ST	W mm (inch) MF	W mm (inch) FF	Weight ton	Power (max) kW/hp
60 Sh	1 557 (61)	5 578 (220)	711 (28)	1 092 (43)	1 534 (60)	2,0	2.2/3
60 Lo	1 557 (61)	6 111 (241)	711 (28)	1 092 (43)	1 534 (60)	2,2	2.2/3
75 Sh	1 862 (73)	6 416 (253)	864 (34)	1 340 (53)	1 890 (74)	2,6	2.2/3
75 Lo	1 862 (73)	7 203 (284)	864 (34)	1 340 (53)	1 890 (74)	2,9	2.2/3
90 Sh	2 172 (86)	8 037 (316)	1 042 (41)	1 613 (64)	2 273 (90)	3,9	4.0/5
90 Lo	2 172 (86)	8 799 (346)	1 042 (41)	1 613 (64)	2 273 (90)	4,1	4.0/5
120 Sh	2 431 (96)	9 837 (387)	1 347 (53)	2 093 (82)	3 004 (118)	6,9	7.5/10
120 Lo	2 431 (96)	10 904 (429)	1 347 (53)	2 093 (82)	3 004 (118)	7,8	7.5/10
150 Sh	2 888 (114)	11 438 (450)	1 677 (66)	2 540 (100)	3 744 (147)	13,3	15/20
150 Lo	2 888 (114)	12 758 (502)	1 677 (66)	2 540 (100)	3 744 (147)	15,0	15/30
200 Sh	4 082 (161)	14 209 (559)	2 135 (84)	3 470 (137)	5 052 (199)	22,6	22/30
200 Lo	4 082 (161)	14 599 (575)	2 135 (84)	3 470 (137)	5 052 (199)	24,4	22/30
220 Sh	4 643 (183)	15 484 (610)	2 287 (90)	3 533 (139)	5 159 (203)	30,7	22/30
220 Lo	4 643 (183)	16 398 (646)	2 287 (90)	3 533 (139)	5 159 (203)	32,4	22/30

\* 60 Sh = Spiral diameter 60 cm (600mm) Short version

\* 60 Lo = Spiral diameter 60 cm (600mm) Long version

Short version (slightly cheaper) is selected when dewatering of solids is not critical (e.g. in grinding circuits).

Long version is selected when maximum dewatering of solids is required.

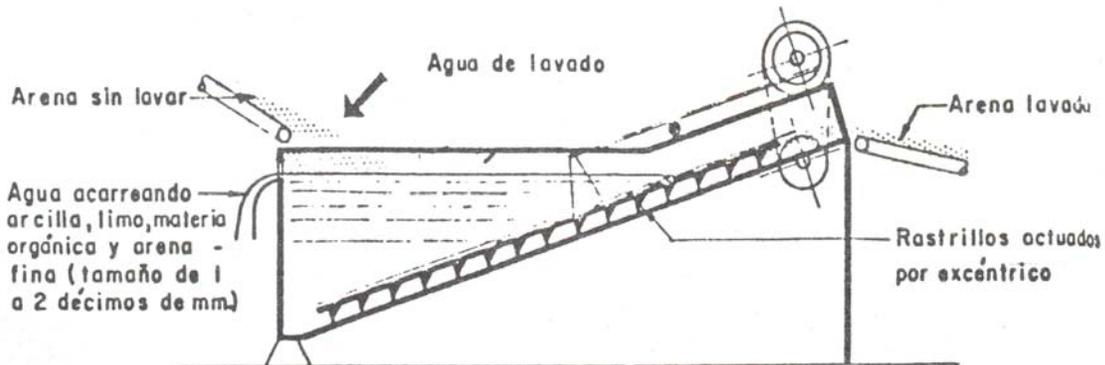
Spiral diameter (inch): 60 (24), 75 (30), 90 (36), 120 (48), 150 (60), 200 (78), 220 (87)

*TABLA III.15.- Dimensiones de los tanques lavadores*

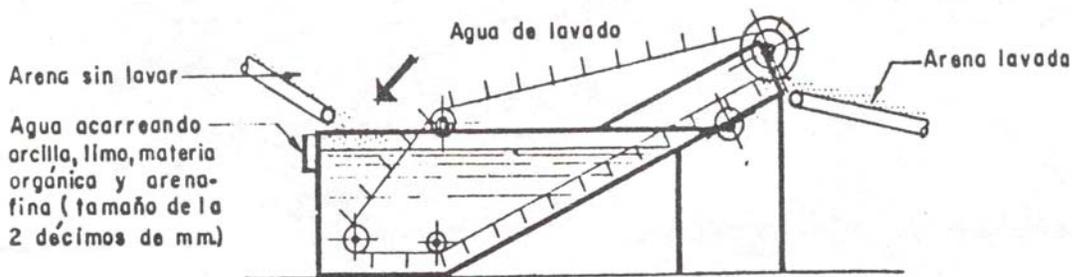


*Fig. III.42 Tanque lavador*

Rastrillos. Existen dos tipos de lavado por rastrillo, basándose en el mismo principio: El material contaminado entra por el mismo lado que lo hace el agua, los finos del material son capturados por ésta y el material grueso cae en los rastrillos que lo conducen al exterior por el extremo contrario. Los rastrillos pueden actuar mediante excéntricos o bien por medio de bandas o eslabones. (Fig. 43 a y b respectivamente).



*Fig. III.43a Rastrillos actuando por excéntrico*



*Fig. III.43b Rastrillos en eslabón o banda*

Tanques clasificadores.

Cuando se encuentran muy pegados de impurezas, nuestros materiales triturados se pueden utilizar tanques clasificadores como los de las figuras siguientes

Fig. III.44 Tanque clasificador

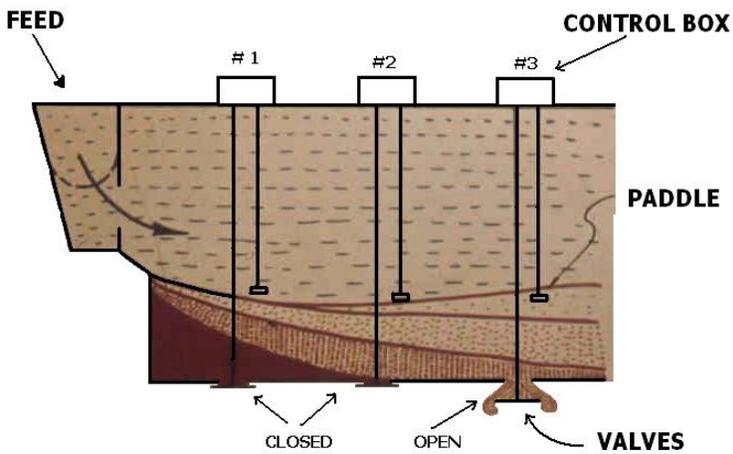
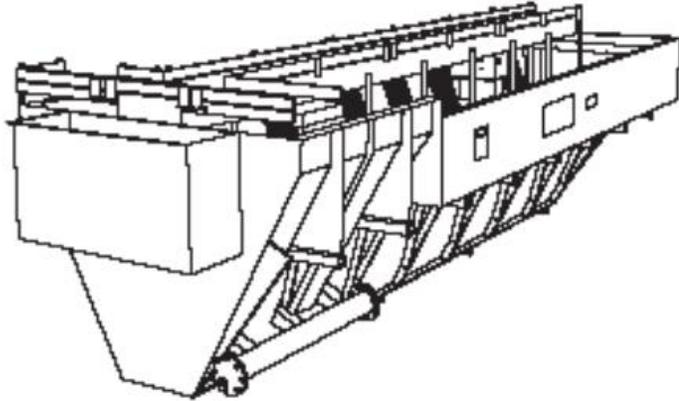
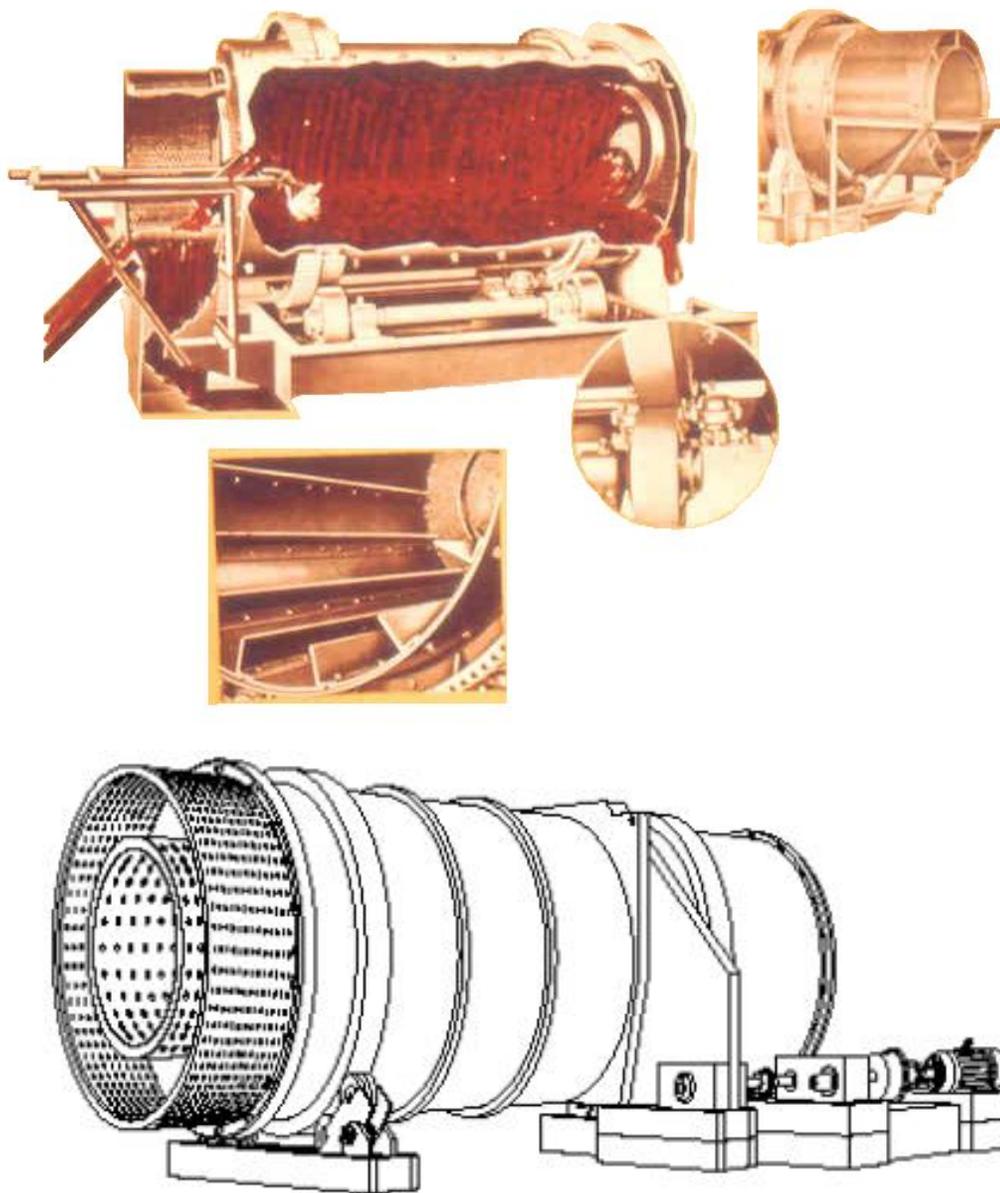


Fig. III.45 Tanque clasificador

Tambores desenlodadores.

Para el lavado de gravas fuertemente contaminadas con arcilla, se emplean los tambores desenlodadores o scrubbers que constan de un cilindro o placa de acero en cuyo interior se montan aspas o paletas metálicas, que mueven el material en su interior. A su vez constan de un dispositivo de riego de agua a presión para realizar dentro del tambor el lavado de los agregados, así como de orificios en la parte exterior para la evacuación del agua (Fig.III .46 ). Se fabrican en diámetros de 72", 96" y 120" con longitudes de 14 a 24 pies y capacidades desde 120 a 100 ton/h.



*Fig. III.46 Tanques desenlodadores*

### **III.6 CICLONES.**

Cuando las especificaciones para arena y otros agregados finos requieren obtener determinadas características y tamaños específicos se utilizan por lo regular equipos mecánicos. Hay mecanismos y máquinas que clasifican el arena en diferentes tamaños.

Los agregados a menudo llegan a la planta mezclados con arcilla u otras impurezas que tienen que eliminarse. La cantidad y clase de impureza y la cantidad de agua de que se disponga, determinan principalmente el método que deba emplearse.

Ciclones hidráulicos.- Emplean fuerza centrífuga en una estructura cónica para clasificar y quitar el agua a los finos. Estos hidrociclones pueden recuperar finos por debajo de la malla No. 150 que se pierden en los procesos de lavado mencionados anteriormente. Es de fácil instalación y mantenimiento.

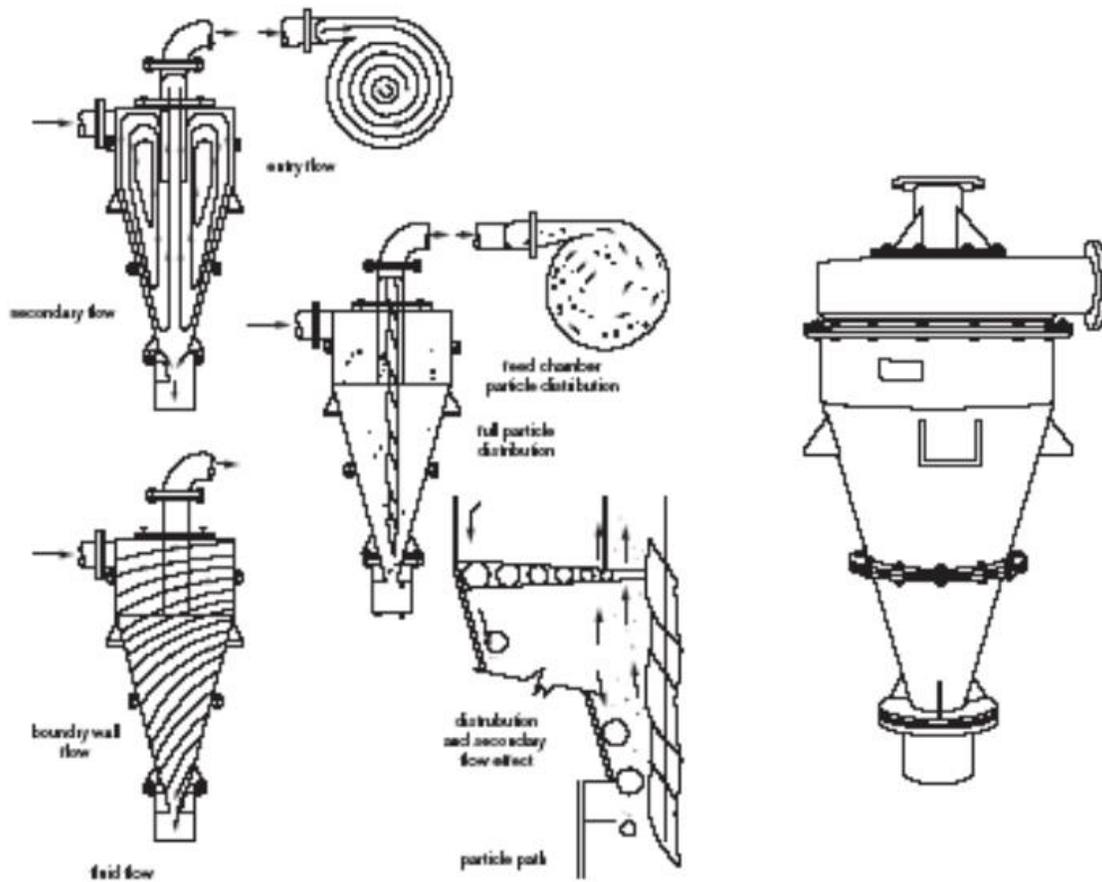


Fig. III.47 Ciclones

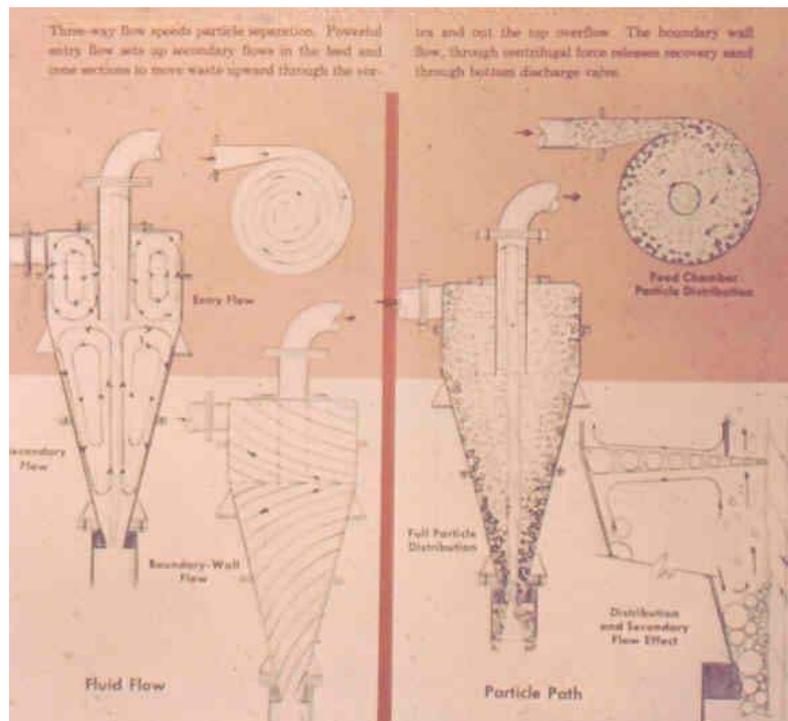
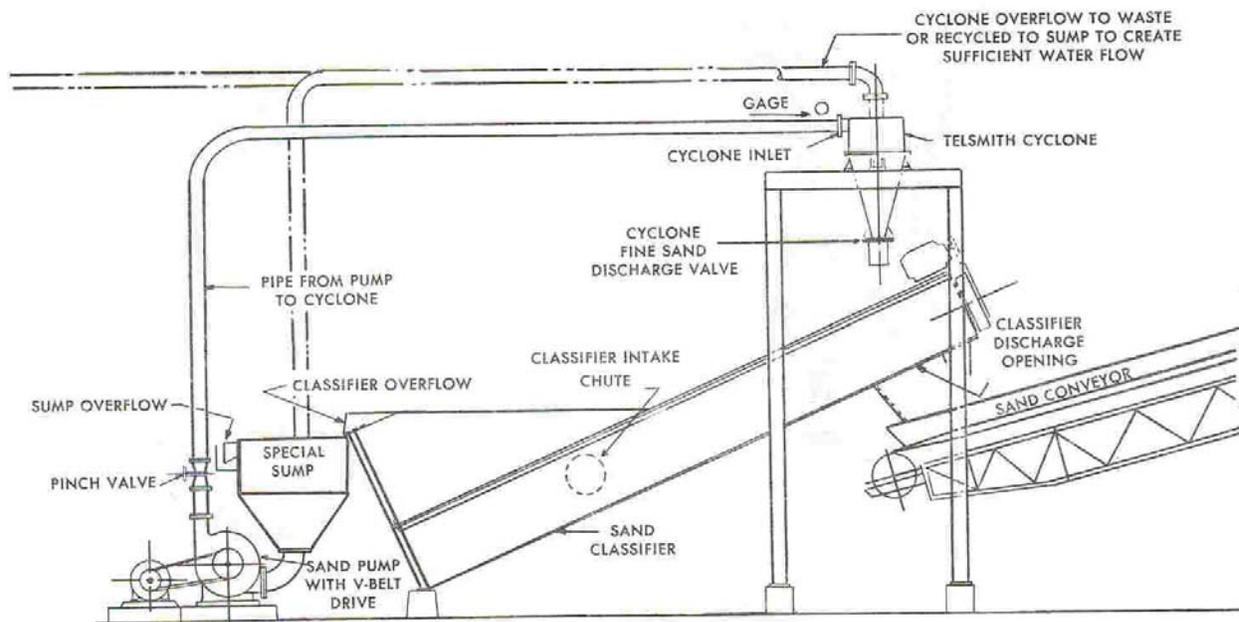


Fig. III.48 Ciclón Tel-smith



*Fig. III.49 Diagrama de planta que incluye tanque lavador y ciclón*

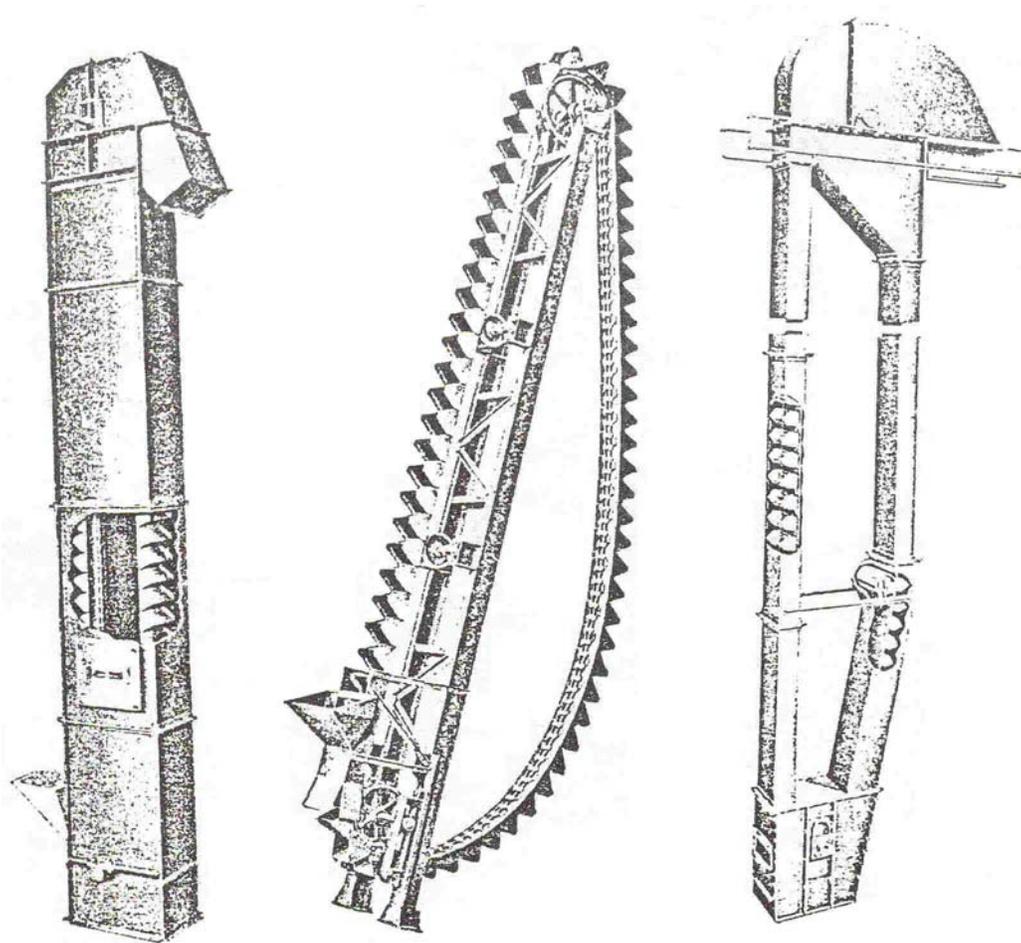
*Fig. III.50 Ciclón en una planta de trituración*



### III.7 ELEVADORES DE CANGILONES.

Es un tipo de equipo de elevación de materiales a granel que consiste básicamente en una serie de botes o cangilones montados ya sea sobrecadenas o sobre una banda de hule. Tanto las cadenas como la banda están animadas por un movimiento lineal que permite la elevación de los materiales recogidos por los botes, conocidos por cangilones ,a la tolva de recepción, situada en la parte inferior del elevador.

Si bien es un equipo muy utilizado en las industrias de la cal, cemento, yeso y en la minería, en las instalaciones de agregados pétreos se ha visto muy disminuida su utilización, debido al desarrollo de los transportadores de banda, que en muchos casos sustituyen ventajosamente a los elevadores de cangilones.



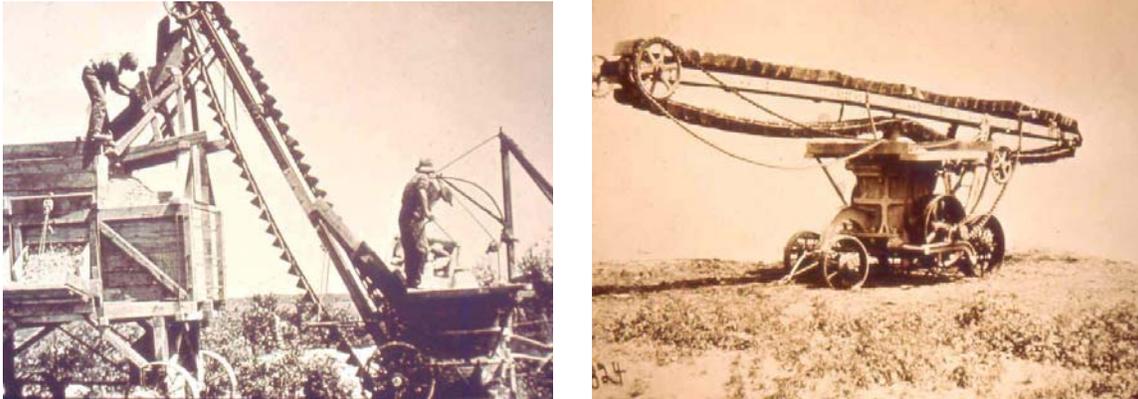
*Fig. III.51 Diferentes tipos de elevadores de cangilones*

# Capítulo IV

## SELECCIÓN DE EQUIPO DE TRITURACIÓN

### IV.I ANTECEDENTES.

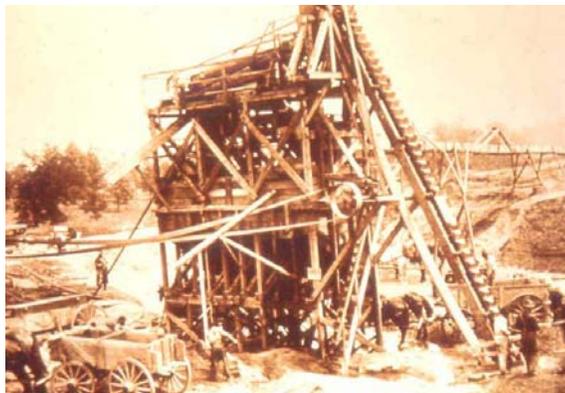
Al inicio del siglo XX, las plantas de trituración eran estacionarias, es decir, muy difíciles de mover y construidas a base de madera y no tan rigurosa como hoy en día en cuanto a las especificaciones del producto y mecánica simple.



*Fig. IV.1 Primeras plantas de trituración y elevador de cangilones*

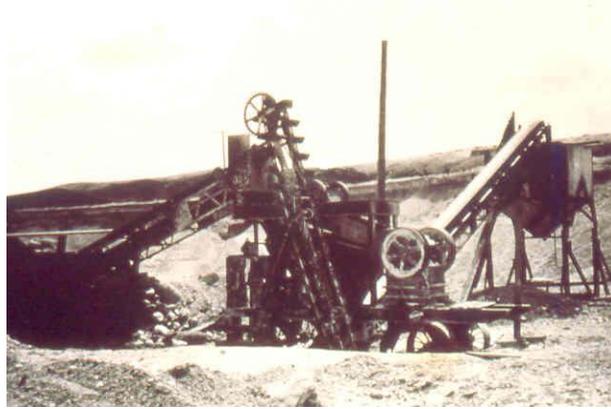


*Fig. IV.2 Planta alimentada manualmente por medio de presos*



*Fig. IV. 3 Posteriormente fueron alimentadas por carretas y caballos.*

Con el desarrollo se requirió mayor necesidad de producción y entonces surgieron plantas como se muestra en la figura



Muchos tipos y tamaños de plantas de trituración son usadas en la industria de la construcción. La capacidad de una trituradora variará dependiendo del tipo de material, tamaño del alimentador, tamaño del producto terminado y del tamaño de material a la que se está alimentando a la trituradora.

El objetivo de diseñar una planta de trituración es el de seleccionar el equipo que reúna las especificaciones del proceso y de hacer un arreglo con éste en un sistema que esté en equilibrio para producir agregados de tamaños deseados en las proporciones requeridas.

Las plantas completas diseñadas para la trituración de roca volada o de grava natural que contienen piedra de tamaño excesivo, ejecutan la tarea de recibir un material grueso de tamaños variables y de convertirlo en uno o más clases de productos terminados que estén graduados o con cierta uniformidad.

Un problema de trituración quedará correctamente resuelto si se cuenta con el equipo idóneo para cada proceso de reducción establecido en la planta.

La planta incluye todos o una gran parte de los equipos descritos, una tolva en la que se vacía material con ayuda de un equipo de carga, unidades transportadoras o de acarreo, cribas para la separación de los fragmentos según sus tamaños antes y después de las etapas de trituración, de una a cuatro trituradoras, tolvas o canaletas y transportadores para el manejo individual de los fragmentos de diferentes tamaños separados por las cribas y en su caso equipo de lavado. También deberán procurarse medios de almacenamiento o para carga de los productos.

Para la selección del equipo de trituración, es de vital importancia que cierta información sea conocida antes de que se haga esta selección. La información requerida puede basarse en los siguientes puntos, pero no necesariamente está limitada a estos:

- El tipo de roca o grava y sus características (como el grado de intemperización)
- La capacidad y producción de la planta
- El tamaño máximo de la roca o grava en la alimentación (información referente con los rangos de alimentación también son de ayuda)
- El tipo de alimentación a las trituradoras
- Los rangos de tamaños específicos de los productos finales

Considerando la complejidad de este objetivo y la variedad de los parámetros involucrados, las plantas de trituración difieren ampliamente de un proyecto a otro.

El costo del proceso requerido para producir agregados adecuados o convenientes para la construcción depende del material en greña disponible y de las especificaciones del producto final. En general, se toman en cuenta los siguientes cuatro factores para cumplir dichas especificaciones:

- 1.- Reducción de tamaño de la roca – Trituración
- 2.- Clasificación de los agregados – Cribado
- 3.- Eliminación de material no deseado – Lavado
- 4.- Manejo de agregados – Almacenaje y transportación

Dicho lo anterior, ya se tiene una idea completa de los factores y características que se toman en cuenta para una apropiada selección de equipo. Para esto se debe de realizar también, un diagrama de flujo del proceso de trituración, que contempla desde la entrada del material en greña al equipo primario, hasta su salida de la planta o almacenaje correspondiente.

En las tablas IV.1 y IV. 2 se muestra un ejemplo de las preguntas que comúnmente deben de hacerse de acuerdo a los puntos anteriores.

Al operar una planta de trituración, resulta fundamental el producto de la voladura, el tamaño del cargador para la roca y el tamaño de la trituradora primaria. Estos son conceptos que se deben manejar a la par para asegurar que toda roca puede ser procesada de manera económica. Es decir, es deseable que la capacidad del cargador o del equipo de acarreo de material, en la planta de agregados y la capacidad de la planta trituradora sean aproximadamente iguales.

Para esto, la tabla IV.3 da los tamaños mínimos recomendados de las trituradoras de quijadas y giratorias requeridas para manejar la roca siendo cargadas con palas o cargadores de las capacidades especificadas.

También deben de tenerse en cuenta la evaluación de los diferentes requerimientos de cada una de las partes de la planta, como el uso de agua y de energía eléctrica, cimentaciones, etc. para asegurar su inclusión mientras se realiza la instalación de la planta. El diseño de la planta debe contemplar y prever los espacios adecuados entre las unidades individuales para garantizar el acceso al personal de mantenimiento, a las grúas; así como también el espacio suficiente para poder levantar las partes pesadas del equipo de trituración. También debe de considerarse el espacio para las áreas de almacenamiento de material.

## Alimentación de la planta roca producto de la voladura

- 1.- Tipo de roca \_\_\_\_\_
- 2.- Capacidad deseada en ton /hr \_\_\_\_\_
- 2ª El material contiene arcilla o algún tipo de polvo \_\_\_\_\_  
En caso afirmativo cuanto % \_\_\_\_\_  
En que forma \_\_\_\_\_  
La arcilla es fácil o difícil de disolver en agua \_\_\_\_\_
- 3.- Tamaño del equipo que será utilizado para alimentar la planta \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 4.- Tipo de equipo que hará llegar el material a la primer trituradora \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 5.- Tamaño máximo del material del que será triturado \_\_\_\_\_
- 6.- Granulometría deseada de cada uno de los productos terminados \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 7.- Si hay mayor demanda en uno de los tamaños del producto final, por favor indique su porcentaje \_\_\_\_\_
- 8.- Existen algunas especificaciones que deban cumplirse \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 9.- El producto terminado debe de ser lavado o limpiado? \_\_\_\_\_
- 10.- Cómo se piensa almacenar los productos en tolvas o en pilas? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 11.- Capacidad de almacenamiento de cada producto en tolvas \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 12.- Capacidad de almacenamiento de cada producto en pilas \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 13.- Con que tipo de equipo se llevará el material producto de trituración al sitio de utilización.  
\_\_\_\_\_
- 14.- Como se suministrara energía a la planta \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 15.- Indique contenido de sílice \_\_\_\_\_ % resistencia a la compresión \_\_\_\_\_ resultado de la prueba de los Ángeles \_\_\_\_\_

## Alimentación a la planta de grava - arena

1.- Capacidad deseada en ton /hr \_\_\_\_\_

1ª El material contiene arcilla o algún tipo de polvo \_\_\_\_\_

En caso afirmativo cuanto % \_\_\_\_\_

En que forma \_\_\_\_\_

La arcilla es fácil o difícil de disolver en agua \_\_\_\_\_

2.- ha decidido algún equipo para obtener la grava \_\_\_\_\_

El material llegará húmedo o seco de la excavación \_\_\_\_\_

3.- Tipo de equipo que hará llegar el material a la planta \_\_\_\_\_

4.- Tamaño máximo del material del que será triturado \_\_\_\_\_

Porcentaje de arena \_\_\_\_\_%      porcentaje de grava \_\_\_\_\_%

Porcentaje que requiere ser triturado \_\_\_\_\_%

5.- Granulometría deseada de cada uno de los productos terminados \_\_\_\_\_

6.- Si hay mayor demanda en uno de los tamaños del producto final, por favor indique su porcentaje \_\_\_\_\_

7.- Existen algunas especificaciones que deban cumplirse \_\_\_\_\_

8.- El producto terminado debe de ser lavado o limpiado? \_\_\_\_\_

En caso de requerirse agua, como se va a suministrar \_\_\_\_\_

9.- Cómo se piensa almacenar los productos en tolvas o en pilas? \_\_\_\_\_

10.- Capacidad de almacenamiento de cada producto en tolvas \_\_\_\_\_

11.- Capacidad de almacenamiento de cada producto en pilas \_\_\_\_\_

12.- Con que tipo de equipo se llevará el material producto de trituración al sitio de utilización.

13.- Como se suministrara energía a la planta \_\_\_\_\_

14.- Indique contenido de sílice \_\_\_\_\_% resistencia a la compresión \_\_\_\_\_ resultado de la prueba de los ángeles \_\_\_\_\_

Indique el análisis granulométrico del material \_\_\_\_\_

Capacidad del bote cargador. [y <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )]		Trituradora de Quijadas [pulg. (mm)*]		Trituradora Giratoria, Tamaño de abertura [pulg. (mm)]**	
3/4	(0.575)	28 x 36	(712 X 913)	16	(406)
1	(0.765)	28 x 36	(712 X 913)	16	(406)
1 1/2	(1.145)	36 x 42	(913 X 1,065)	20	(508)
1 3/4	(1.340)	42 x 48	(1,065 X 1,200)	26	(660)
2	(1.530)	42 x 48	(1,065 X 1,200)	30	(760)
2 1/2	(1.910)	48 x 60	(1,260 X 1,525)	36	(915)
3	(2.295)	48 x 60	(1,260 X 1,525)	42	(1,066)
3 1/2	(2.668)	48 x 60	(1,260 X 1,525)	42	(1,066)
4	(3.060)	56 x 72	(1,420 X 1,830)	48	(1,220)
5	(3.820)	66 x 86	(1,675 X 2,182)	60	(1,520)

\*El primer número indica el ancho de abertura en la parte superior de la trituradora. El segundo número indica la abertura medida a lo largo de la quijada.

\*\*Tamaños recomendados para trituradoras giratorias equipadas con bóveda recta.

Tabla IV.3 Capacidades del bote del cargador acorde con la capacidad de la trituradora de quijadas y giratorias.

#### IV.2 DIAGRAMA DE FLUJO.

Un diagrama de flujo es un modelo de flujo de instalación es la base del proyecto. El desarrollo de trituración y en estos no se toma

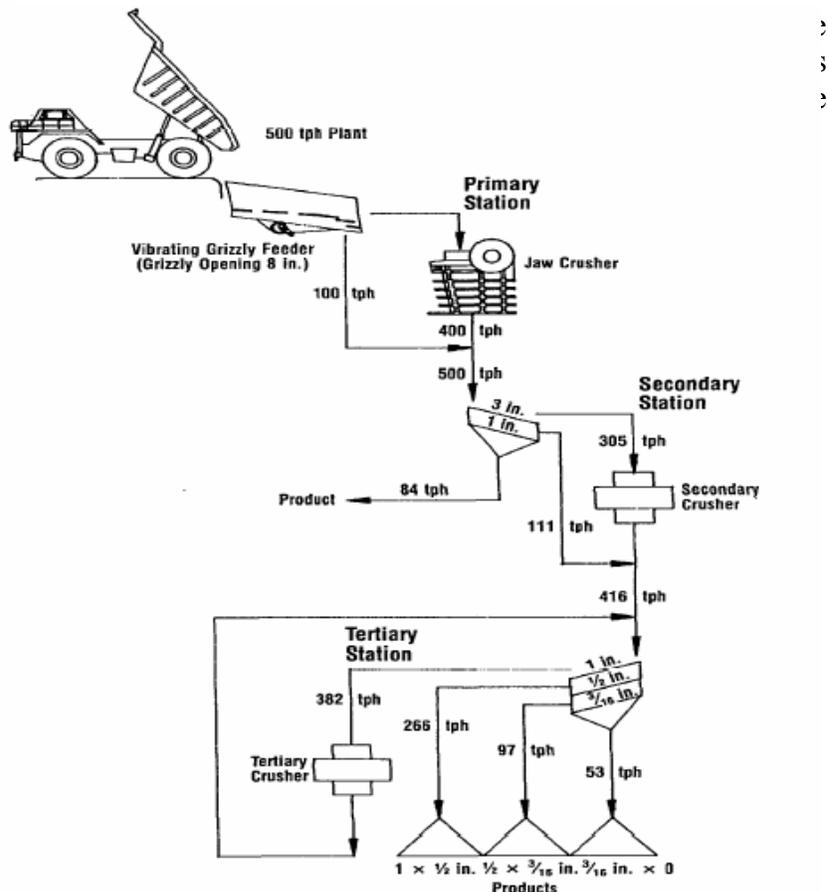
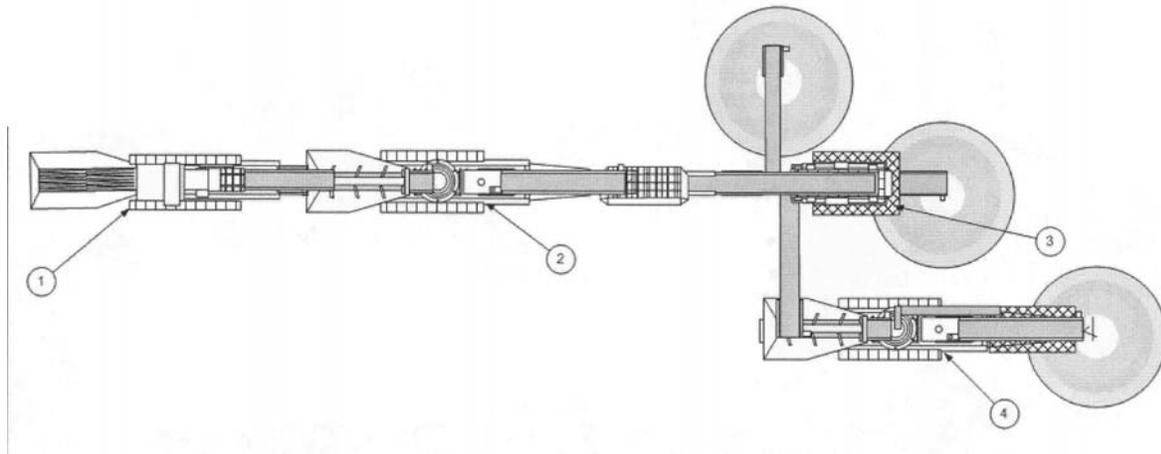


Fig. IV.4 Diagrama de flujo representativo de una planta trituradora.

Por otra parte, también se debe asegurar que los planos construyen incrementalmente una configuración o arreglo adecuado de toda la planta. Se debe de tener especial atención en asegurar que el transporte de material se haga de una manera lógica y efectiva desde el punto en

que entran los camiones con el material en greña a la planta hasta el punto donde salen con el producto final, resultado de la trituración.



*Fig. IV.5 Diagrama de flujo representativo de una planta de una trituradora*

El primer paso para diseñar un diagrama de flujo es determinar el tipo y el tamaño requerido de la trituradora primaria.

Para la solución de esta primera etapa, es de gran ayuda la granulometría de la roca procedente del banco de materiales pétreos, pero a veces, el problema resulta otro si no se cuenta con esta información.

A partir de la granulometría del banco, se escogerá el equipo a utilizar para la fase primaria.

Si se utiliza una trituradora de quijadas, es conveniente el uso de un alimentador, como ya se ha tratado a lo largo de este trabajo, y dependiendo del tipo de roca y sus demás características se diseñarán los tamaños, tanto del alimentador, como de la trituradora de quijadas.

El uso del alimentador grizzly permitirá una mayor eficiencia de la trituradora de quijadas y en general de toda la planta, ya que como se mencionó, al existir materiales de diferentes tamaños a la entrada del proceso, una cantidad determinada pasará a través de éste sin necesidad de pasar por la trituradora y con ayuda de una banda transportadora se unirá al material saliente de la primaria.

Es por esto que será de gran ayuda (pero no forzoso) conocer la granulometría del material que entre a la planta, ya que de esta manera se conocerá qué cantidad de material se precriba a través del grizzly y cuánto material entra a la trituradora primaria.

El objetivo de conocer la cantidad que realmente entra a la trituradora (y esto se aplica a todas las trituradoras, no importa de qué fase sea) es el de poder conocer el tipo y dimensiones de la trituradora que nos ayudará a cumplir el objetivo deseado. Para dicha selección es necesario conocer, dentro del gran rango de trituradoras existentes, cuál es nuestra mejor opción.

Así que los datos requeridos para la selección de una trituradora son, en general:

- Tamaño de la alimentación.- Conocer cuál es el tamaño máximo de material que va a entrar a la trituradora

- Capacidad de la trituradora (generalmente en toneladas-cortas por hora).- depende del tamaño de la trituradora y del producto a la salida
- Ajuste a la salida de ésta.- Tamaño del producto deseado

El material que sale, tanto del grizzly como de la trituradora, se mandará mediante una misma banda transportadora hacia la siguiente fase de trituración. Pero generalmente, antes de llegar a la trituradora secundaria, el material se separará por tamaños mediante el uso de una o más camas de cribado. Estas camas consisten en cribas montadas una encima de la otra y cada una con una malla de diferente tamaño, dependiendo su número, del rango de material deseado.

El material que tenga los tamaños de las mallas pasarán a través de estas y serán sujetos a un procedimiento diferente, ya sea a su clasificación si el material cuanta con el tamaño deseado y si no, a una nueva trituración.

### **IV.3 CIRCUITO CERRADO.**

Todas las trituradoras dejan pasar algunas piedras de tamaño excedente al que están ajustadas, especialmente, de material que tiende a quebrarse en forma de fragmentos alargados delgados en forma de lascas (ver sección II.3.2), por lo que, al final de la última trituradora, se devuelven a la corriente de la alimentación de la cual provienen. A este procedimiento se le conoce como “circuito cerrado”, el procedimiento consiste en que, al llegar los fragmentos triturados a la criba, serán separados por éstas, los fragmentos de tamaños intermedios serán desviados a la trituradora siguiente, mientras que los de tamaño excesivo serán devueltos a la trituradora anterior con ayuda de bandas transportadoras.

El circuito cerrado introduce un factor conocido como carga de circulación. Este factor puede incrementar drásticamente la alimentación total a la criba vibratoria y debe ser examinado cuidadosamente.

La carga de circulación es un factor en la selección de la criba y debe ser usado como parte de los circuitos de trituración cuando el producto deba ser 100% menor al tamaño máximo especificado del producto final. Esto debe hacerse porque las máquinas trituradoras no reducen toda su alimentación a tamaños iguales o menores que del de la abertura de descarga. En la práctica normal, las trituradoras se ajustan a una abertura menor que el calibre del piso de cribado, obteniendo un buen equilibrio del producto final.

El material triturado presenta un sobretamaño que debe ser triturado y que se expresa en porcentaje del producto mismo.

Este continúa la recirculación a través de la trituradora hasta una reducción tal que permita el paso del material por la malla de cribado.



*Fig. IV.6 Circuito cerrado*

El número de pasadas de cualquier material dado, sin adicionar la nueva alimentación, antes del 100% de reducción es infinito. El porcentaje de sobretamaño retenido en el piso de la criba después de cada paso por la trituradora corresponde a una progresión geométrica.

En las figuras IV.6 y 7 se ilustra el circuito cerrado se puede apreciar a partir de la salida del material de la trituradora secundaria. El material sigue su curso para clasificarse en la criba, el material de tamaño mayor a la primera cama entra a trituración terciaria y el producto que sale de esta es regresado nuevamente al flujo de recepción de la criba. De esta manera se garantiza que el tamaño de agregado no sea mayor que el deseado.

Este tratamiento repetido del material es el que da a la planta la apariencia de complejidad y de duplicación de trabajo. Sin embargo, los transportadores y las cribas consumen poca potencia y tienen menores gastos de mantenimiento que las trituradoras y se pagan solos al ahorrar en el tamaño de la trituradora y en su desgaste, además de permitir la obtención de materiales más uniformes y por lo tanto de mejor calidad.

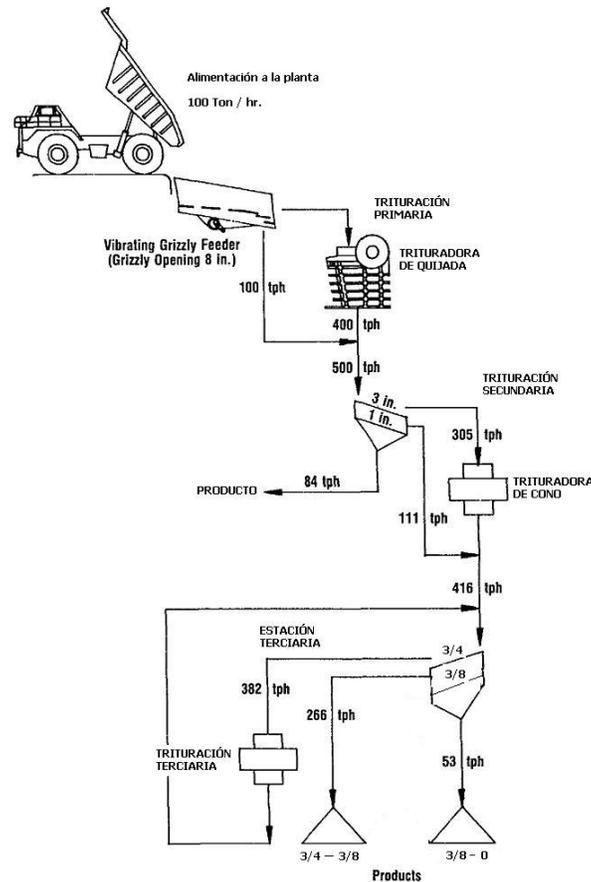


Fig. IV.7 Ilustración del circuito cerrado en un diagrama de flujo.

#### IV. 4 PILAS DE ALMACENAJE Y TIPOS DE PLANTAS DE TRITURACIÓN.

Una planta de trituración puede tener varios tipos de trituradoras, cada una seguida de un equipo de cribas y de sus respectivas bandas transportadoras para conducir al material al siguiente proceso de trituración o dependiendo el caso, para su correspondiente almacenaje.

Las plantas pueden diseñarse para tener un almacenaje temporal de material entre las diferentes etapas de trituración y esto tiene como ventaja, la eliminación o reducción del efecto que frecuentemente existe cuando la trituración, cribado u operaciones de manejo son realizadas como un proceso en línea, es decir, que si existe un problema entre el inicio del proceso o en alguna de sus partes, el proceso se suspenderá y por tanto la producción también se verá afectada. De esta manera, la función de estas pilas de almacenaje, que se colocan al frente de las trituradoras, es la de garantizar que al menos una o más partes de la planta de trituración se encuentren en operación en todo momento y esto permitirá que la producción continúe mientras el problema sea resuelto. Dentro de límites razonables, el uso de estas pilas, permite que la siguiente trituradora no vea afectada su alimentación, y por ende la producción se mantendrá constante. El uso de estas pilas ha permitido a algunas plantas incrementar su producción final hasta en un 20%.



*Fig. IV.8 Pilas de almacenaje en una planta de agregados.*

Ventajas del uso de estas pilas.

1.- Mejoran la alimentación, de manera que permiten que se realice uniformemente y aseguran una alta eficiencia de las trituradoras.

En el caso de que se presenten interrupciones en el proceso, ya sea por problemas de excavación y/o acarreo, las operaciones de trituración no serán interrumpidas.

2.- Las reparaciones se pueden hacer en las diferentes secciones de la planta (primaria, secundaria, etc) sin tener que detener la producción totalmente.

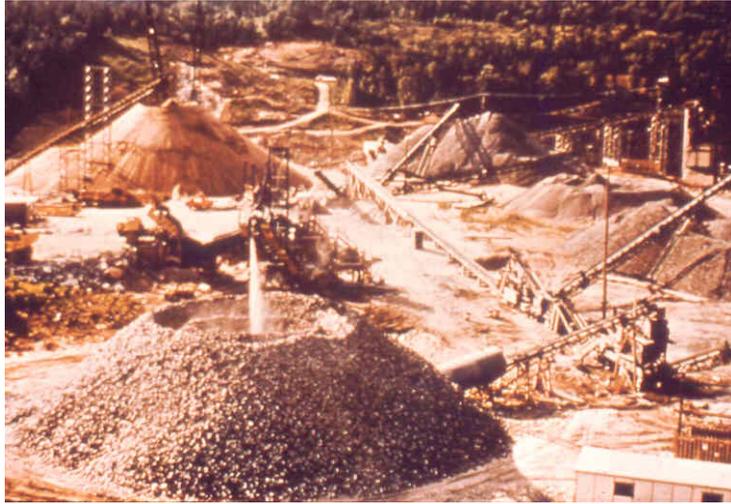
Algunas desventajas son:

1.- Requieren de un área mayor de almacenamiento.

2.- Requieren de la instalación de una tolva de almacenaje o de túneles de recuperación.

3.- Aumentan la cantidad de roca a manejar.

La decisión de usar o no estas pilas debe basarse en un estudio o análisis de las ventajas y desventajas para cada planta.



*Fig. IV.9 Pilas de almacenaje*

Las plantas de trituración se pueden clasificar en 2 tipos:

1.- Fijas o estacionarias

2.- Móviles. Las que a su vez se clasifican en:

- Plantas móviles sobre neumáticos.
- Plantas móviles sobre orugas.

#### **IV.5 PLANTAS DE TRITURACIÓN FIJAS O ESTACIONARIAS.**

Este tipo de plantas, como se mencionó en los párrafos anteriores, fueron las primeras que aparecieron en el mercado.

La utilización de estas plantas depende del tipo de proyecto a realizar. Fundamentalmente se utilizan en los bancos de materiales grandes, es decir con capacidades muy altas. También se utilizan cuando la explotación del banco se va a realizar durante muchos años. Las plantas de producción de la industria minera y cementera utilizan este tipo de plantas cuyas producciones son aún mucho mayores, para este caso se considera la instalación de una trituradora giratoria.

Por lo general, el equipo estacionario lo constituyen la trituradora de quijadas que cuenta con su propia cimentación y alimentador para capacidades mayores a 500 ton/h y que puede variar hasta 1500 ton/h y el equipo de cribado para poder manejar estas altas capacidades.

La instalación de estas plantas, debido a su gran tamaño, toma varios meses y se debe hacer un trabajo de ingeniería preparatorio como cimentaciones para la trituradora primaria, revisar la topografía y realizar nivelación del terreno.



*Fig. IV.10 Vista del equipo primario en una planta estacionaria. Se aprecia la tolva de recepción de material, la trituradora de quijadas, la banda transportadora y el imán sobre ésta. El material va a una criba para el proceso secundario.*

Un aspecto fundamental en estas plantas es la separación de procesos, con el fin de eficientar la producción, por ello resulta conveniente después del primario establecer una pila de almacenamiento.



*Fig. IV.11 Separación del proceso primario.*

A continuación tenemos una instalación secundaria de la planta de trituración en donde se observa la estructura para una planta fija.



*Fig. IV.12 Trituración secundaria de conos.*



*Fig. IV. 13 Criba que alimenta a dos trituradoras terciarias, se aprecia el material que entra a la criba que está en circuito cerrado.*

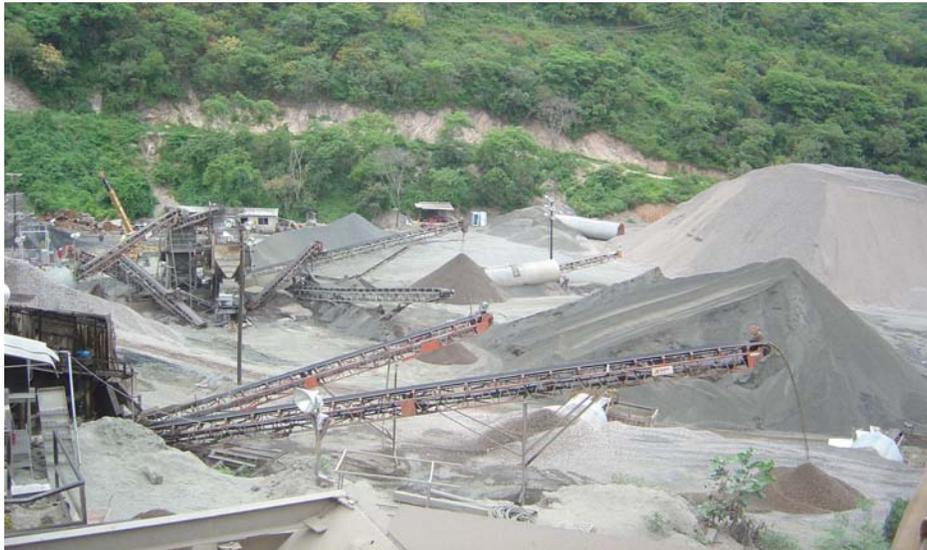


*Fig. IV.14 Otra vista del equipo de cribado terciario.*



*Fig. IV 15 Equipo de trituración terciario*

*Vistas de las trituradoras terciarias, el material que ya no necesita trituración sale por debajo de las trituradoras por medio de bandas transportadoras y se junta con el producto de la trituración terciaria.*



*Fig. IV.16 Bandas transportadoras formando las pilas de almacenaje.*

El aumento de los costos y de las sofisticaciones en los sistemas tanto eléctricos como de control, requiere de una gran participación de profesionales con habilidades específicas en esta área ya que los sistemas eléctricos abarcan tanto como un 25% de los costos iniciales y además se gasta entre un 10 y 15% en energía para la operación.

Por otra parte los componentes de control y monitoreo (automatización) deben ser resistentes al polvo y a la humedad y deben tolerar las vibraciones. Varios tipos de controles programables son típicos en el uso de monitoreo y control de procedimiento, lo que le permite estar conectados para apagar automáticamente unidades

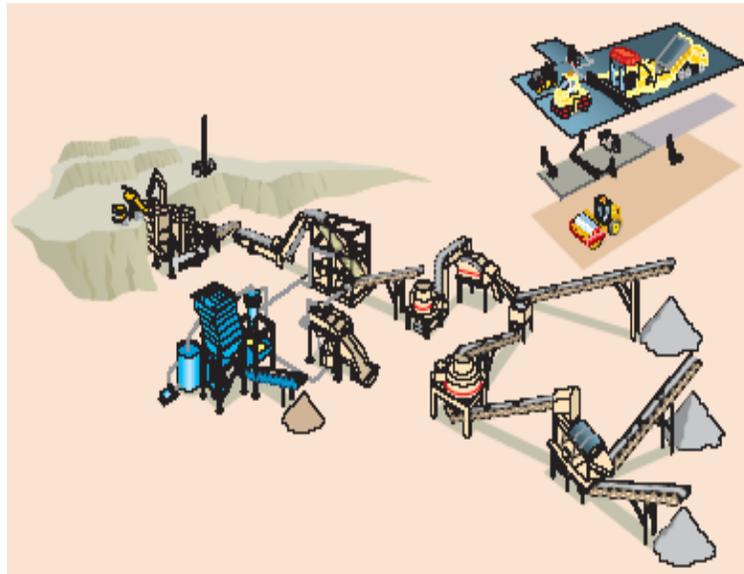


*Fig. IV. 17 Parte del equipo de control de la planta.*

Existen sistemas de automatización por control remoto. En la mayoría de los casos, las instalaciones de trituración operan distantes de la vista de la gerencia por ello se crean sistemas de automatización que posibilitan a la gerencia acompañar el proceso desde lugares distantes, valiéndose de la última generación de la tecnología de las comunicaciones. Al participar de la corrida por la reducción de costos, los clientes pasan a exigir una tecnología más sofisticada para hacer un diagnóstico de la instalación en tiempo real, que les posibilite optimizar el mantenimiento de su instalación y reducir los tiempos de parada. Los sistemas de automatización proveen las herramientas correctas para monitorear con precisión el proceso entero. En el intuito de prestarle asistencia en el plan de mantenimiento, nuestros sistemas de automatización de instalaciones consiguen procesar los datos en tiempo real y también monitorear los parámetros de los equipos, siendo que todos ellos son datos necesarios para el

plano y control adecuados de mantenimiento de la instalación. Los informes de producción también son disponibilizados como parte de este paquete de automatización.

A continuación se presentan diseños de instalaciones estacionarias, en las figuras siguientes



*Fig. IV.18 Maqueta de planta de trituración de agregados.*

#### **IV. 6 PLANTAS DE TRITURACIÓN MÓVILES.**

Este tipo de plantas son más recientes que las anteriores y surgen de la necesidad de una pronta producción y que además cuentan, como su nombre lo dice, con una mayor movilidad. Los primeros equipos de trituración móviles que aparecieron en el mercado fueron los sistemas dual que fueron los preferidos a partir de la segunda guerra mundial y, sobre todo eran los preferidos de los constructores de vías terrestres.

Dicho sistema dual consiste en instalar sobre el chasis remolque una trituradora de quijadas primaria con una secundaria de rodillos, una criba vibratoria y una rueda de cangilones que eleva los materiales a una banda de recirculación, en las figuras IV 19 y 20 se muestra un ejemplo de cómo funcionan estas plantas de trituración.

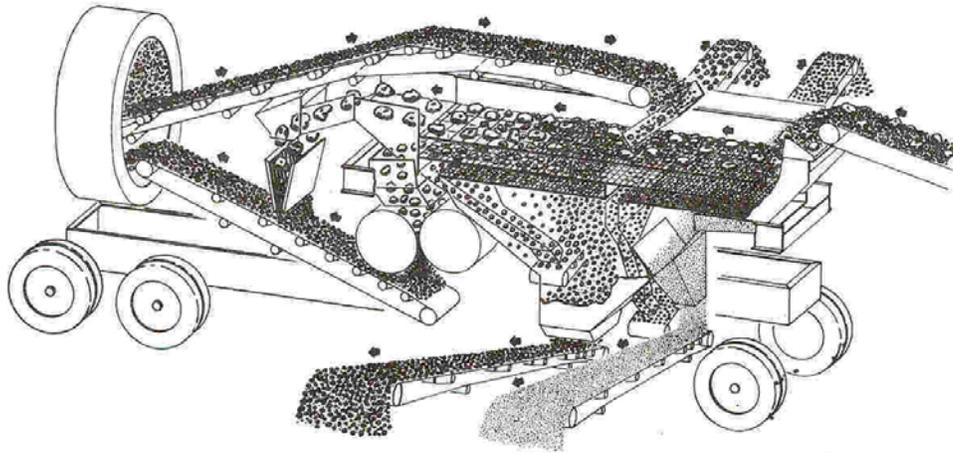


Fig. IV.19 Planta dual con trituradoras primaria de quijadas y secundaria de rodillo doble y consta también de criba vibratoria horizontal

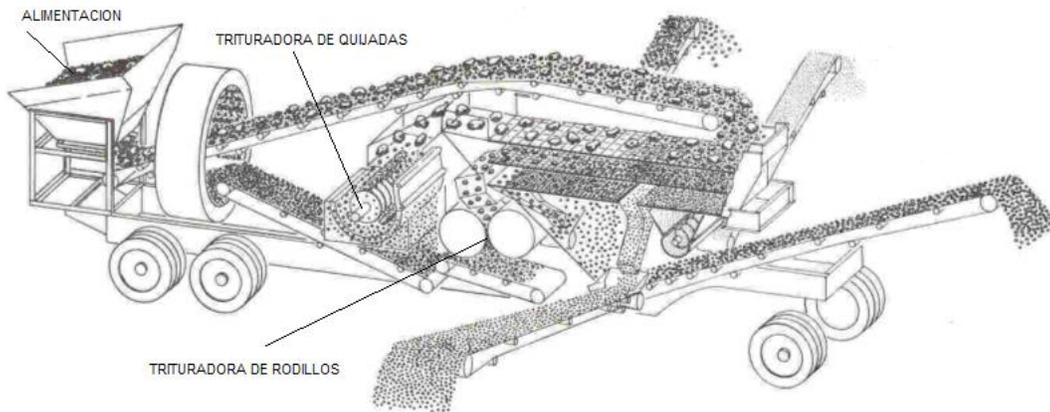


Fig. IV.20 Diagrama de flujo de una planta dual con trituradoras primaria de quijadas y secundaria

En las figuras IV 21 y 22 se ilustran dos plantas dual, en donde la recepción de los materiales se hace en una tolva y, posteriormente en una banda se traslada el material a la planta



Fig. IV.21 Planta de trituración dual



Fig. IV.22 *Planta de trituración dual*

El montar una planta estacionaria puede llevar varias semanas e incluso meses en su instalación y puesta en funcionamiento, es debido a esto que las plantas móviles tienen hoy una gran utilización.

Las plantas móviles pueden instalarse en cuestión de un par de semanas, dependiendo del tamaño de la misma y el trabajo de ingeniería es menor que para las plantas fijas. Esta es una gran ventaja en comparación.

Estas plantas no tienen una producción tan grande como lo constituiría una planta fija, pero pueden alcanzar producciones de material de hasta 600 ton/h.

El equipo móvil sobre neumáticos, cuenta con todas las características de una planta fija, la única diferencia es que es de menor tamaño y por tanto la capacidad es menor. Los fabricantes separaron los procesos en chasis diferentes para su mayor facilidad de traslado a instalaciones, es decir, en un chasis se montaba la etapa primaria, como la figura que se muestra a continuación.



Fig. IV.23 *Planta de trituración móvil primaria TelSmith*



Fig. IV.24 *Equipo móvil de trituración secundaria Telsmith*

Los fabricantes han logrado que los equipos móviles puedan ser trasladados mas fácilmente por as carreteras y con mejores facilidades de radio de giro para lugares con difícil acceso y además que cada equipo móvil pueda ser operado independientemente y sean adaptables a cualquier escenario de alimentación de materiales.



Fig. IV.25 *Equipo móvil de trituración secundaria Telsmith*



Hoy en día con los avances en el diseño de ingeniería de trituradoras se pueden tener equipos móviles que satisfacen requerimientos del mercado a menores costos y que se montan en conjunto con alimentadores, cribas e instaladores de potencia para un mejor funcionamiento.



Fig. IV.26 Equipo móvil de trituración secundaria Telsmith

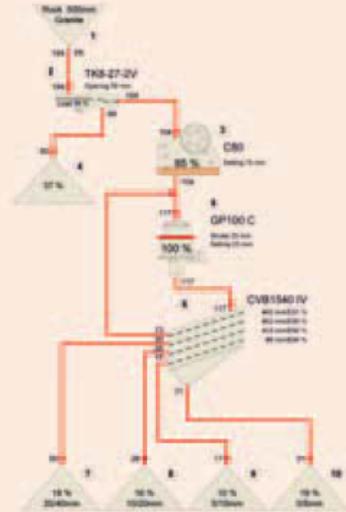
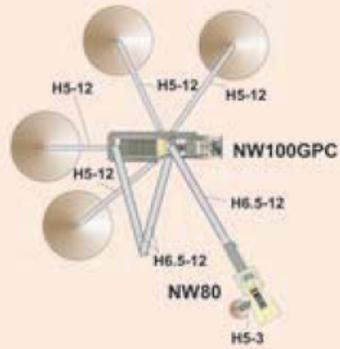
*Dos trituradoras secundarias Nordberg*



A continuación se presentan esquemas de grupos de trituración móviles integrados con equipo Nordberg

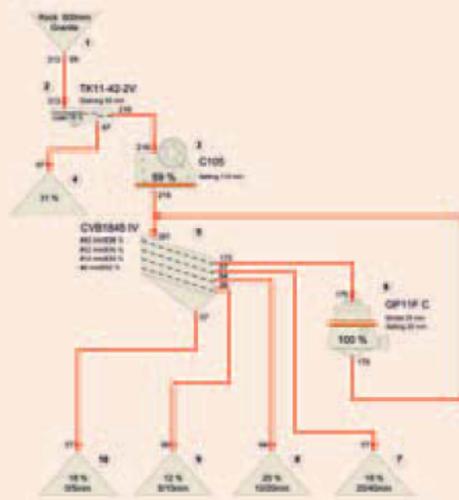
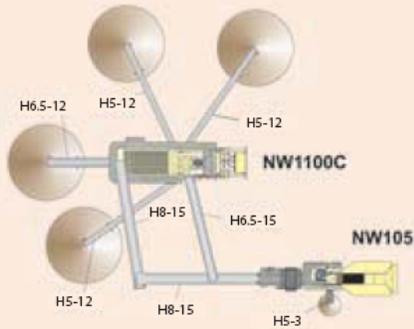
Nordberg NW80 + NW100GPC

FEEDING TO CRUSHER OPTION

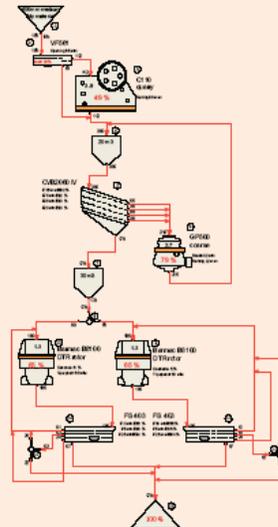
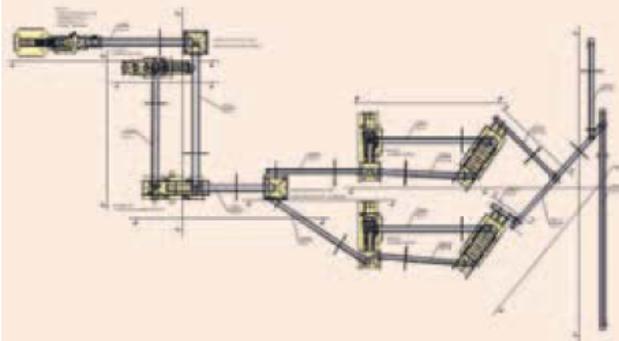


Nordberg NW105 + NW1100C

FEEDING TO SCREEN OPTION



Nordberg NW110 + NW500GP + NW2060CVB + NW8100 + NW403FS



#### **IV. 7 PLANTAS DE TRITURACIÓN MÓVILES SOBRE ORUGAS.**

La imperante necesidad de los mercados actuales, demandan que las plantas de trituración, produzcan material lo más pronto posible y sobre todo que los costos de producción sean minimizados al máximo. Es debido a esto que la industria de la producción de agregados ha sido revolucionada enormemente y es gracias al trabajo de muchas décadas y a los grandes desarrollos tecnológicos que hoy en día se cuentan con las plantas móviles sobre orugas.

Estas plantas se comenzaron a desarrollar a mediados de la década de los 80's y han seguido mejorándose y hoy en día, su desarrollo se ha realizado en Europa y estas plantas cuentan con una automatización total.

Representan estas plantas una enorme ventaja con respecto al tipo de plantas anteriores, ya que, a pesar de que su producción no es tan grande, pueden alcanzar capacidades de hasta 400 ton/h. El tiempo en puesta de operación de estas plantas lleva tan solo un par de horas sin tomar en cuenta la criba, pero si así se desea, sólo lleva un día su puesta en funcionamiento. Además que no requieren de ningún tipo de trabajo ingenieril anterior para su puesta en marcha y no requieren de suministro eléctrico, ya que funcionan con motores a diesel o equivalente.



Pero sin duda, la mayor ventaja que representa el uso de este tipo de plantas es que se reduce la cantidad de acarrees en la obra, puesto que pueden cambiarse fácilmente de banco y fácilmente de su posición.



Este tipo de trituradoras tiene la gran ventaja de que puede acercarse al frente del banco sin ningún problema como puede verse en la siguiente imagen



como mencionamos anteriormente su operación es muy simple y la trae integrada a la planta



Con estas plantas es muy fácil integrar los grupos de trituración, a continuación se presenta un equipo de cribado para este tipo de plantas.



Tenemos a continuación la integración de toda la planta completa



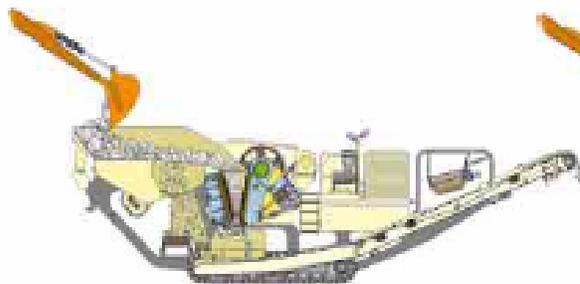


En la siguiente escena e muestra equipo móvil con trituradora primaria de impacto



A continuación se presentan especificaciones de estos equipos móviles

## Nordberg LT95



### Componentes

#### Trituradora de mandíbulas Nordberg C95

- ancho de entrada 930 mm
- profundidad de entrada 580 mm

#### Alimentador

##### Tolva

- 4m<sup>2</sup>: ancho 2700 mm
- 6m<sup>2</sup>: ancho 3400 mm

#### Canaleta vibrante Nordberg TK9-32-2V

- largo 3200 mm
- ancho 950 mm

### Dimensiones

(Transporte, unidad estándar)

Largo	12 450 mm
Ancho	2500 mm
Alto	3100 mm
Peso	27 800 kg



## Nordberg LT95S



### Componentes

#### Trituradora

##### Trituradora de mandíbulas Nordberg C95

- ancho de entrada 930 mm
- profundidad de entrada 580 mm

#### Alimentador

##### Tolva

- 4m<sup>2</sup>: ancho 2700 mm
- 6m<sup>2</sup>: ancho 3400 mm

#### Canaleta vibrante Nordberg TK9-32-2V

- largo 3200 mm
- ancho 950 mm

#### Criba

##### Criba Nordberg TK11-20- S

- largo 2000 mm
- ancho 1100 mm

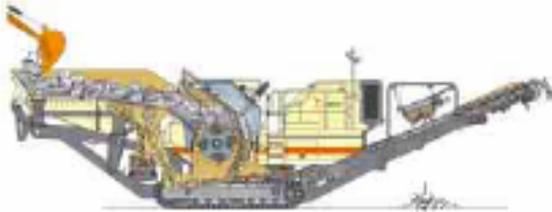
### Dimensiones

(Transporte, unidad estándar)

Largo	14 800 mm
Ancho	2500 mm
Alto	3100 mm
Peso	31 200 kg



## Nordberg LT1110



## Nordberg LT1110S



### Componentes

#### Trituradora

- Trituradora de impactos Nordberg NP1110M
- abertura de alimentación 1040 x 800 mm
- abertura de alimentación, aplicación móvil 1040 x 650 mm
- accionamiento hidráulico

#### Alimentador

- Tolva
- 5 m<sup>2</sup>: ancho 2600 mm
- 8 m<sup>2</sup>: ancho 3400 mm
- Alimentador vibratorio Nordberg TK9-42-2V
- largo 4200 mm
- ancho 930 mm
- plegado hidráulico de las paredes de la tolva como estándar

#### Motor / Cat

- potencia 250 kW (335 CV)
- velocidad 2100 rpm/min
- accionamientos completamente hidráulicos

### Dimensiones

(Transporte, unidad estándar)

Largo	14 900 mm
Ancho	2500 mm
Alto	3400 mm
Peso	32 000 kg



### Componentes

#### Trituradora

- Trituradora de impactos Nordberg NP1110M
- abertura de alimentación 1040 x 800 mm
- abertura de alimentación, aplicación móvil 1040 x 650 mm
- accionamiento hidráulico

#### Alimentador

- Tolva
- 5 m<sup>2</sup>: ancho 2600 mm
- 8 m<sup>2</sup>: ancho 3400 mm
- Alimentador vibratorio Nordberg TK9-42-2V
- largo 4200 mm
- ancho 930 mm
- plegado hidráulico de las paredes de la tolva como estándar

#### Criba

- Criba Nordberg TK11-30S
- largo 3000 mm
- ancho 1100 mm

#### Motor / Cat

- potencia 250 kW (335 CV)
- velocidad 2100 rpm/min
- accionamientos completamente hidráulicos

### Dimensiones

(Transporte, unidad estándar)

Largo	17 700 mm
Ancho	27500 mm
Alto	3400 mm
Peso	36 200 kg (sin el transportador de retorno HS-9)



# DESIGNED TO PERFORM

TEREX Pegson leads the world with the high performance 1000 Maxtrak crusher that has been designed for direct feed applications without pre-screening on clean rock.

At the heart of the Maxtrak is the Automax cone crusher with hydraulic setting, tramp release and unblocking system. Its unique crushing action produces high quality aggregate and sub-base material. Available with a choice of four liners and two "eccentric" throws it will give excellent capacity, high reduction and good product cubicity.

The Maxtrak plants are fitted with a feed hopper that enables the Automax to be continually choke fed. This is essential for all cone crushers to maximise the reduction and manganese life as well as for optimal product shape. A level probe over the feed ring regulates the feed belt to ensure the Automax is perfectly fed.



An optional feed hopper level probe is available for applications where the source of the feed is intermittent and unable to keep the cone crusher continuously choke fed.

To achieve optimum performance the crusher should be fed with well graded material from the maximum feed size down to zero. Any fines in the feed should be clean crushed rock.

An optional short throw eccentric is available as a special order for the 1000 Automax for tight settings and particularly abrasive applications.

For further details please contact your TEREX Pegson dealer.



▲ **HIGH PRODUCTION CAPACITY**  
A Maxtrak on a limestone application.



▲ The 1000 Maxtrak has been designed to maximise throughput, reduction and product shape in a wide range of quarrying applications.

AUTOMAX CRUSHER MODEL	MAXIMUM FEED SIZE mm	TYPICAL CLOSED SIDE SETTINGS AND CAPACITIES					
		CS	19mm	22mm	25mm	28mm	32mm
1000 MC Long Throw	160	mtp	155	170	180	195	210
1000 C Long Throw	175	mtp		175	187	205	220
1000 XS Long Throw	195	mtp			195	215	230

The plant performance and minimum setting capability will depend on feed material condition, grading and density.

AUTOMAX CRUSHER MODEL	MAXIMUM FEED SIZE	TYPICAL CLOSED SIDE SETTINGS AND CAPACITIES			
		6mm	13mm	16mm	19mm
1000 Long Throw	63 mm	mtp	120	130	145

The plant performance and minimum setting capability will depend on feed material condition, grading and density.

### Advantages

- ▶ Accepts clean all in feed
- ▶ No need for pre-screening on most applications
- ▶ Excellent product shape
- ▶ High reduction
- ▶ Hydraulic crusher setting
- ▶ Metal detector fitted as standard
- ▶ Hydraulic release
- ▶ Feed hopper level control for continuous choke feeding
- ▶ Dust suppression sprays fitted as standard

### Unit Components

Crusher type: TEREX Pegson 1000 Automax Crusher fitted with long throw eccentric.

Feeder: 1m wide x 5.4m long belt feeder.  
 Feed Hopper: Hardox steel fixed feed hopper  
 Hopper length: 3.28m  
 Hopper width: 2.5m  
 Capacity: Up to 4.4m<sup>3</sup>  
 Powerpack: Caterpillar C-9, 250kW at 1800rpm at sea level

En las tablas IV.4 y 5 se comparan a los 3 tipos de plantas que hemos estudiado anteriormente en este capítulo.

	PLANTAS ESTACIONARIAS	PLANTAS PORTÁTILES SOBRE LLANTAS	PLANTAS MÓVILES SOBRE ORUGAS, DIESEL HIDRÁULICAS
Capacidad	300 - 1500 TMPH	100 - 600 TMPH	100 - 400 TMPH
Tiempo de suministro	8-16 semanas	4-6 semanas por transportadores e instalación eléctrica	Generalmente inmediato
Tiempo de instalación	16-26 semanas	2-4 semanas	2 horas sin criba 1 día con criba
Ingeniería necesaria	Arreglo general.  De detalle en estructuras, transportadores, tolvas y transiciones, que son especiales.  Eléctrica.  Civil para cimentaciones, topografía y nivelación.	Arreglo general con niveles.  Eléctrica en caso de instalaciones grandes.  Civil si desean cimentaciones y muros de contención	Ninguna
Corriente eléctrica	CFE	CFE o planta generadora	No se necesita
Obra civil y electromecánica	Rampas, muros de contención, nivelación de terreno, cimentaciones, grúas para montajes, cableado y conexión.	Rampas, muros de contención, nivelación de terreno, cimentaciones.	Nivelación de una plataforma para cada equipo con el mismo cargador que maneja los productos.

Tabla IV.4

	PLANTAS ESTACIONARIAS	PLANTAS PORTÁTILES SOBRE LLANTAS	PLANTAS MÓVILES SOBRE ORUGAS, DIESEL HIDRÁULICAS
--	-----------------------	-------------------------------------	--

Carga y acarreo dentro del banco	Cargadores o palas cargan camiones fuera de carretera que transportan roca de 20 a 28"	Cargadores o palas cargan camiones fuera de carretera que transportan roca de 20 a 28"	Retroexcavadora alimenta directamente a la quebradora primaria el material de la voladura o del banco
Carga de camiones de producto	Con cargadores, tolvas o túneles de reclamo desde los almacenes	Con cargadores para hacer almacenes o cargar camiones	Con cargadores, para hacer almacenes o cargar camiones
Acarreos desde la trituradora hasta el frente de la carretera	Pueden ser muy largos si se surte material desde una pedrera fija	Usualmente 25% del costo total de un camino	Se reducen drásticamente al ser mínimo el costo y el tiempo de mover el equipo de una pedrera a otra.
Calidad del producto	Superior y controlable	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones
Valor del equipo a una producción dada	El más alto por mucho si se consideran todos los conceptos adecuadamente	Intermedio	15% más alto si se comparan equipos individuales y más barato se se comparan circuitos completos

Tabla IV.5

### Medio ambiente protegido de polvo y ruidos

Las canteras están generalmente localizadas en ambientes complicados. El planeamiento y el proyecto de construcciones en esas inmediaciones exigen cuidados especiales. Es importante considerar una buena experiencia de proyectos para tales condiciones y tomar cuidados especiales en el proyecto y localización de las estructuras de forma a no agredir éste medio ambiente. Las instalaciones de procesamiento de agregados generan muchos inconvenientes en consecuencia del polvo. Los fabricantes de equipo, estipulan con prioridad la promoción del uso de la mas avanzada tecnología de colecta y supresión del polvo disponible en el mercado, como parte de su proyecto de plantas. De la misma forma en que se controlan otras condiciones ambientales, ello consigue proyectar plantas que utilizan técnicas de reducción de polución sonora hasta niveles aceptables y dentro de los patrones ambientales.

Es importante considerar que antes de explotar un banco debe uno hacer un estudio de impacto ambiental y obtener en su sentido todos los permisos ya sean federales estatales y municipales, ya que de no hacerlo se corre el peligro de multas y clausura de las instalaciones.

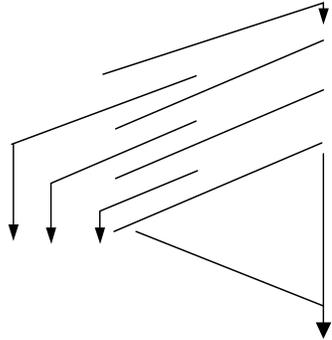
Finalmente un aspecto de fundamental importancia son las medidas de seguridad que, como toda instalación industrial debe uno de tomar en cuenta para evitar condiciones físicas y mecánicas no seguras que son causa de un 15% de los accidentes, ya que el otro 85% son producidos por distracción, negligencia o ignorancia de un riesgo y que son motivos ajenos del alcance del diseño de la planta.



**MARCA DEL EQUIPO**

CLIENTE: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION: \_\_\_\_\_  
 EST.NO.: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_  
 HECHO POR: \_\_\_\_\_



PISO SUPERIOR: \_\_\_\_\_ Sq.Cl.Apertura

$$\text{AREA} = \frac{\text{Alimentación} \quad \text{Sobre Tamaño} \quad \text{Thrus}}{A \quad x \quad B \quad x \quad C \quad x \quad D \quad x \quad E \quad x \quad F} = \frac{(T.P.H.) \quad (T.P.H.)}{(T.P.H.)} = \text{_____ Sq.Ft.}$$

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

$$D = \frac{1/2 \text{ Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \text{_____} = \text{_____} \%$$

SEGUNDO PISO: \_\_\_\_\_ Sq.Cl.Apertura

$$\text{AREA} = \frac{\text{Alimentación} \quad \text{Sobre Tamaño} \quad \text{Thrus}}{A \quad x \quad B \quad x \quad C \quad x \quad D \quad x \quad E \quad x \quad F} = \frac{(T.P.H.) \quad (T.P.H.)}{(T.P.H.)} = \text{_____ Sq.Ft.}$$

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

$$D = \frac{1/2 \text{ Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \text{_____} = \text{_____} \%$$

TERCER PISO: \_\_\_\_\_ Sq.Cl.Apertura

$$\text{AREA} = \frac{\text{Alimentación} \quad \text{Sobre Tamaño} \quad \text{Thrus}}{A \quad x \quad B \quad x \quad C \quad x \quad D \quad x \quad E \quad x \quad F} = \frac{(T.P.H.) \quad (T.P.H.)}{(T.P.H.)} = \text{_____ Sq.Ft.}$$

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

$$D = \frac{1/2 \text{ Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \text{_____} = \text{_____} \%$$

### Ejemplo 1.

Se tiene un banco de basalto de dureza media del cual se requiere obtener una producción de 100 ton/hr para la elaboración de mezcla asfáltica y, por ello se pide producto final de:

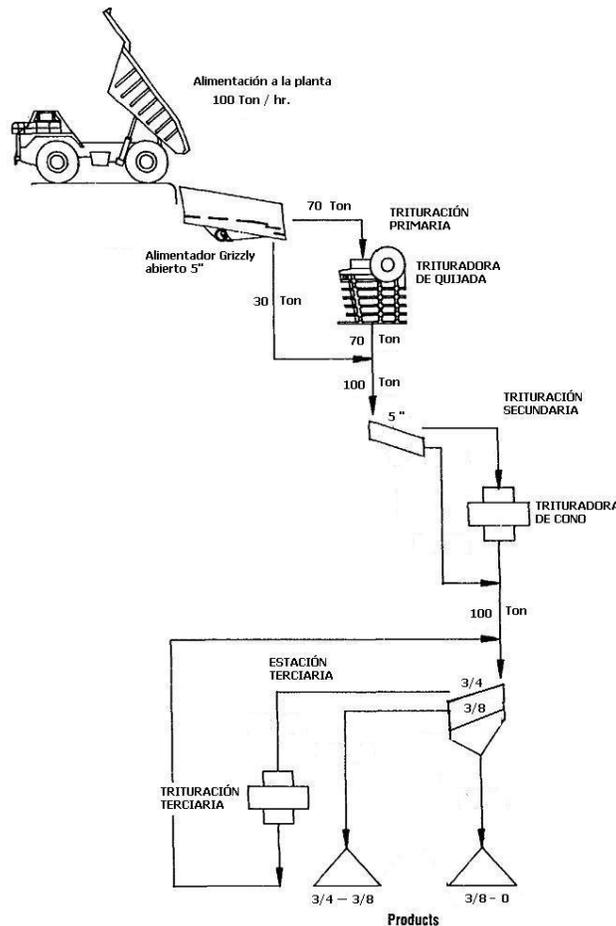
$$\begin{array}{l} 3/8'' - 3/4'' \\ 0 - 3/8'' \end{array}$$

El material es producto de una voladura y se alimentará con camiones a la planta de trituración, se ha realizado un análisis granulométrico de la voladura y se encontró lo siguiente:

$$\begin{array}{l} -18'' + 5'' = 70\% \\ -5'' + 1\ 1/2'' = 20\% \\ -1\ 1/2'' + 3/4'' = 5\% \\ -3/4'' + 3/8'' = 4\% \\ -3/8'' + 0 = 1\% \end{array}$$

### SOLUCIÓN.

De acuerdo a los datos que nos plantean hacemos un primer intento de diagrama de flujo de la planta para poder iniciar nuestro análisis y, de acuerdo a eso necesitamos seleccionar una trituradora primaria que nos de una producción de 70 ton/h



A continuación debemos de entrar a la tabla de capacidades de trituradoras de quijadas y, seleccionar una que sea de mayor tamaño que el tamaño máximo de material que es de 18" y

que nos de la producción tomando una apertura de salida que pueda ser acorde a la trituradora secundaria y por ello en un primer análisis seleccionamos 3” de salida y la trituradora más chica es una de 25x40, que tiene un rango de producción de 148 a 237 que satisface ampliamente la producción requerida.

Procedemos a obtener los porcentajes de la granulometría después de pasar por la trituradora primaria en la gráfica correspondiente y son:

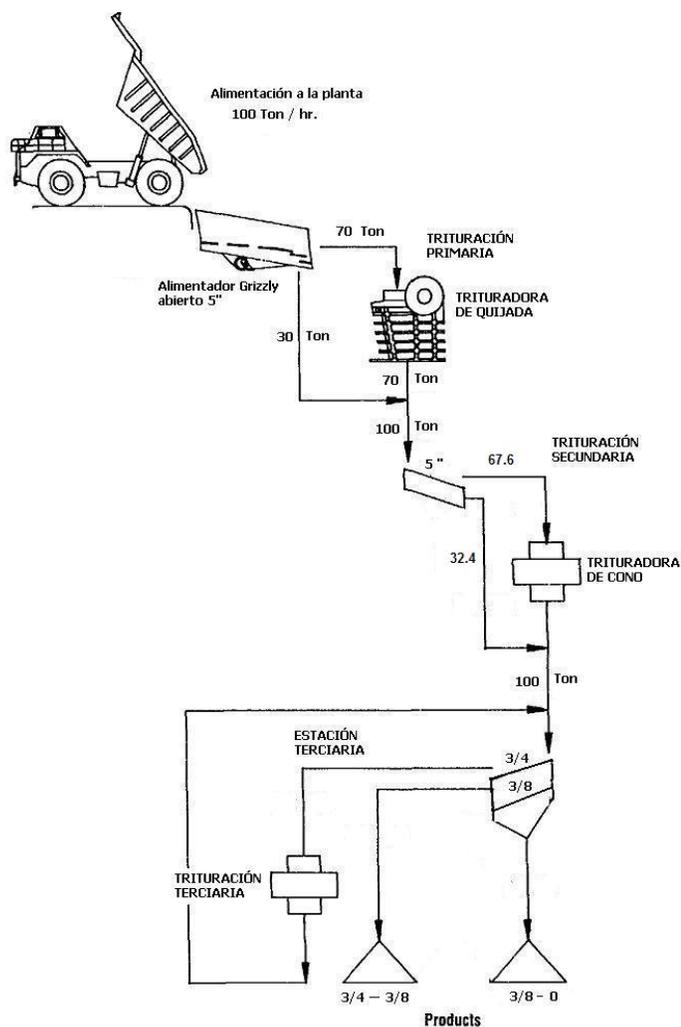
- 5” + 1 1/2” = 68%
- 1 1/2” + 3/4” = 16%
- 3/4” + 3/8” = 8%
- 3/8” + 0 = 10%

Con esto procedemos a tabularlo

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 100 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 3” 70 T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
	- 18 + 5	70	70	0												
- 5 + 1 1/2	20	20	68	47.60												
- 1 1/2 + 3/4	5	5	14	9.80												
- 3/4 + 3/8	4	4	8	5.60												
- 3/8 + 0	1	1	10	7.00												
total	100	100	100	70.00												

A continuación se suman los resultados de la segunda columna con los no triturados de la primera columna y tenemos la producción final al acabar la trituración primaria

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 100 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 3” 70 T.P.H.		Producción después de primaria T.P.H.		Trituradora secundaria T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
	- 18 + 5	70	70	0		0	0									
- 5 + 1 1/2	20	20	68	47.60	67.6	67.60										
- 1 1/2 + 3/4	5	5	14	9.80	14.8	14.80										
- 3/4 + 3/8	4	4	8	5.60	9.6	9.60										
- 3/8 + 0	1	1	10	7.00	8	8.00										
total	100	100	100	70.00		100.00										



A continuación dibujamos el proceso como se encuentra hasta este momento y observamos que por la trituradora secundaria pasaran 67.6 y para ello requerimos una trituradora giroesfera D del tipo 48S con una apertura de salida de 1/2", que tiene una producción de 82 ton/h con un elemento de desgaste de dureza media y cumple con la producción solicitada, y de acuerdo al producto de esa trituradora tenemos la siguiente granulometría:

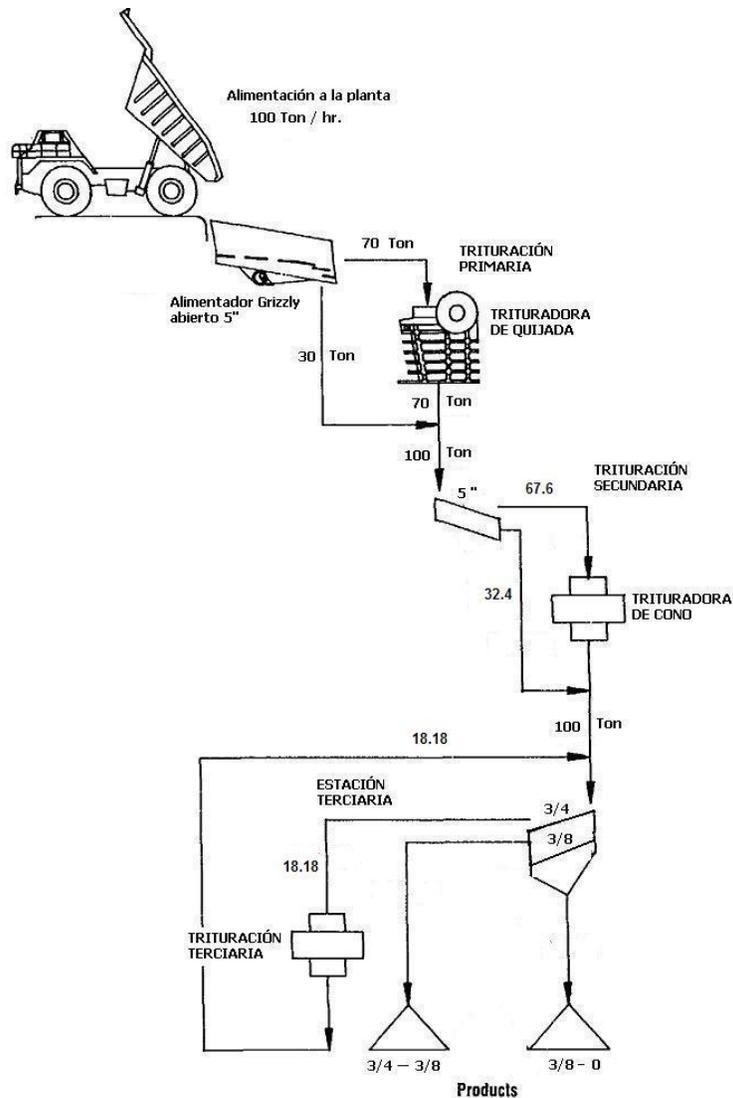
- 1" + 3/4" = 5%
- 3/4" + 3/8" = 35%
- 3/8" + 0 = 60%

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 100 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 3" 70 T.P.H.		Producción después de primaria T.P.H.		Trituradora secundaria 48S Salida 1/2" 67.6 T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
- 18 + 5	70	70	0	0	0	0	0	0								
- 5 + 1 1/2	20	20	68	47.60	67.6	67.60	0	0								
- 1 1/2 + 3/4	5	5	14	9.80	14.8	14.80	5	3.38								
- 3/4 + 3/8	4	4	8	5.60	9.6	9.60	35	23.66								
- 3/8 + 0	1	1	10	7.00	8	8.00	60	40.56								
total	100	100	100	70.00		100.00	100.00	67.60								

Ahora debemos sumar la producción de lo triturado de la columna 4 con lo no triturado de la columna 3

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 100 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 3" 70 T.P.H.		Producción después de primaria T.P.H.		Trituradora secundaria 48S Salida 1/2" 67.6 T.P.H.		Producción después de secundaria T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
	- 18 + 5	70	70	0	0	0	0	0	0	0	0					
- 5 + 1 1/2	20	20	68	47.60	67.6	67.60	0	0	0	0						
- 1 1/2 + 3/4	5	5	14	9.80	14.8	14.80	5	3.38		18.18						
- 3/4 + 3/8	4	4	8	5.60	9.6	9.60	35	23.66		33.26						
- 3/8 + 0	1	1	10	7.00	8	8.00	60	40.56		48.56						
total	100	100	100	70.00	100.00	100.00	67.60	0.00	100.00							

El proceso se encuentra en este momento de acuerdo al flujo de material que vemos a continuación.



Requerimos ahora una trituradora terciaria FC que nos procese 18.18 ton, para ello seleccionamos una girosfera D tipo 36FC con una abertura de salida de 1/4" que tiene una producción de 32 ton y que satisface ampliamente nuestros requerimientos con la granulometría siguiente

$$- 3/4'' + 3/8'' = 28\%$$

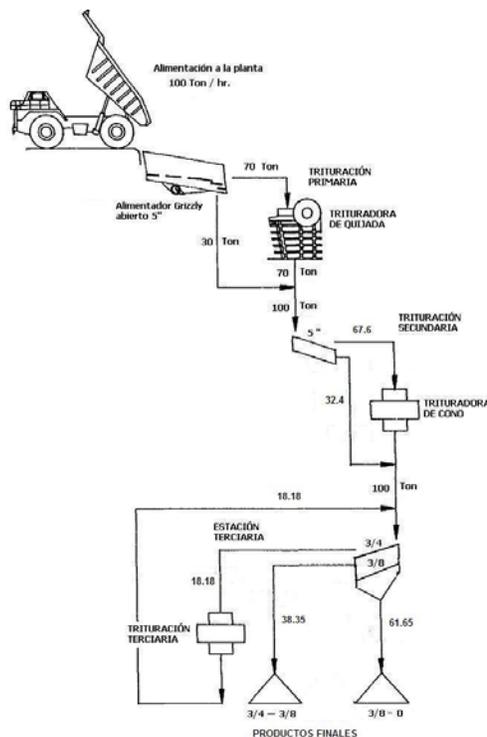
$$- 3/8'' + 0 = 72\%$$

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 100 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 3"		Producción después de primaria		Trituradora secundaria 48S Salida 1/2" 67.6 T.P.H.		Producción después de secundaria		Trituradora terciaria 36FC Salida 1/4" 18.18 T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
- 18 + 5	70	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
- 5 + 1 1/2	20	20	68	47.60	67.6	67.60	0	0	0	0	0	0	0			
- 1 1/2 + 3/4	5	5	14	9.80	14.8	14.80	5	3.38		18.18	0	0				
- 3/4 + 3/8	4	4	8	5.60	9.6	9.60	35	23.66		33.26	28	5.09				
- 3/8 + 0	1	1	10	7.00	8	8.00	60	40.56		48.56	72	13.09				
total	100	100	100	70.00		100.00	100.00	67.60	0.00	100.00	100.00	18.18				

El producto final se obtiene sumando el producto triturado de la sexta columna con el no triturado de la quinta

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 100 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 3"		Producción después de primaria		Trituradora secundaria 48S Salida 1/2" 67.6 T.P.H.		Producción después de secundaria		Trituradora terciaria 36FC Salida 1/4" 18.18 T.P.H.		Producción final		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
- 18 + 5	70	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 5 + 1 1/2	20	20	68	47.60	67.6	67.60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 1 1/2 + 3/4	5	5	14	9.80	14.8	14.80	5	3.38		18.18	0	0	0	0	0	
- 3/4 + 3/8	4	4	8	5.60	9.6	9.60	35	23.66		33.26	28	5.09	38.35	38.35		
- 3/8 + 0	1	1	10	7.00	8	8.00	60	40.56		48.56	72	13.09	61.65	61.65		
total	100	100	100	70.00		100.00	100.00	67.60	0.00	100.00	100.00	18.18	100.00	100.00		

A continuación el diagrama final definitivo

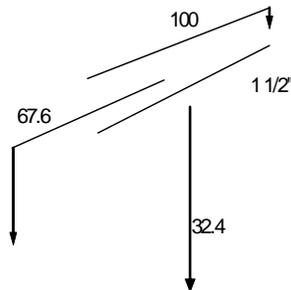


Debemos ahora diseñar las cribas y para ello procedemos para la criba de 1 1/2"

MARCA DEL EQUIPO

CLIENTE: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION: \_\_\_\_\_  
 EST.NO.: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_  
 HECHO POR: \_\_\_\_\_



PISO SUPERIOR: 20.64 Sq.Cl.Apertura

$$\text{AREA} = \frac{\text{Alimentación} \times \text{Sobre Tamaño} \times \text{Thrus}}{A \times B \times C \times D \times E \times F} = \frac{100 \times (T.P.H.) \times (T.P.H.) \times 67.6}{2.68 \times 0.82 \times 1.10 \times 0.65 \times 1} = \frac{32.4 \times (T.P.H.)}{2.68 \times 0.82 \times 1.10 \times 0.65 \times 1} = \frac{20.64}{1} \text{ Sq.Ft.}$$

$$B = \frac{\text{Sobre Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \frac{67.6}{100} = 0.68 \%$$

$$D = \frac{1/2 \text{ Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \frac{17.6}{100} = 0.172 \%$$

Para el factor A entramos con piedra triturada y la malla de 1 1/2" y se obtiene 2.68.

Para el factor B interpolamos entre 60 y 70% y obtenemos 0.82.

El factor C se obtiene con una eficiencia del 90% ya que no es económico cribar con el 100% de eficiencia y nos da un factor de 1.1.

El factor D se obtiene al interpolar entre el 10 y el 20%, obteniendo 0.65.

Para el factor E, como el cribado es vía seca el factor es 1 y, como se trata de un solo piso el factor F es también 1.

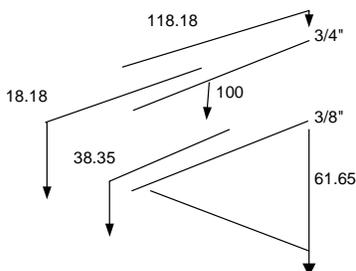
De acuerdo a lo anterior el área de cribado resulto 20.64, por ello es recomendable una criba de 3 x 8 ft.

De una forma similar se procede a calcular la torre de cribado siguiente.

MARCA DEL EQUIPO

CLIENTE: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION: \_\_\_\_\_  
 EST.NO.: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_  
 HECHO POR: \_\_\_\_\_



PISO SUPERIOR: \_\_\_\_\_ 37.17 \_\_\_\_\_ Sq.Cl.Apertura

$$\text{AREA} = \frac{\text{Alimentación} \quad \text{Sobre Tamaño} \quad \text{Thrus}}{A \quad x \quad B \quad x \quad C \quad x \quad D \quad x \quad E \quad x \quad F} = \frac{118.18 \quad (T.P.H.) \quad 18.18 \quad (T.P.H.)}{1.80 \times 1.03 \times 1.10 \times 1.32 \times 1 \times 1} = \frac{100 \quad (T.P.H.)}{1.80 \times 1.03 \times 1.10 \times 1.32 \times 1 \times 1} = \frac{37.17}{1} \text{ Sq.Ft.}$$

$$B = \frac{\text{Sobre Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \frac{18.18}{118.18} = \underline{0.15} \%$$

$$D = \frac{1/2 \text{ Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \frac{61.65}{118.18} = \underline{56.53} \%$$

SEGUNDO PISO: \_\_\_\_\_ 78.73 \_\_\_\_\_ Sq.Cl.Apertura

$$\text{AREA} = \frac{\text{Alimentación} \quad \text{Sobre Tamaño} \quad \text{Thrus}}{A \quad x \quad B \quad x \quad C \quad x \quad D \quad x \quad E \quad x \quad F} = \frac{100 \quad (T.P.H.) \quad 38.35 \quad (T.P.H.)}{1.19 \times 0.96 \times 1.10 \times 0.8 \times 1 \times 0.90} = \frac{71.64 \quad (T.P.H.)}{1.19 \times 0.96 \times 1.10 \times 0.8 \times 1 \times 0.90} = \frac{78.73}{1} \text{ Sq.Ft.}$$

$$B = \frac{\text{Sobre Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \frac{38.35}{100} = \underline{0.38} \%$$

$$D = \frac{1/2 \text{ Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \frac{30}{100} = \underline{0.3} \%$$

Como se puede observar de la tabla anterior debido a que el producto triturado es mucho en los finos requerimos mayor área de cribado en la de 3/8, por lo que la criba que vamos a seleccionar debe de ser al menos el tamaño de esa área de cribado y por ello seleccionamos una criba de 5 x 16 de dos pisos que aunque esta un poco sobrada es la que conseguiríamos en el mercado.

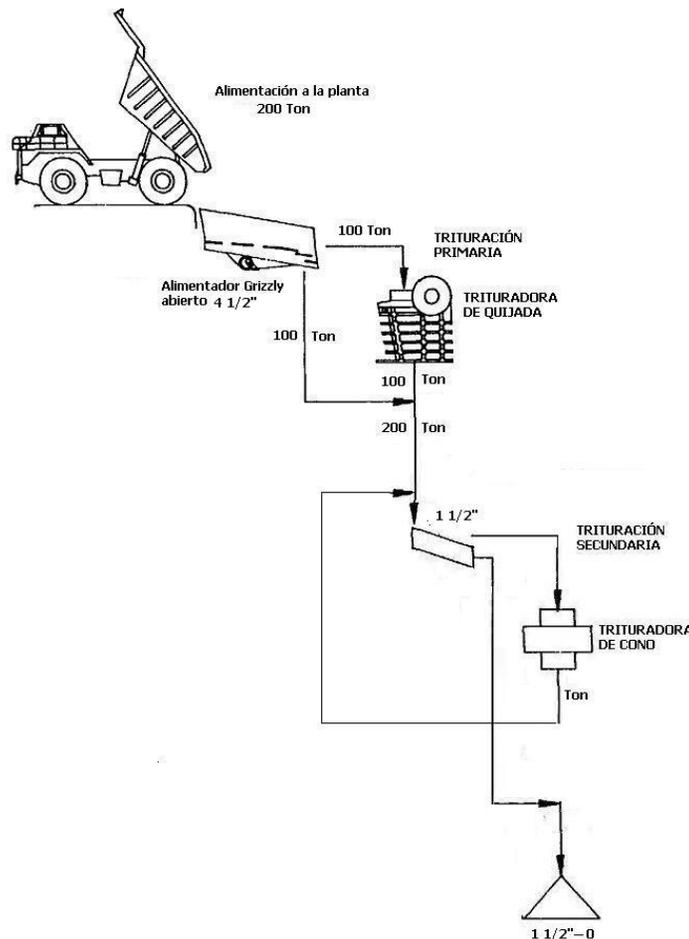
## Ejemplo 2.

Se tiene un banco de grava-arena andesítico limpio de dureza media, del cual se requiere obtener una producción de 200 ton/hr., el agregado de acuerdo a un análisis granulométrico se encuentra lo siguiente:

- $4\frac{1}{2}'' + 8'' = 50\%$
- $4\frac{1}{2}'' + 1\frac{1}{2}'' = 20\%$
- $1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' = 15\%$
- $\frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' = 10\%$
- $\frac{3}{8}'' + 0 = 5\%$

Se desea producir material de base de  $0 - 1\frac{1}{2}''$ , para la construcción de un camino. La alimentación a la planta se efectuara por camiones, y como se puede observar el tamaño máximo de la alimentación será de  $8''$ , se desea conocer el equipo de trituración más conveniente y su respectivo equipo de cribado.

En términos generales, en la etapa primaria podríamos reducir el material alrededor de  $4''$  por medio de una trituradora primaria. En la etapa secundaria, se reducirá el producto de la trituración primaria, a un tamaño máximo de  $1\frac{1}{2}''$ . Requeriríamos un equipo de cribado de un solo piso y un circuito cerrado de trituración. Para la alimentación sería muy conveniente poner un alimentador Grizzly con rejillas abiertas a  $4\frac{1}{2}''$  para reducir la cantidad que se alimenta a la trituradora primaria, por ello el diagrama de flujo sería.



La primera máquina que deberá seleccionarse es la quebradora primaria; siendo el alimentador seleccionado a continuación, de acuerdo con el ancho de la boca de la quebradora primaria.

Haciendo uso de las tablas de capacidades de las quebradoras de quijadas, que es el tipo de quebradora primaria utilizado en los trabajos de ingeniería civil, se ve que una quebradora de quijadas con boca de admisión de 25" x 40", además de admitir sin problemas la grava - arena de 8", tiene una capacidad entre 133 a 217 toneladas por hora (de acuerdo con la dureza del material), a una abertura de salida de 2 1/2". Suponemos que para el material de este caso, nos puede dar sin problema 100 toneladas por hora.

A continuación utilizando la curva granulométrica respectiva, vemos que nos da material con un tamaño máximo de 4 1/2", con el siguiente resultado granulométrico.

$$- 4 \frac{1}{2}'' + 1 \frac{1}{2}'' = 65\%$$

$$- 1 \frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' = 17\%$$

$$- \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' = 8\%$$

$$- \frac{3}{8}'' + 0 = 10\%$$

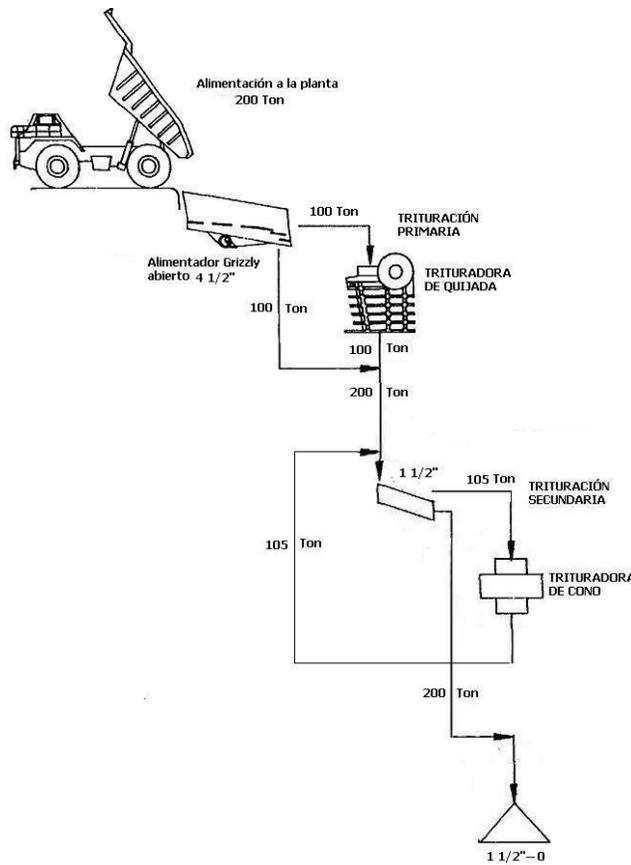
Después de la trituración primaria tenemos

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 200 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 2 1/2" 100 T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
- 8 + 4 1/2	50	100	0	0								
- 4 1/2 + 1 1/2	20	40	65	65.00								
- 1 1/2 + 3/4	15	30	17	17.00								
- 3/4 + 3/8	10	20	8	8.00								
- 3/8 + 0	5	10	10	10.00								
total	100	200	100	100.00								

Ahora debemos obtener el producto final que no trituramos de la primer columna con el producto que trituramos de la segunda columna.

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 200 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 2 1/2" 100 T.P.H.		Producción después de la Trituradora primaria T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
- 8 + 4 1/2	50	100	0	0	0	0								
- 4 1/2 + 1 1/2	20	40	65	65.00		105.00								
- 1 1/2 + 3/4	15	30	17	17.00		47.00								
- 3/4 + 3/8	10	20	8	8.00		28.00								
- 3/8 + 0	5	10	10	10.00		20.00								
total	100	200	100	100.00	0.00	200.00								

Entonces ahora nuestro diagrama de flujo es el siguiente.



La fracción de 1/2" a 4 1/2 ", requerirá trituración secundaria, para reducirla toda a material máximo de 1/2 ". Utilizando la tabla de producción respectiva, seleccionamos una trituradora secundaria de cono D tipo 46 S, la cual abierta a 1" en la salida, triturara las 105 toneladas por hora de material de 1/2 " - 4 1/2 ". esta trituradora da una producción de 170 ton/h., que cumple con los requerimientos anteriores.

Utilizando la curva granulométrica respectiva, se obtienen los resultados siguientes

- 1 1/2" + 3/4" = 58%
- 3/4" + 3/8" = 17%
- 3/8" + 0 = 25%

TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 200 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 2 1/2" 100 T.P.H.		Producción después de la Trituradora primaria T.P.H.		Secundaria 48S Salida 1" 105 T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
- 8 + 4 1/2	50	100	0	0	0	0	0	0						
- 4 1/2 + 1 1/2	20	40	65	65.00		105.00	0	0						
- 1 1/2 + 3/4	15	30	17	17.00		47.00	58	60.9						
- 3/4 + 3/8	10	20	8	8.00		28.00	17	17.85						
- 3/8 + 0	5	10	10	10.00		20.00	25	26.25						
total	100	200	100	100.00	0.00	200.00	100.00	105.00						

Ahora para obtener el producto final debemos sumar el no material de la columna tres, con el material triturado de la columna cuatro.

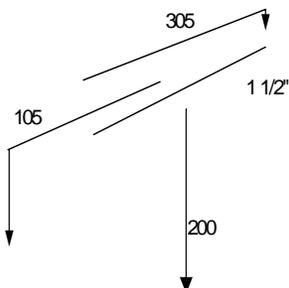
TAMAÑO DE LOS MATERIALES	Alimentación a la planta 200 T.P.H.		Primario 25x40 Salida 2 1/2" 100 T.P.H.		Producción después de la Trituradora primaria T.P.H.		Secundaria 48S Salida 1" 105 T.P.H.		Producto Final 200 T.P.H.		T.P.H.		T.P.H.	
	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS
- 8 + 4 1/2	50	100	0	0	0	0	0	0	0	0				
- 4 1/2 + 1 1/2	20	40	65	65.00		105.00	0	0	0	0				
- 1 1/2 + 3/4	15	30	17	17.00		47.00	58	60.9	53.95	107.90				
- 3/4 + 3/8	10	20	8	8.00		28.00	17	17.85	22.925	45.85				
- 3/8 + 0	5	10	10	10.00		20.00	25	26.25	23.125	46.25				
total	100	200	100	100.00	0.00	200.00	100.00	105.00	100.00	200.00				

Ahora procedemos al calculo de la criba de un solo piso, que requerimos a tamaño de 1 1/2"

#### MARCA DEL EQUIPO

CLIENTE: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION: \_\_\_\_\_  
 EST.NO.: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_  
 HECHO POR: \_\_\_\_\_



PISO SUPERIOR: \_\_\_\_\_ 41.54 \_\_\_\_\_ Sq.Cl.Apertura

$$\text{AREA} = \frac{\text{Alimentación} \times \text{Sobre Tamaño}}{\text{A} \times \text{B} \times \text{C} \times \text{D} \times \text{E} \times \text{F}} = \frac{200 \text{ (T.P.H.)} \times 105 \text{ (T.P.H.)}}{3.20 \times 0.89 \times 1.10 \times 0.73 \times 1} = \frac{95 \text{ (T.P.H.)}}{200} = 41.54 \text{ Sq.Ft.}$$

$$B = \frac{\text{Sobre Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \frac{105}{200} = 0.53 \%$$

$$D = \frac{1/2 \text{ Tamaño}}{\text{Alimentación}} = \frac{46.25}{200} = 0.2313 \%$$

La solución al problema de cribado es una criba de 4 x 12.

### Ejemplo 3.

En este ejemplo se desarrolla la producción de materiales que integra varios conceptos para la construcción de una camino, como es la obtención de la sub-base, la base, la carpeta y el sello, con los datos enlistados a continuación.

#### 1. Naturaleza Geológica de la Roca.

Para la obtención de los materiales pétreos se disponen de tres bancos de roca, asignados por el cliente; Banco N° 2 para Sub-base hidráulica, Banco N° 1 para Base hidráulica y Banco N° 3 para Carpeta asfáltica y Sello 3E.

Los datos geológicos y físicos, proporcionados por el Laboratorio de Control de calidad, de los tres bancos son:

Roca	Riolita Fracturada
Factor de abundamiento	1.35 m <sup>3</sup> -s/m <sup>3</sup> -c
Peso volumétrico suelto	1.60 ton/m <sup>3</sup>
Contracción lineal	
Banco N° 2	4.5 %
Banco N° 1	3.5 %
Banco N°	34.5%

La contracción lineal en los bancos 1 y 2, satisfacen las especificaciones técnicas de los conceptos a obtener en ellos, no así el banco 3 y ésta se procura abatir en el proceso de trituración y clasificación.

La geología y el estado físico de los bancos, determinan la necesidad de un proceso de **TRITURACION TOTAL**.

#### 2. Granulometría media del material en greña.

Con la asesoría del proveedor de explosivos, se determinan las condiciones de explotación de cada uno de los bancos, mismas que proporcionan una fragmentación preliminar de la roca. (Material en greña)

TAMAÑOS			Banco N° 2	Banco N° 1	Banco N° 3
			TMA 34"	TMA 28"	TMA 28"
			% retenido	% retenido	% retenido
+	-	8"	55	45	40
8"	-	4"	20	23	16
4"	-	3"	7	6	5
3"	-	1 ½"	8	11	13
1 ½"	-	¾"	5	7	11
¾"	-	0	5	8	15
Total			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

### 3. Especificaciones particulares (T.M.A.)

La construcción de 50 kilómetros de autopista con dos cuerpos paralelos, requiere la producción de agregados pétreos para las capas de pavimento flexible: Sub-base hidráulica, Base hidráulica, Carpeta asfáltica y Sello 3 E.

La Sub-base hidráulica debe obtenerse con un tamaño máximo de 1 ½" (39mm); la base hidráulica de 1 ½" (39mm), la carpeta asfáltica de ¾" (19mm) y el sello de ⅜" (9.5 mm), independientemente de la granulometría, las especificaciones técnicas marcan otros parámetros que son necesarios conocer tales como contracción lineal, valor relativo soporte, equivalente de arena y desgaste. En la Tabla de Parámetros de calidad de materiales para pavimentación, se muestran las especificaciones para cada producto.

### 4. Volúmenes de proyecto.

La sección estructural y la longitud de proyecto determinan los siguientes volúmenes compactos para cada concepto.

Sub-base hidráulica 1 1/2"	292,000	m <sup>3</sup> -compactos
Base hidráulica 1 1/2"	220,000	
Carpeta asfáltica 3/4"	87,500	
Sello 3E	12,600	
Total	621,000	m <sup>3</sup> -compactos

Se considera 10 cm. de cuñas de sobrancho en la sub-base y base hidráulica.

#### 4.1 Tiempo de ejecución.

El cliente requiere la terminación y puesta en operación de la autopista en 13 meses calendario.

#### Solución.

En este caso se procederá de una forma diferente a la solución de los problemas 1 y 2, dado lo complejo de su planteamiento y aunque, se utilizarán las mismas tablas y gráficas, se ha desarrollado este problema con un procedimiento diferente.

El proceso de trituración de los materiales pétreos para pavimentación se programa de acuerdo a este requerimiento, contemplando 10 meses para sub-base y base hidráulica, 6 meses para carpeta asfáltica, y 3 meses para sello, es decir se pretende concluir el proceso de trituración 3 meses previos a la fecha contractual de puesta en operación.

Los fabricantes de equipos de trituración y clasificación, por norma generalizada indican las capacidades nominales en unidades inglesas, toneladas cortas, (2,000 lb.), debido a lo anterior, y facilidad de cálculo, se determinan los volúmenes de proyecto en toneladas cortas

CONCEPTO	VOLUMEN DE PROYECTO			ton-cortas
	m <sup>3</sup> -compactos	m <sup>3</sup> -suelos	ton-métricas	
Sub-Base	292,000	394,200	630,720	695,390
Base	220,000	297,000	475,200	523,925
Carpeta	87,500	118,125	189,000	208,380
Sello	12,600	17,010	27,215	30,010
Total	612,100	826,335	1,322,135	1,457,705

### 5. Características del equipo disponible.

Para la selección del equipo básico de trituración y clasificación de cada una de las plantas, la información técnica actualizada proporcionada por los fabricantes es indispensable.

La empresa constructora cuenta con un parque básico de maquinaria de trituración y clasificación con los siguientes grupos móviles:

<b>PRIMARIOS DE QUIJADAS</b>	<b>36" x 48" y 30" x 42"</b>
<b>SECUNDARIOS DE CONOS</b>	<b>489-S, 44-S y 52-S</b>
<b>TERCIARIOS DE CONOS</b>	<b>48-FC, 44-FC y 52-FC</b>

El grupo móvil de trituración primaria integra a un conjunto: alimentador tipo grizzly, trituradora de quijadas, y la banda de evacuación.

Los grupos móviles de trituración secundaria y terciaria a circuito cerrado integran en un mismo conjunto: criba vibratoria horizontal o inclinada, banda de alimentación, la banda de retorno y en algunos casos la banda de evacuación, lo que reduce los tiempos y costos de transportación y montaje. Para operar estos equipos a circuito abierto, únicamente se modifica el sentido del flujo en el canalón de descarga de la banda de retorno.

### RENDIMIENTOS HORARIOS MÍNIMOS NECESARIOS.

Los volúmenes de proyecto, programa de obra y condiciones contractuales, determinan la instalación, en cada banco de préstamo asignado de una o mas plantas de trituración, suficientes para satisfacer los programas mensuales y totales de cada-producto final.

**Condiciones de operación.** La gerencia del proyecto determina trabajar. dos turnos diarios de 8 horas cada uno, resultando 400 horas/equipo disponibles por mes.

$$25 \text{ días/mes} \times 16 \text{ horas/día} = 400 \text{ horas/mes}$$

### Factores de Corrección

Equipo	90%
Mantenimiento	<u>90%</u>
Total	81 %

### Horas mensuales efectivas programadas

$$400\text{hrs} / \text{mes} * 0.81 = 324\text{hrs} / \text{mes}$$

Por otra parte, otros factores de operación también afectan al rendimiento, este factor sirve para poder utilizar los catálogos, ya que las condiciones de operación varían y en la realidad no son las mismas que las que utilizan los fabricantes, ya que éstos consideran factores óptimos para la elaboración de éstos.

<i>Factores de Operación</i>	
Alimentación	90%
Operación	88%
Clima	<u>85%</u>
Total	67%

Ahora bien, tomando en cuenta estos factores, la corrección se realizará multiplicándola por:

$$0.81 * 0.67 = .5427$$

Entonces, se tienen, **horas mensuales efectivas programadas:**

$$400 \text{ horas/mes} \times 0.5427 = 217 \text{ horas/mes}$$

equivalente a 9 horas efectivas por día de trabajo.

Los volúmenes de proyecto y las horas efectivas programadas mensualmente, determinan los rendimientos horarios necesarios de cada planta para satisfacer el programa general del proyecto.

### Sub-base hidráulica

$$\frac{695,390\text{ton} - c}{(10\text{mes}) * (217\text{hr})} = 320.45\text{ton} - c / \text{hr} = 320\text{ton} - c / \text{hr}$$

### Base Hidráulica

$$\frac{523,925\text{ton} - c}{(10\text{mes}) * (217\text{hr})} = 241.2\text{ton} - c / \text{hr} = 241\text{ton} - c / \text{hr}$$

### Carpeta Asfáltica

$$\frac{208,380 \text{ ton} - c}{(6\text{mes}) * (217 \text{ .hr})} = 159.89 \text{ ton} - c / \text{hr} = 160 \text{ ton} - c / \text{hr}$$

### Sello 3 E

$$\frac{30,010\text{ton} - c}{(3\text{mes}) * (217\text{hr})} = 46.05\text{ton} - c / \text{hr} = 46\text{ton} - c / \text{hr}$$

Los rendimientos horarios obtenidos, son inversamente afectados por los factores de corrección por condiciones propias de la operación:

Así, el rendimiento mínimo de diseño, para cada concepto será:

Sub-base hidráulica	320	Ton-cortas
Base hidráulica	240	Ton-cortas
Carpeta asfáltica	160	Ton-cortas
Sello 3 E	46	Ton-cortas

### Consideraciones en la selección del equipo.

Para hacer mas eficientes las plantas de trituración, independientemente del equipo seleccionado, es recomendable la utilización del almacén regulador de gran capacidad o tolva reguladora, que alimente a la etapa secundaria y/o terciaria, según los requerimientos de capacidad nominal del conjunto (criba vibratoria o trituradora), de tal manera. que se tenga la posibilidad de absorber diferencias en las condiciones de operación y tiempos muertos de la planta por reparación y/o mantenimiento de los equipos.

Para el cálculo de áreas de cribado, se consideran: utilización de varios pisos de cribado, logrando eficientar la criba vibratoria; factores de capacidad específica, granulometría, etc. actualizados en 1993; proceso de clasificación por vía seca.

Para seleccionar la criba vibratoria se toma en cuenta la alimentación máxima recomendada por el fabricante.

<b>CAPACIDAD MAXIMA DE ALIMENTACION</b>			
<b>(TONELADAS CORTAS POR HORA)</b>			
<b>ANCHO DE CRIBA (ft)</b>	<b>VIBRO</b>	<b>SPECMAKER</b>	<b>HORIZONTAL</b>
5	500	450	500
6	650	550	650
7	800	700	
8	950 - 1200	800	

## SELECCION DE EQUIPOS DE TRITURACION Y CLASIFICACION

### SUB-BASE HIDRAULICA (Banco N° 2)

#### Etapa Primaria

Debido a que el tamaño máximo de fragmentación es de 34", como primera instancia, el equipo primario debe admitir este tamaño de roca, siendo seleccionado una trituradora de quijadas modelo 36"x 48".

#### Condiciones de operación del equipo

Alimentador Grizzly	Precibado a 4"
Sobretamaño a 4"	75% Granulometría gruesa
Abertura de descarga de la trituradora de quijadas	4"
Capacidad de la trituradora de quijadas 36" x 48" abierta a 4"	290 – 435 ton/h
Capacidad nominal	310 ton
Tamaño máximo con abertura de 4"	7"

La capacidad nominal, las condiciones de operación propuestas para el equipo de primario y la granulometría media, determinan la alimentación máxima a la planta:

$$\frac{310 \text{ ton} - c / \text{hr}}{0.75} = 413.33 \text{ ton} - c / \text{hr}$$

Así que la alimentación inicial a la planta será de 413 toneladas por hora que representan un 95% del rendimiento de diseño máximo de la trituradora.

De acuerdo a las condiciones de operación en esta etapa, a la trituradora de quijadas se alimentan 310 ton., y las restantes 103 ton., son precibadas por el alimentador grizzly e incorporadas en la banda de evacuación al producto del equipo primario.

Tamaño de los materiales	Trituradora de Quijadas 36" x 48" a 4" (310 ton/h)		De la greña Grizzly (413.33ton/h)		
	% que pasa	% retenido	Ton/h	%	Ton/h
7" – 3"	100 – 49	51	158	7	29
3" – 1 ½"	49 – 21	28	87	8	33
1 ½" - 0	21 – 0	21	65	10	41
		<b>100 %</b>	<b>310 ton/h</b>		<b>103 ton/h</b>

A una abertura de descarga de 4", la trituradora de quijadas reduce el tamaño máximo de alimentación de 34", a un tamaño máximo de 7", resultando un índice de reducción, "I<sub>r</sub>", de 4.86, menor al parámetro establecido para este equipo. (ver capítulo II)

$$I_r = \frac{34''}{7''} = 4.86 < 7$$

El resumen de producción de la etapa primaria determina, la necesidad de una segunda etapa de trituración, para reducir 307 ton. de sobretamaño a 1½” y obtener así el tamaño máximo especificado para este producto.

### **Etapa Secundaria (Circuito cerrado).**

Previo a la etapa secundaria de trituración, el material es depositado en el almacén regulador o pila de almacenaje, para posteriormente alimentar a la criba vibratoria, con el propósito de clasificar, regular la alimentación al equipo secundario y efectuar el circuito cerrado con esta última máquina, lo que garantiza un material del tamaño máximo deseado.

El equipo secundario debe admitir en su cámara de trituración un material cuyo tamaño máximo es del orden de 7” y capacidad nominal igual o mayor a los requerimientos.

Los equipos secundarios de cono con una abertura mínima de descarga de 1” producen un material de tamaño máximo de 1½”, por lo que una tercera etapa de trituración no es necesaria, por otro lado el “I<sub>r</sub>” también es aceptable.

$$I_r = \frac{7''}{1.50''} = 4.67 < 6$$

Los secundarios hidráulicos modelos 44-S y 52-S, con cámara extra gruesa y abertura de descarga mínima de 1”, presentan una capacidad nominal de 265 y 330 ton/h. y admiten en su cámara de trituración piedra del orden de 7” y 8<sup>1</sup>/<sub>8</sub>”, respectivamente.

Los grupos móviles de trituración secundarios 44-S y 52-S, presentan como equipo básico una criba vibratoria modelos 6' x 16' y 6' x 20', respectivamente.

Para el cálculo de áreas de cribado se considera la utilización de dos pisos de cribado, con malla cuadrada de alambre y abertura libre de 3” en el primer piso, y 1 ½” en el segundo.

### **Grupo móvil secundario modelo 52-S.**

El balance granulométrico, determina, que en la segunda etapa de trituración, como se muestra en el diagrama de flujo, se procesaran las 413 ton; 307 ton. en el secundario y 106 ton., se clasifican en la criba vibratoria. Este secundario presenta una eficiencia de trabajo del 93% con respecto a su capacidad nominal.

El diagrama de flujo a circuito cerrado, determina una alimentación total a la criba de 720 ton. y el cálculo de áreas de cribado determina que se requieren 70 ft<sup>2</sup> en el primer piso y 117 ft<sup>2</sup> en el segundo, por lo que la criba vibratoria horizontal 6' x 16' con 96 ft<sup>2</sup> y la criba de 6' x 20' con 120 ft<sup>2</sup> disponibles satisface, la primera con holgura y la segunda en el límite estos requerimientos.

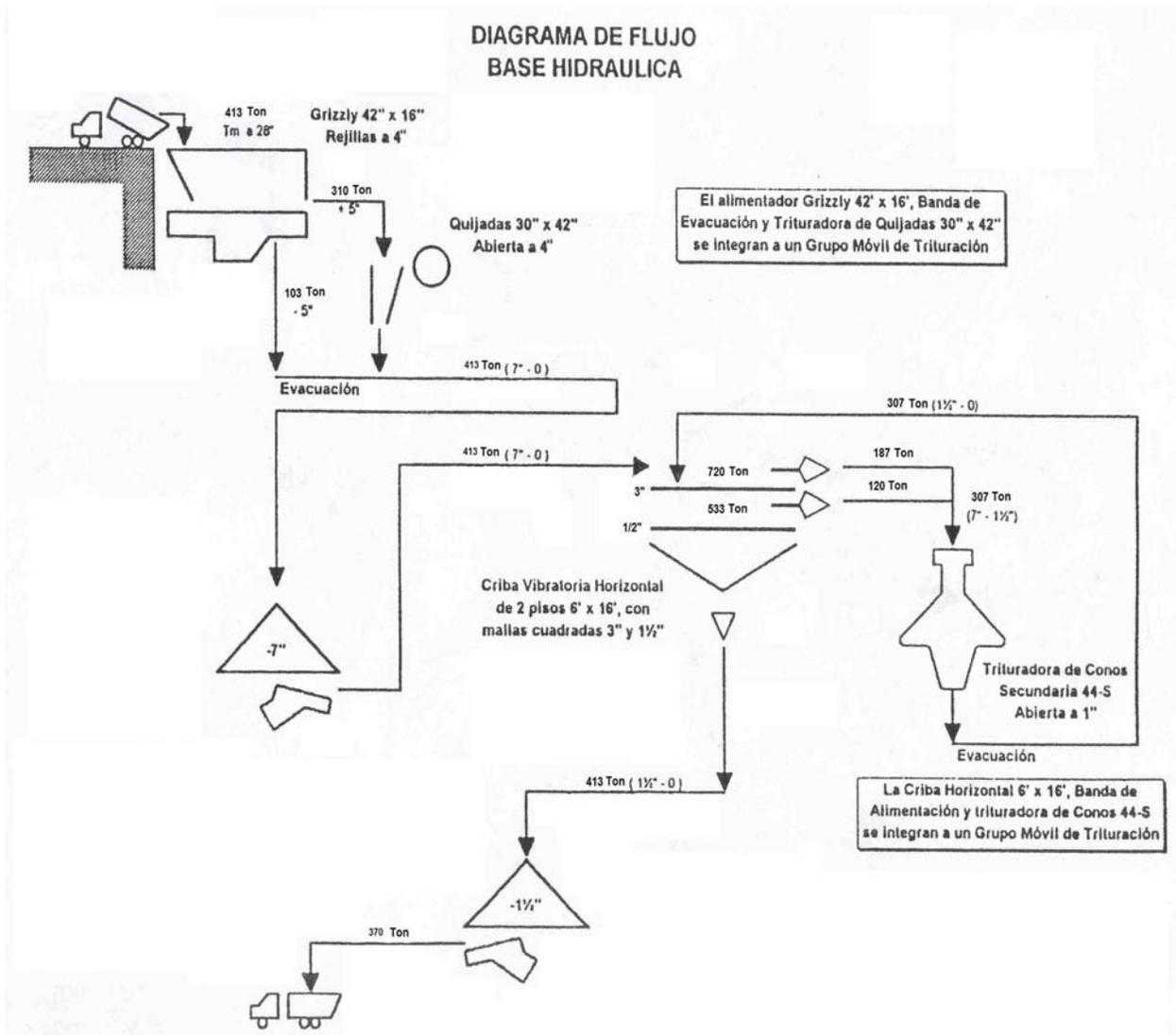
Por lo tanto la producción estimada con esta planta es de 413 ton/hr., es decir igual a la alimentación inicial a la planta. En este caso particular, el almacén regulador presenta la ventaja de poder absorber diferencias en las condiciones de operación o reparaciones a cualquiera de los equipos que componen la planta.

El programa de obra se ve sensiblemente mejorado, al procesar el volumen total de sub base hidráulica en un tiempo máximo de 8 meses.

$$\frac{695,390 \text{ ton} - c}{(413 \text{ ton} - c / \text{hr}) * (0.67) * (324 \text{ hr} / \text{mes})} = 7.75 \text{ meses} = 8 \text{ meses}$$

Por producción es seleccionado como equipo secundario al equipo móvil 52S, con criba horizontal de 6' x 20'.

El equipo 44-S, al contar con un área de cribado menor de 96 ft<sup>2</sup>, no sería capaz de manejar esta misma producción, así que sólo sería capaz de manejar una producción menor y por tanto se selecciona el equipo 52-S con criba horizontal de 6' x 20'.



## TABLAS DE CALCULO

### CALCULO DEL AREA DE CRIBADO SECUNDARIO SUB BASE HIDARULICA

Condiciones:									
Malla. Cuadrada de 3"	4.17	"A"	Alimentación	720.00	ton				
Primer Piso	1.00	"F"	Sobretamaño	187.00	ton				
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	413.00	ton				
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	68.50					
Calculo de Factores Telsmith									
B	=	$\frac{187}{720}$	=	26%	por lo tanto	B	=	0.98	
D	=	$\frac{413}{720}$	=	57%	por lo tanto	D	=	1.35	
Aa	=	$\frac{68.50}{50.00}$	=	137%	por lo tanto	G	=	1.37	
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca									
A	=	$\frac{720 - 187}{4.17 \cdot 0.98 \cdot 1.00 \cdot 1.35 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.37}$	=	$\frac{533}{7.57}$	=	70.4	ft <sup>2</sup>		
		A	B	C	D	E	F	G	
% respecto al área disponible					59%				

Condiciones:									
Malla. Cuadrada de 1 1/2"	3.04	"A"	Alimentación	533.00	ton				
Primer Piso	0.90	"F"	Sobretamaño	120.00	ton				
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	214.00	ton				
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	64.00					
Calculo de Factores Telsmith									
B	=	$\frac{120.00}{533}$	=	22%	por lo tanto	B	=	1.01	
D	=	$\frac{214.00}{533}$	=	40%	por lo tanto	D	=	1.00	
Aa	=	$\frac{64.00}{50.00}$	=	128%	por lo tanto	G	=	1.28	
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca									
A	=	$\frac{533.00 - 120.00}{3.04 \cdot 1.01 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.90 \cdot 1.28}$	=	$\frac{413.00}{3.53}$	=	117	ft <sup>2</sup>		
		A	B	C	D	E	F	G	
% respecto al área disponible					97%				

## **BASE HIDRÁULICA (Banco N° 1)**

### **Etapa Primaria**

El tamaño máximo en la fragmentación es de 28", siendo seleccionada una trituradora de quijadas modelo 30" x 42" ya que admite libremente este tamaño de roca.

#### **Condiciones de operación del equipo**

Alimentador Grizzly	Precibado a 4"
Sobretamaño a 4"	68% Granulometría media
Abertura de descarga de la trituradora de quijadas	4"
Capacidad de la trituradora de quijadas 30" x 42" abierta a 4"	197 - 319 ton/h
Capacidad nominal	220 ton/h
Tamaño máximo con apertura de 4"	7"

La capacidad nominal, las condiciones de operación propuestas y la granulometría media del material en greña, determinan la alimentación inicial a la planta:

$$\frac{220 \text{ ton} - c / \text{hr}}{0.68} = 324 \text{ ton} - c / \text{hr}$$

Así que la alimentación inicial a la planta será de 324 ton/hora. de alimentación inicial a la planta.

De acuerdo a las condiciones de operación propuestas en esta etapa, a la trituradora de quijadas se. alimentan 220 ton y las 104 ton restantes son precibadas en el alimentador grizzly, e incorporadas por la banda de evacuación al producto del equipo primario.

Tamaño de los materiales	Trituradora de Quijadas 30" x 42" a 4" (220 ton/h)			De la greña Grizzly (324ton/h)	
	% que pasa	% retenido	Ton/h	%	Ton/h
7" - 3"	100 - 49	51	112.2	6	19.4
3" - 1 1/2"	49 - 21	28	35.6	11	35.6
1 1/2" - 0	21 - 0	21	48.5	15	48.5
		<b>100 %</b>	<b>220 ton/h</b>		<b>103.5 ton/h</b>

A una abertura de descarga de 4", la trituradora de quijadas reduce el tamaño máximo de alimentación de 28" a un tamaño máximo de 7", resultando un índice de reducción igual a 4, menor al parámetro de 7 establecido para estos equipos.

Como en el caso de la sub-base hidráulica, únicamente se requiere una segunda etapa de trituración a circuito cerrado, con el propósito de reducir las 324 ton. de sobretamaño a 1 1/2", a los límites especificados.

### **Etapa Secundaria (Circuito Cerrado)**

#### **Grupo móvil secundario 44-S**

Las condiciones de operación de los equipos propuestos son similares a los descritos en la sub-base hidráulica.

El balance granulométrico determina, que en la segunda etapa de trituración, se procesan como mínimo 324 ton/hora.

Por capacidad de área de cribado disponible en la criba vibratoria 6' x 16', del almacén regulador, se alimentan a la etapa secundaria 324 ton; 229 ton en el equipo secundario y 95 ton se clasifican en la criba vibratoria. Este secundario presenta una eficiencia de trabajo del 86% con respecto a su capacidad nominal.

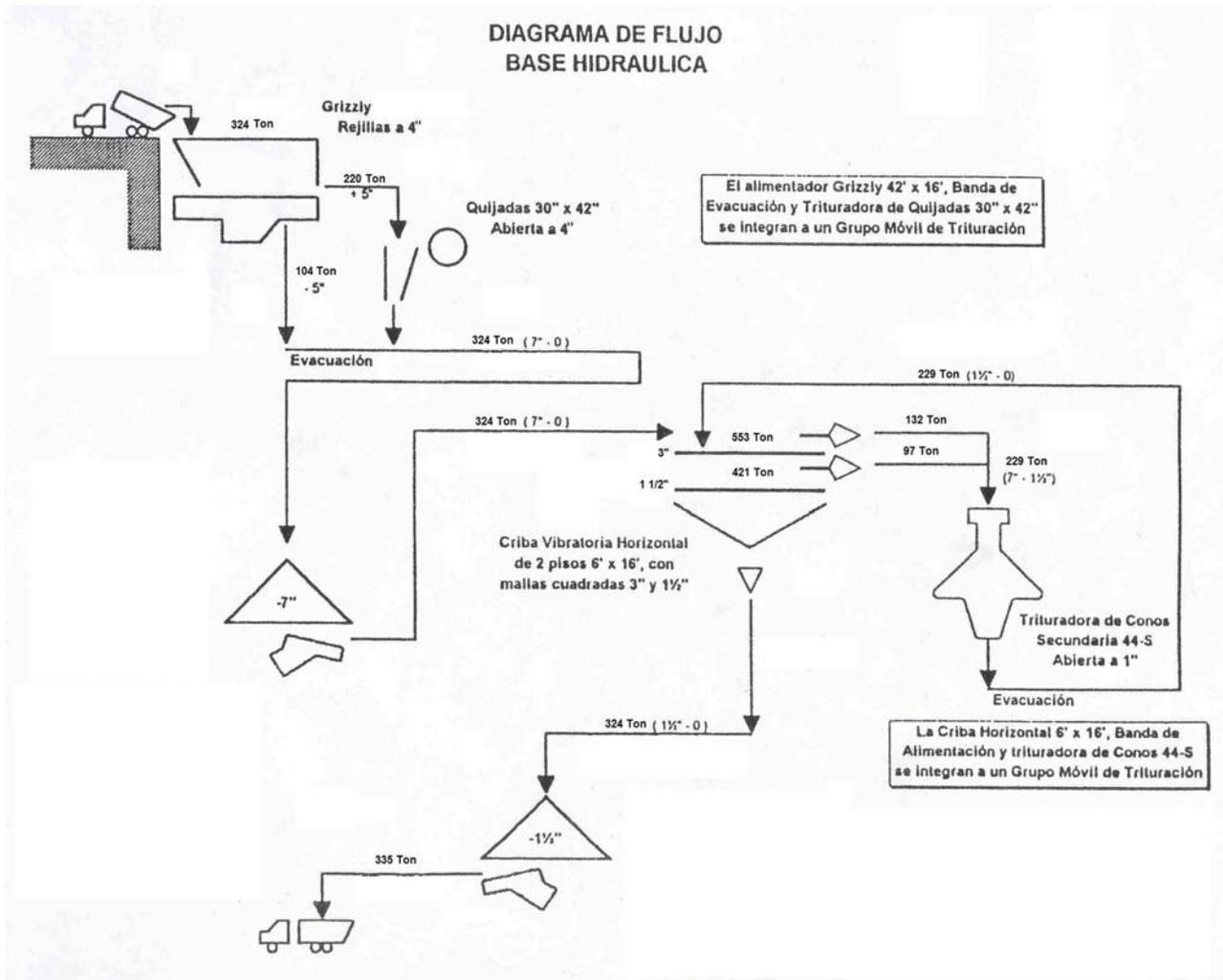
El diagrama de flujo a circuito cerrado, determina una alimentación total a la criba de 553 ton. El cálculo de áreas de cribado determina, que en el primer piso se requieren 54 ft<sup>2</sup> y en el segundo 93 ft<sup>2</sup>, resultando que la criba 6' x 16', con 96 ft<sup>2</sup> disponibles, satisface en el limite estos requerimientos.

Por lo tanto la producción estimada con este equipo es de 324 ton/hr.

El programa de obra, se ve substancialmente mejorado al procesar el volumen total de base hidráulica en un tiempo de ejecución máximo de 7.20 meses, es decir 39% menor al tiempo programado. Debido a lo anterior, no se analiza una segunda alternativa.

$$\frac{523,925 \text{ ton} - c / \text{mes}}{(324 \text{ ton}) * (0.67) * (324 \text{ hr} / \text{mes})} = 7.45 \text{ meses}$$

Por producción nominal, es seleccionado como equipo secundario el grupo móvil 44-S, con criba vibratoria modelo 6' x 16'.



## TABLAS DE CALCULO

### CALCULO DEL AREA DE CRIBADO SECUNDARIO BASE HIDARULICA

Condiciones:									
Malla. Cuadrada de 3"	4.17	"A"	Alimentación	552.00	ton				
Primer Piso	1.00	"F"	Sobretamaño	131.00	ton				
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	324.00	ton				
Criba 6' x 16'	96.00		Area Abierta	68.50					
Calculo de Factores Telsmith									
B	$= \frac{132}{552} = 24\%$	por lo tanto	B	$= 0.99$					
D	$= \frac{324}{552} = 59\%$	por lo tanto	D	$= 1.37$					
Aa	$= \frac{68.50}{50.00} = 137\%$	por lo tanto	G	$= 1.37$					
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca									
A	$= \frac{552.00 - 131.00}{4.17 \cdot 0.99 \cdot 1.00 \cdot 1.37 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.37} = \frac{420.00}{7.81} = 54 \text{ ft}^2$								
	A	B	C	D	E	F	G		
% respecto al área disponible 59%									

Condiciones:									
Malla. Cuadrada de 1 1/2"	3.04	"A"	Alimentación	421.00	ton				
Primer Piso	0.90	"F"	Sobretamaño	97.00	ton				
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	167.00	ton				
Criba 6' x 16'	96.00		Area Abierta	64.00					
Calculo de Factores Telsmith									
B	$= \frac{97.00}{421} = 23\%$	por lo tanto	B	$= 1.001$					
D	$= \frac{167.00}{421} = 40\%$	por lo tanto	D	$= 1.00$					
Aa	$= \frac{64.00}{50.00} = 128\%$	por lo tanto	G	$= 1.28$					
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca									
A	$= \frac{421.00 - 97.00}{3.04 \cdot 1.001 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.90 \cdot 1.28} = \frac{324.00}{3.5} = 93 \text{ ft}^2$								
	A	B	C	D	E	F	G		
% respecto al área disponible 97%									

## **CARPETA ASFALTICA (Banco N° 3)**

### **Etapa primaria**

El tamaño máximo estimado en la fragmentación es de 28", lo que determina como primera instancia, como en el caso anterior, una trituradora de quijadas 30" x 42".

Las condiciones de operación propuestas para esta etapa son similares a las descritas en la etapa primaria para la obtención de base hidráulica.

### **Condiciones de operación del equipo**

Alimentador grizzly	Precibado a 4"
Sobretamaño a 4"	56% Granulometría fina
Abertura de descarga de la trituradora de quijadas	4"
Capacidad nominal	240 ton.
Tamaño máximo con abertura de 4"	7"

La capacidad nominal, las condiciones de operación propuestas y la granulometría media del material, determinan una alimentación inicial de 380 ton/hr a la planta.

$$\frac{240 \text{ ton} - c / \text{hr}}{0.56} = 429 \text{ ton} - c / \text{hr}$$

De acuerdo a las condiciones de operación propuestas en esta etapa, a la trituradora de quijadas se alimentan 240 ton, 100% con respecto a su capacidad nominal y las 189 ton restantes son precibadas por el alimentador grizzly e incorporadas al producto de la etapa primaria en la banda. de . evacuación.

Tamaño de los materiales	Trituradora de Quijadas 30" x 42" a 4" (240 ton/h)			De la greña Grizzly (429ton/h)	
	% que pasa	% retenido	Ton/h	%	Ton/h
7" – 3"	100 – 49	51	122.4	5	21.4
3" – 1 ½"	49 – 21	28	67.2	13	55.7
1 ½" - 0	21 – 0	21	50.4	26	111.4
		<b>100 %</b>	<b>220 ton/h</b>		<b>188.6 ton/h</b>

Al no variar las condiciones de operación, el índice de reducción, "I<sub>r</sub>", se mantiene en un valor aceptable de 4.

El resumen de la etapa primera de trituración determina que serán necesarias dos etapas de trituración subsecuentes para reducir 267 ton de sobretamaño a ¾" a tamaños especificados. En la segunda etapa se reducen 168 ton de sobretamaño a 1½" y en la tercera y última etapa el sobretamaño de ¾", procedente de la etapa secundaria.

### **Etapa Secundaria (Circuito abierto)**

Con el fin de garantizar un material de carpeta asfáltica con contracción lineal máximo de 3%, en esta etapa se propone obtener material con tamaño máximo de 1½" , con el propósito de eliminar la contaminación del material en greña y alimentar a la etapa terciaria, de material limpio y triturado.

Con el propósito de clasificar el material y regular la alimentación al secundario; a la criba vibratoria se le instalan mallas cuadradas de alambre y abertura libre de 3" y de 1½" en el primer y segundo piso respectivamente.

Con el fin de aprovechar la capacidad del equipo de trituración la criba vibratoria, alimenta al equipo secundario con el sobretamaño de 3", producto de la etapa primaria y 20% del material intermedio de 3" - 1 ½ " y el 80% restante es alimentado a la etapa terciaria. El material ya clasificado, menor a 1½" se considera producto terminado.

A la trituradora secundaria, se le alimenta de material de tamaño máximo de 7" y a una abertura mínima de descarga de 1", que son reducidas a tamaño máximo de 1 ½ ", por lo tanto, el índice de reducción de 4.67, se considera aceptable.

Los datos técnicos del fabricante de equipo indican que una trituradora de conos modelo 489-S, a una abertura mínima de descarga de 1", presenta una capacidad nominal de 170 ton.

De las 429 toneladas producidas en la etapa primaria, al secundario se alimentan 168 ton y 261 ton se clasifican en la criba, presentando el equipo secundario una eficiencia de trabajo del 99% con respecto a la capacidad nominal.

El material alimentado a la criba vibratoria es clasificado en tres tamaños:

7" - 3"	144 ton	Trituración secundaria
3" - 1 ½ "	24 ton	Trituración secundaria
3" - 1 ½ "	99 ton	Trituración terciaria
1 ½ " - 0	162 ton	Producto terminado

Este último material, se podrá utilizar como sub-base o base hidráulica, según lo determine el laboratorio de control de calidad, en el caso de que se tenga una contracción lineal mayor a la especificada para este producto, se recomienda la instalación de una malla de 3/8" en el tercer piso con el fin de efectuar el despolve del material fino (arcilla).

El material de 3" - 1½", que son 99 toneladas, es enviado al almacén regulador y/o tolva reguladora, que mezclado con el producto de la trituración secundaria, hacen un volumen total de 267 toneladas de material de 3" - 0, mismo que será necesario clasificar y reducir al tamaño máximo deseado de ¾" en la tercera etapa de trituración.

El diagrama de flujo a circuito abierto determina una alimentación total a la criba de 429 toneladas por hora. El cálculo de áreas de cribado determina que se requieren 56 ft<sup>2</sup> en el primer piso y 65 ft<sup>2</sup> en el segundo, por lo tanto una criba vibratoria horizontal modelo 5' x 16', con 80 ft<sup>2</sup> disponibles es suficiente para cumplir estos requisitos.

### **Etapa Terciaria. (Circuito cerrado)**

En esta etapa es recomendable la utilización de un almacén regulador y/o tolva reguladora que alimente a la etapa terciaria según los requerimientos de capacidad nominal del terciario o criba vibratoria.

Por ser la etapa final del proceso, se opera a circuito cerrado, lo que garantiza el tamaño máximo de ¾" deseado para la carpeta asfáltica.

Para clasificar y regular el material alimentado en la tercera etapa y efectuar el circuito cerrado con el terciario, se instalan en la criba vibratoria telas de cribado de alambre con abertura libre de  $\frac{3}{4}$ " ,  $\frac{3}{8}$ " y  $\frac{1}{4}$ " , según el manejo de la capacidad para cada criba, en el primer, segundo y tercer piso respectivamente con el propósito de obtener tres materiales que mezclados adecuadamente en la planta de asfalto permiten obtener una mezcla asfáltica de alta calidad.

El balance granulométrico de la etapa secundaria muestra que de las 267 toneladas; 194 toneladas de material mayor a  $\frac{3}{4}$ " , requieren ser triturados y clasificados y 73 toneladas de material menor a  $\frac{3}{4}$ " , se clasifican en la criba vibratoria en tres tamaños:  $\frac{3}{4}$ " ,  $\frac{3}{8}$ " y  $\frac{1}{4}$ " .

Los datos técnicos del fabricante indican que a una abertura de descarga de  $\frac{1}{2}$ " , las trituradoras de conos modelo FC, producen un material con tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " . El índice de reducción en esta tercera etapa resulta de 3.43, el cual se considera dentro de los rangos aceptados para estos equipos.

Las trituradoras 48-FC, 44-FC y 52-FC a una abertura de descarga de  $\frac{1}{2}$ " presentan una capacidad nominal de 105, 180 y 235 toneladas por hora respectivamente.

Estas tres maquinas, como grupo móvil terciario, integran cribas vibratorias modelos 5' x 16'; 6' x 16' y 6' x 20' respectivamente, por lo que se procede a determinar las producciones máximas con cada uno de estos equipos.

### Grupo móvil de trituración terciaria 52-FC

Del almacén regulador a la tercera etapa se alimentan, como ya vimos anteriormente 267 toneladas; 194 toneladas al equipo terciario y 73 toneladas se clasifican directamente en la criba vibratoria. El equipo terciario presenta una eficiencia de trabajo del 97%, con respecto a su capacidad nominal.

Tamaño de los materiales	Trituradora secundaria 489 S a 1"			Trituradora terciaria 52 FC a $\frac{1}{2}$ "		
	% que pasa	% retenido	Ton/h	% que pasa	% retenido	Ton/h
7" - $\frac{3}{4}$ "	100 - 43	57	96			
$\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{8}$ "	43 - 24	19	32	100 - 67	33	64
$\frac{3}{8}$ " - $\frac{1}{4}$ "	24 - 19	5	8	67 - 51	16	31
$\frac{1}{4}$ " - 0	19 -	19	32	51 - 0	51	99
		<b>100 %</b>	<b>168 ton/h</b>		<b>100 %</b>	<b>194 ton/h</b>

En este caso, los equipos primario y secundario trabajan las mismas horas que determine el equipo terciario. El almacén regulador permitirá absorber diferencias de granulometría y operación.

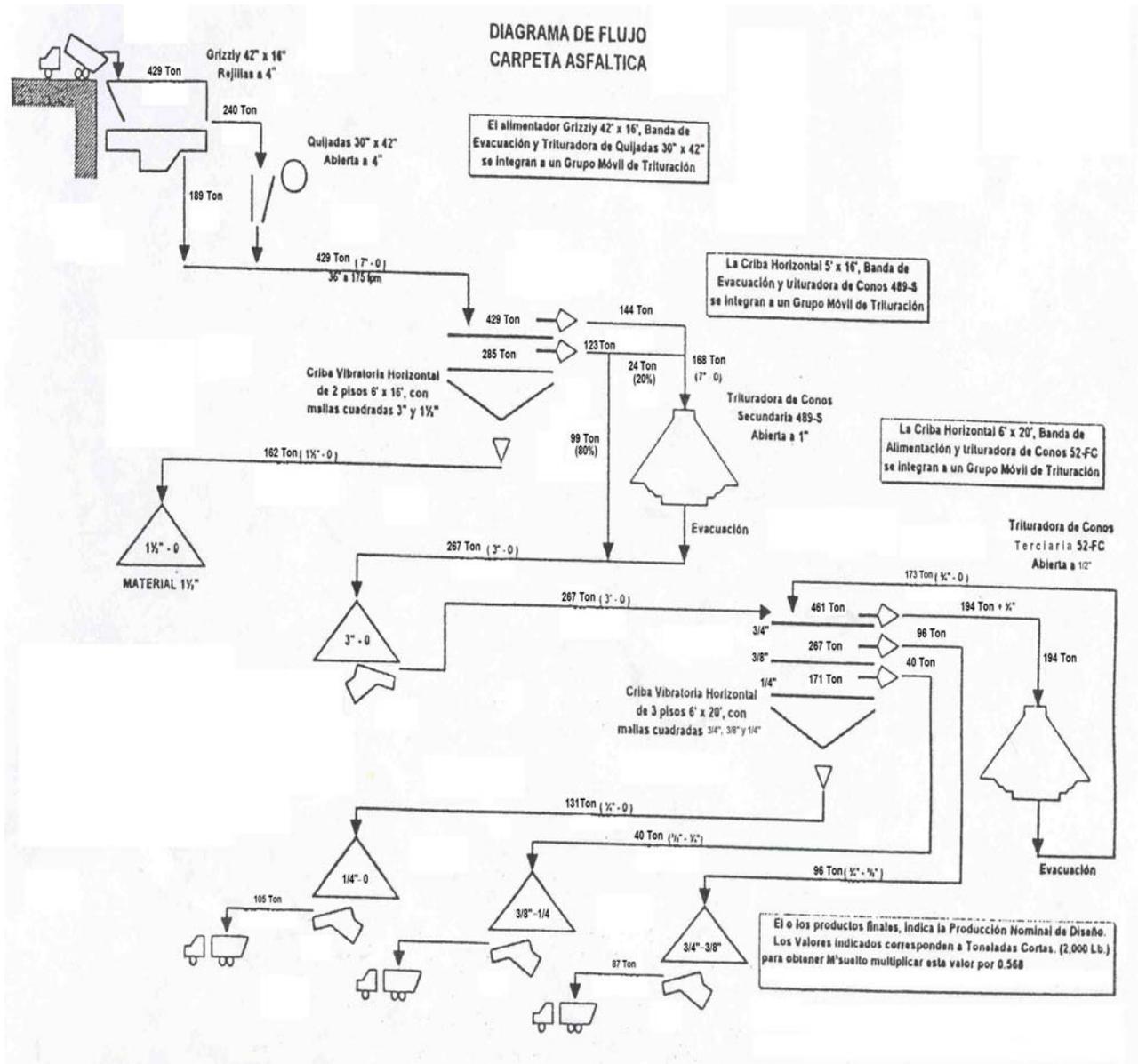
El diagrama de flujo a circuito cerrado determina una alimentación total a la criba de 461ton. El cálculo de áreas de cribado, determina 116, 89 y 108 ft<sup>2</sup> en el primero, segundo y tercer piso respectivamente, por lo tanto la criba vibratoria 6' x 20' con 120 ft<sup>2</sup> disponibles se considera aceptable para satisfacer estos requerimientos.

La producción máxima de este equipo de 267 ton., determina que el volumen tal de carpeta asfáltica se procesa en un tiempo máximo de 4 meses.

$$\frac{208,380 \text{ ton} - c / \text{hr}}{(267 \text{ ton} - c) * (0.67) * (324 \text{ hr} / \text{mes})} = 3.6 = 4 \text{ meses}$$

Por producción nominal, es seleccionado como equipo terciario el grupo móvil 52 FC, con criba vibratoria modelo 6' x 20'.

La selección definitiva lo determinará la producción global de este banco, ya que la carpeta asfáltica y sello deben obtenerse del mismo.



Condiciones:										
Malla. Cuadrada de 3"	4.17	"A"	Alimentación	429.00	ton					
Primer Piso	1.00	"F"	Sobretamaño	144.00	ton					
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	162.00	ton					
Criba 5' x 16'	80.00		Area Abierta	68.50						
Calculo de Factores Telsmith										
B	$= \frac{144}{429} = 33.6\%$	por lo tanto	B	$= 0.93$						
D	$= \frac{162}{429} = 38\%$	por lo tanto	D	$= 0.955$						
Aa	$= \frac{68.50}{50.00} = 137\%$	por lo tanto	G	$= 1.37$						
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca										
A	$= \frac{429.00 - 144.00}{4.17 \cdot 0.93 + 1.00 \cdot 0.95 + 1.00 \cdot 1.00 + 1.00 \cdot 1.37} = \frac{285.00}{5.08} = 56 \text{ Ft}^2$									
	A	B	C	D	E	F	G			
	% respecto al área disponible						70%			

Condiciones:										
Malla. Cuadrada de 1 1/2"	3.04	"A"	Alimentación	284.7.00	ton					
Primer Piso	0.90	"F"	Sobretamaño	123.00	ton					
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	91.00	ton					
Criba 5' x 16'	80.00		Area Abierta	64.00						
Calculo de Factores Telsmith										
B	$= \frac{123.00}{285} = 43\%$	por lo tanto	B	$= 0.85$						
D	$= \frac{91.00}{285} = 32\%$	por lo tanto	D	$= 0.84$						
Aa	$= \frac{64.00}{50.00} = 128\%$	por lo tanto	G	$= 1.28$						
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca										
A	$= \frac{285.00 - 123.00}{3.04 \cdot 0.85 + 1.00 \cdot 0.84 + 1.00 \cdot 0.90 + 1.00 \cdot 1.28} = \frac{162.00}{2.50} = 65 \text{ Ft}^2$									
	A	B	C	D	E	F	G			
	% respecto al área disponible						81%			

**CALCULO DEL AREA DE CRIBADO TERCIARIO: CARPETA ASFALTICA**

Condiciones:									
Malla. Cuadrada de 3/4"	2.52	"A"	Alimentación	461.00	ton				
Primer Piso	1.00	"F"	Sobretamaño	194.00	ton				
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	171.00	ton				
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	56.30					
Calculo de Factores Telsmith									
B	=	$\frac{194}{461}$	=	42%	por lo tanto	B	=	0.86	
D	=	$\frac{171}{461}$	=	37%	por lo tanto	D	=	0.94	
Aa	=	$\frac{56.30}{50.00}$	=	113%	por lo tanto	G	=	1.13	
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca									
A	=	$\frac{461.00 - 194.00}{2.52 \cdot 0.86 \cdot 1.00 \cdot 0.94 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.13}$	=	$\frac{267.00}{2.29}$	=	116	Ft <sup>2</sup>		
		A	B	C	D	E	F	G	
% respecto al área disponible					97%				

Condiciones:									
Malla. Cuadrada de 3/8"	2.04	"A"	Alimentación	267.00	ton				
Primer Piso	0.90	"F"	Sobretamaño	96.00	ton				
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	131.00	ton				
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	48.70					
Calculo de Factores Telsmith									
B	=	$\frac{96.00}{267}$	=	36%	por lo tanto	B	=	0.91	
D	=	$\frac{131.00}{267}$	=	49%	por lo tanto	D	=	1.18	
Aa	=	$\frac{48.70}{50.00}$	=	97%	por lo tanto	G	=	0.97	
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca									
A	=	$\frac{267.00 - 96.00}{2.04 \cdot 0.91 \cdot 1.00 \cdot 1.18 \cdot 1.00 \cdot 0.90 \cdot 0.97}$	=	$\frac{171.00}{1.93}$	=	89	Ft <sup>2</sup>		
		A	B	C	D	E	F	G	
% respecto al área disponible					74%				

Condiciones:									
Malla. Cuadrada de 1/4"	1.74	"A"	Alimentación	171.00	ton				
Primer Piso	0.80	"F"	Sobretamaño	40.00	ton				
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	71.00	ton				
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	42.20					
Calculo de Factores Telsmith									
B	=	$\frac{40.00}{171}$	=	23%	por lo tanto	B	=	1.001	
D	=	$\frac{71.00}{171}$	=	41%	por lo tanto	D	=	1.03	
Aa	=	$\frac{42.20}{50.00}$	=	84%	por lo tanto	G	=	0.84	
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca									
A	=	$\frac{171.00 - 40.00}{1.74 \cdot 1.001 \cdot 1.00 \cdot 1.03 \cdot 1.00 \cdot 0.80 \cdot 0.84}$	=	$\frac{131.10}{1.21}$	=	108	Ft <sup>2</sup>		
		A	B	C	D	E	F	G	
% respecto al área disponible					90%				

### **SELLO 3 E (Banco N° 3)**

#### **Etapa primaria**

El tamaño máximo estimado en la fragmentación es de 28", lo que determina como primera instancia, como en el caso anterior, una trituradora de quijadas 30" x 42".

Las condiciones de operación propuestas para esta etapa son similares a las descritas en la etapa primaria para la obtención de base hidráulica.

#### **Condiciones de operación del equipo**

Alimentador grizzly Precribado a 4"

Sobretamaño a 4" 56% Granulometría fina

Abertura de descarga de la trituradora de quijadas 4"

Capacidad nominal 190 ton.

Tamaño máximo con abertura de 4" 7"

La capacidad nominal, las condiciones de operación propuestas y la granulometría media del material, determinan una alimentación inicial de 380 ton/hr a la planta.

$$\frac{190 \text{ ton} - c / \text{hr}}{0.56} = 339 \text{ ton} - c / \text{hr}$$

De acuerdo a las condiciones de operación propuestas en esta etapa, a la trituradora de quijadas se alimentan 190 ton. y las 149 ton restantes son precribadas por el alimentador grizzly e incorporadas al producto de la etapa primaria en la banda. de evacuación.

Tamaño de los materiales	Trituradora de Quijadas 30" x 42" a 4" (240 ton/h)			De la greña Grizzly (429ton/h)	
	% que pasa	% retenido	Ton/h	%	Ton/h
7" – 3"	100 – 49	51	96.9	5	17
3" – 1 ½"	49 – 21	28	53.2	13	44
1 ½" - 0	21 – 0	21	39.9	26	88
		<b>100 %</b>	<b>190 ton/h</b>		<b>149 ton/h</b>

Al no variar las condiciones de operación, el índice de reducción, "I<sub>r</sub>", se mantiene en un valor aceptable de 4.

El resumen de la etapa primera de trituración determina que serán necesarias dos etapas de trituración subsecuentes para reducir 211 ton de sobretamaño a ¾" a tamaños especificados. En la segunda etapa se reducen 153 ton de sobretamaño a 1½" y en la tercera y última etapa el sobretamaño de ¾", procedente de la etapa secundaria.

### **Etapa Secundaria (Circuito abierto)**

Con el fin de aprovechar la capacidad del equipo de trituración la criba vibratoria, alimenta al equipo secundario con el sobretamaño de 3", producto de la etapa primaria y 40% del material intermedio de 3" - 1 ½ " y el 60% restante es alimentado a la etapa terciaria. El material ya clasificado, menor a 1½" se considera producto terminado.

A la trituradora secundaria, se le alimenta de material de tamaño máximo de 7" y a una abertura mínima de descarga de 1", que son reducidas a tamaño máximo de 1 ½ ", por lo tanto, el índice de reducción de 4.67, se considera aceptable.

De las 339 toneladas producidas en la etapa primaria, al secundario se alimentan 153 ton y 186 ton se clasifican en la criba, presentando el equipo secundario una eficiencia de trabajo del 90% con respecto a la capacidad nominal.

El material de 3" - 1½", que son 99 toneladas, es enviado al almacén regulador y/o tolva reguladora, que mezclado con el producto de la trituración secundaria, hacen un volumen total de 267 toneladas de material de 3" - 0, mismo que será necesario clasificar y reducir al tamaño máximo deseado de ¾" en la tercera etapa de trituración.

El diagrama de flujo a circuito abierto determina una alimentación total a la criba de 339 toneladas por hora. El cálculo de áreas de cribado determina que se requieren 44 ft<sup>2</sup> en el primer piso y 51 ft<sup>2</sup> en el segundo, por lo tanto una criba vibratoria horizontal modelo 5' x 16', con 80 ft<sup>2</sup> disponibles es suficiente para cumplir estos requisitos.

### **Etapa Terciaria (Circuito cerrado)**

El material depositado en el segundo almacén regulador que son 211 toneladas, determinan que se requieren triturar 141 toneladas de material de 3" - 3/8" y 70 toneladas de material menor a 3/8" se clasifican en dos tamaños máximos de 3/8" y 4M. en la propia criba vibratoria. Lo anterior obedece a las especificaciones técnicas de este material que lo limitan a una granulometría de 3/8" - 4M.

Los datos técnicos del fabricante, indican que a una abertura de descarga de ½", la trituradora de cono modelo FC, producen un material del orden de 3/4", pero aún así se trabajará en circuito cerrado, por lo que en este caso se presenta el efecto de carga de circulación. El índice de reducción en esta tercera etapa resulta de 5.33, el cual se considera dentro de los rangos aceptados para estos equipos.

Las trituradoras 44-FC y 52-FC, a una abertura de descarga de ½” presenta una capacidad nominal de 180 y 235 ton/h respectivamente.

En la criba vibratoria se instalan telas de cribado de alambre con abertura libre de ¾” en el primer piso, 3/8” en el segundo piso y malla 4M en el tercer piso.

El material menor a 4M, se considera "desperdicio" en este proceso, pudiendo ser aprovechado como "filler" en la elaboración de la carpeta asfáltica, siempre y cuando la calidad del mismo lo permita.

### Grupo móvil de trituración terciaria 52-FC

Del almacén regulador y por capacidad nominal del equipo de cribado, a la tercera etapa de trituración se alimentan inicialmente 211 toneladas; 146 toneladas al terciario y 65 toneladas se clasifican en la criba vibratoria. Por efecto del circuito cerrado la alimentación total al equipo terciario es de 146 toneladas, presentando la trituradora terciaria una eficiencia de trabajo de 62% con respecto a su capacidad nominal.

Tamaño de los materiales	Trituradora secundaria 489 S a 1” (163 ton/h)			Trituradora terciaria 52 FC a ½” (141 ton/h)		
	% que pasa	% retenido	Ton/h	% que pasa	% retenido	Ton/h
7” – ¾”	100 – 43	57	92.6			
¾” – 3/8”	43 – 24	19	30.9	100 – 67	33	47
3/8” – 4M	24 – 14	10	16.3	67 – 35	32	45
4M - 0	14 - 0	14	22.8	35 - 0	35	49
		<b>100 %</b>	<b>163 ton/h</b>		<b>100 %</b>	<b>141 ton/h</b>

El diagrama de flujo a circuito cerrado determina una alimentación total a la criba de 357 toneladas. El cálculo de áreas de cribado determina, para el primer piso 88 ft<sup>2</sup> y 93 ft<sup>2</sup> en el segundo y 118 ft<sup>2</sup>. La criba vibratoria de 6' x 20' con 120 ft<sup>2</sup> disponibles satisface estos requisitos.

La producción total con este equipo es de 211 toneladas; 77 toneladas de ¾” a 3/8” 62 toneladas de material aprovechable de 3/8” - 4M, y 72 toneladas restantes menor a 4M se consideran "desperdicio".

Con la producción aprovechable de material para sello, el volumen de proyecto se procesa en un tiempo máximo de 1 mes, considerando el uso del material de ¾” a 4M.

$$\frac{30,010 \text{ ton} - c / \text{hr}}{(134 \text{ ton}) * (0.67) * (324 \text{ hr} / \text{mes})} = 1 \text{ mes}$$

Para la selección definitiva del equipo, para la producción total del Banco No. 3, se considera el tiempo total de ejecución de los conceptos de carpeta y sello.

Producción con este equipo:

Carpeta asfáltica	4 meses
Sello 3 E	1 mes
<b>TOTAL</b>	<b>5 meses</b>

En ambos casos, la producción total en este banco se obtiene con una reducción del 16% con respecto al programa. inicial del proyecto.



Condiciones:										
Malla. Cuadrada de 3/4"	2.52	"A"	Alimentación	357.00	ton					
Primer Piso	1.00	"F"	Sobretamaño	145.00	ton					
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	134.00	ton					
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	56.30						
Calculo de Factores Telsmith										
B	$= \frac{145}{357} = 40.8\%$	por lo tanto	B	$= 0.87$						
D	$= \frac{134}{357} = 38\%$	por lo tanto	D	$= 0.952$						
Aa	$= \frac{56.30}{50.00} = 113\%$	por lo tanto	G	$= 1.13$						
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca										
A	$= \frac{357.00 - 145.00}{2.52 \cdot 0.87 \cdot 1.00 \cdot 0.95 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.13} = \frac{212.00}{2.36} = 90 \text{ Ft}^2$									
	A	B	C	D	E	F	G			
	% respecto al área disponible						75%			

Condiciones:										
Malla. Cuadrada de 3/8"	2.04	"A"	Alimentación	211.00	ton					
Segundo Piso	0.90	"F"	Sobretamaño	78.00	ton					
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	72.00	ton					
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	48.70						
Calculo de Factores Telsmith										
B	$= \frac{78.00}{211} = 37\%$	por lo tanto	B	$= 0.90$						
D	$= \frac{72.00}{211} = 34\%$	por lo tanto	D	$= 0.88$						
Aa	$= \frac{48.70}{50.00} = 97\%$	por lo tanto	G	$= 0.97$						
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca										
A	$= \frac{211.00 - 78.00}{2.04 \cdot 0.90 \cdot 0.9 \cdot 0.88 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.97} = \frac{134.00}{1.43} = 93.3 \text{ ft}^2$									
	A	B	C	D	E	F	G			
	% respecto al área disponible						78%			

Condiciones:									
--------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Malla. Cuadrada de 4M	1.41	"A"	Alimentación	134.00	ton					
Tercer Piso	0.80	"F"	Sobretamaño	61.00	ton					
Factor Eficiencia 95%	1.00	"C"	1/2 Malla	38.00	ton					
Criba 6' x 20'	120.00		Area Abierta	37.20						
Calculo de Factores TelSmith										
B	=	$\frac{61.00}{134}$	=	46%	por lo tanto B = 0.83					
D	=	$\frac{38.00}{134}$	=	29%	por lo tanto D = 0.84					
Aa	=	$\frac{37.20}{50.00}$	=	74%	por lo tanto G = 0.74					
Calculo de Area Necesaria por Vía Seca										
A	=	$\frac{134.00 - 38.00}{1.41 \cdot 0.83 \cdot 1.00 \cdot 0.84 \cdot 1.00 \cdot 0.80 \cdot 0.74}$	=	$\frac{72.00}{0.61}$	= 118 ft <sup>2</sup>					
		A	B	C	D	E	F	G		
% respecto al área disponible						99%				

## Especificaciones de trituradoras de quijada de 25x40 a 55x66

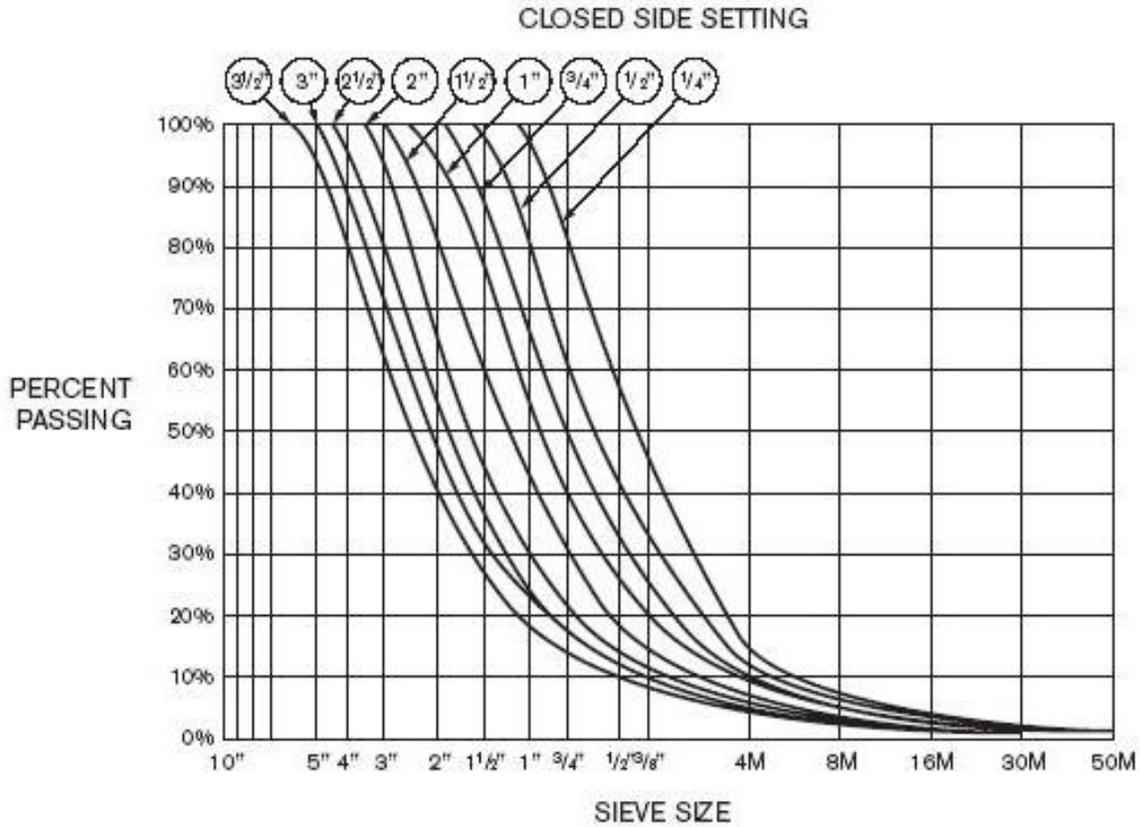
SPECIFICATIONS – TELSMITH 25"×40" THRU 55"×66" OVERHEAD ECCENTRIC JAW CRUSHERS									
SIZE	25"×40"	30"×42"	30"×55"	36"×48"	38"×58"	40"×50"†	44"×48"	50"×60"	55"×66"
Net wt. of crusher – lbs. approx.	35,500	44,600	58,000	91,500	108,000	42,000	125,900	190,000	217,000
Export packed wt. – lbs. approx.	36,500	46,000	59,150	93,100	109,500	44,000	126,900	192,000	220,000
Export packed – ft. <sup>3</sup> approx.	575	900	1,000	1,100	1,600	1,600	1,616	2,100	2,800
HP required	125	150	200	200	250	150	250	300	350
Drive pulley dia. × face – inches	54×14.75	60×14.75	55 × 12.6	66 × 16	66 × 16	54×14.75	72 × 17	78 × 23	78 × 23
RPM	260	255	280	230	260	260	225	225	225

## Capacidad de las trituradoras de quijadas de 25x40 a 55x66

Size	25"×40"	30"×42"	30"×55"	36"×48"	38"×58"	40"×50"†	44"×48"	50"×60"	55"×66"
Capacity – Tons Per Hour at Discharge Setting of:									
2"	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2½"	133–217	150–230	–	–	–	–	–	–	–
3"	148–237	167–252	–	–	–	–	–	–	–
3½"	160–259	183–273	283–430	–	–	–	–	–	–
4"	178–282	197–319	300–480	290–435	390–600	–	–	–	–
5"	206–334	230–342	350–530	328–492	432–680	–	384–580	–	–
6"	234–389*	270–405*	390–600	362–547	500–735	–	443–655	548–785	–
7"	266–444*	310–505*	430–670	408–620	530–800	–	500–750	570–850	670–995
8"	–	–	–	438–680	575–890	–	540–810	625–940	720–1,080
9"	–	–	–	–	620–950	–	580–870	680–1,015	785–1,175
10"	–	–	–	–	–	–	620–930	745–1,120	857–1,382
11"	–	–	–	–	–	–	660–980	840–1,190	938–1,410
12"	–	–	–	–	–	–	700–1,030	925–1,280	1,045–1,565
13"	–	–	–	–	–	–	–	995–1,330	1,170–1,750
14"	–	–	–	–	–	–	–	1,065–1,400	1,310–1,950
17"	–	–	–	–	–	750–1,120	–	–	–
18"	–	–	–	–	–	770–1,160	–	–	–
19"	–	–	–	–	–	800–1,200	–	–	–
20"	–	–	–	–	–	830–1,250	–	–	–
21"	–	–	–	–	–	870–1,300	–	–	–
22"	–	–	–	–	–	900–1,350	–	–	–

\* Capacity with short toggle (Optional). † Option with 18" spacer for min. opening of 1" is available. Capacities shown are based on conditions listed in general notes on Page 18-19. Capacities are listed for jaws in closed position and mes used peak-to-peak. The 40"×50" crusher is an extended frame version of the 22"×50" crusher.

Análisis granulométrico del producto de trituradoras de quijadas para  
 aperturas de salida de ¼ - 3 1/2

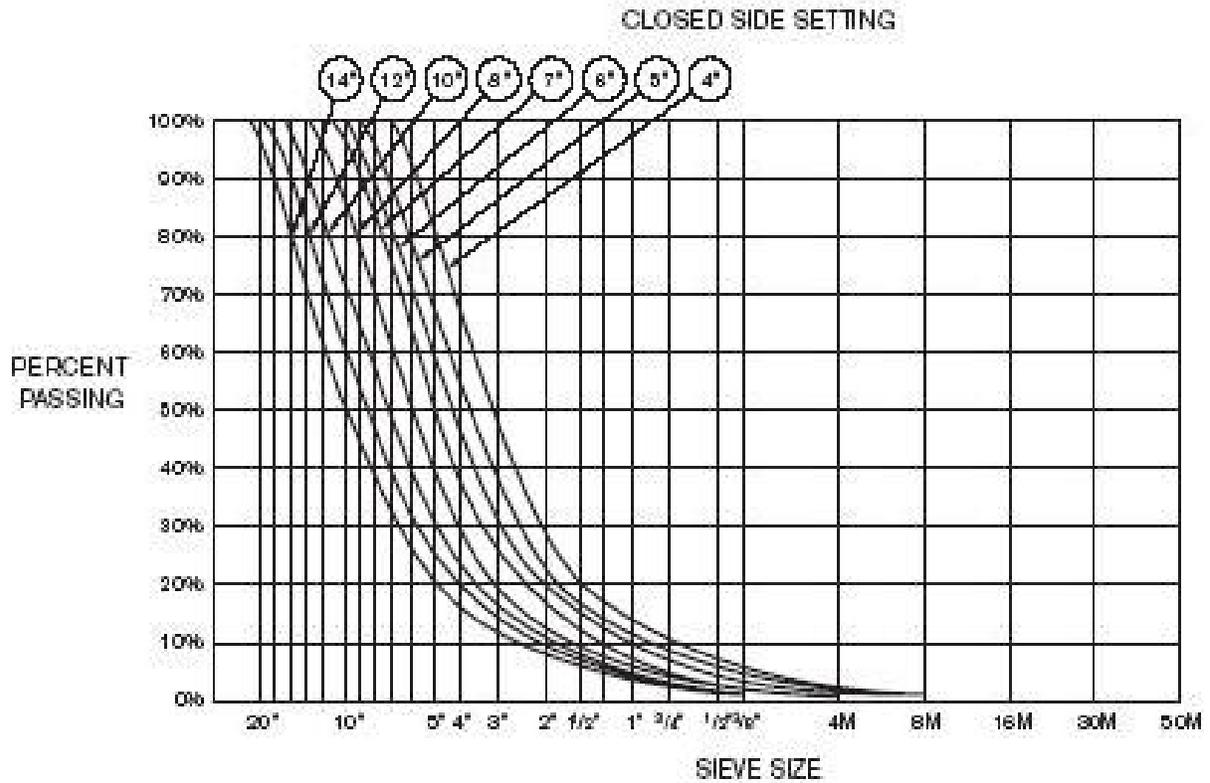


Análisis granulométrico del producto de trituradoras de quijadas para  
 aperturas de salida de ¼ - 3 1/2

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting									Sieve Designation Standard		
US	mm	Decimal	¼"	½"	¾"	1"	1½"	2"	2½"	3"	3½"	US	mm	Decimal
6"	150.0	6.00									100	6"	150.0	6.00
5"	125.0	5.00							100	100	95	5"	125.0	5.00
4½"	112.5	4.50							98	95	89	4½"	112.5	4.50
4"	100.0	4.00							96	89	82	4"	100.0	4.00
3½"	90.0	3.50						100	89	82	73	3½"	90.0	3.50
3"	75.0	3.00					100	93	82	72	62	3"	75.0	3.00
2½"	63.0	2.50				100	95	81	69	60	52	2½"	63.0	2.50
2"	50.0	2.00			100	97	80	65	55	47	41	2"	50.0	2.00
1½"	37.5	1.50		100	88	80	63	48	39	33	28	1½"	37.5	1.50
1¼"	31.5	1.25	100	93	78	70	56	40	33	29	24	1¼"	31.5	1.25
1"	25.0	1.00	98	82	68	55	43	28	25	24	18	1"	25.0	1.00
¾"	19.0	0.75	80	62	50	38	30	22	18	18	14	¾"	19.0	0.75
½"	12.5	0.50	60	42	33	25	19	14	12	12	10	½"	12.5	0.50
3/8"	9.5	0.375	41	30	27	19	13	11	9	9	8	3/8"	9.5	0.375
4M	4.75	0.187	15	12	11	9	7	6	5	6	5	4M	4.75	0.187
8M	2.36	0.094	8	7	6	5	5	3	3	4	3	8M	2.36	0.094
16M	1.18	0.047	4	3	3	3	2	2	2	2	2	16M	1.18	0.047
30M	0.60	0.023	2	2	2	2	1	1	1	1	1	30M	0.60	0.023
50M	0.30	0.012	1	1	1	1						50M	0.30	0.012

NOTE: Screen analysis is based on curve shown on page 28.

Análisis granulométrico del producto de trituradoras de quijadas para  
aperturas de salida de 4 - 14



Análisis granulométrico del producto de trituradoras de quijadas para  
aperturas de salida de 4 - 14

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting								Sieve Designation Standard		
US	mm	Decimal	4"	5"	6"	7"	8"	10"	12"	14"	US	mm	Decimal
21"	533.0	21.00							100	100	21"	533.0	21.00
20"	508.0	20.00							98	98	20"	508.0	20.00
18"	457.0	18.00							99	91	18"	457.0	18.00
16"	406.0	16.00						100	92	94	16"	406.0	16.00
14"	356.0	14.00						93	85	74	14"	356.0	14.00
13"	330.0	13.00					100	89	79	69	13"	330.0	13.00
12"	306.0	12.00					95	85	73	64	12"	306.0	12.00
11"	279.0	11.00				100	90	78	66	57	11"	279.0	11.00
10"	254.0	10.00			100	97	85	70	60	51	10"	254.0	10.00
9"	229.0	9.00		100	98	91	78	63	53	44	9"	229.0	9.00
8"	200.0	8.00		98	91	85	70	56	46	39	8"	200.0	8.00
7"	175.0	7.00	100	91	81	76	60	49	40	32	7"	175.0	7.00
6"	150.0	6.00	92	81	71	65	50	40	33	27	6"	150.0	6.00
5"	125.0	5.00	80	69	60	51	40	31	26	21	5"	125.0	5.00
4 1/2"	112.5	4.50	73	62	53	45	35	26	23	19	4 1/2"	112.5	4.50
4"	100.0	4.00	66	55	46	39	30	22	19	16	4"	100.0	4.00
3 1/2"	90.0	3.50	58	47	39	33	25	20	17	14	3 1/2"	90.0	3.50
3"	75.0	3.00	49	39	32	27	20	17	15	12	3"	75.0	3.00
2 1/2"	63.0	2.50	39	31	26	22	17	14	12	10	2 1/2"	63.0	2.50
2"	50.0	2.00	28	23	20	17	14	11	10	8	2"	50.0	2.00
1 1/2"	37.5	1.50	21	17	15	12	10	9	7	6	1 1/2"	37.5	1.50
1 1/4"	31.5	1.25	17	14	12	10	8	7	6	5	1 1/4"	31.5	1.25
1"	25.0	1.00	14	11	10	7	7	6	5	4	1"	25.0	1.00
3/4"	19.0	0.75	11	9	7	5	5	4	4	3	3/4"	19.0	0.75
1/2"	12.5	0.50	7	6	5	3	3	2	2	2	1/2"	12.5	0.50
3/8"	9.5	0.375	4	4	3	2	2	2	1	1	3/8"	9.5	0.375
4M	4.75	0.187	2	2	1	1	1	1	1	1	4M	4.75	0.187
8M	2.36	0.094	1	1							8M	2.36	0.094

NOTE: Screen analysis is based on curve shown on page 30.

## Capacidades de trituradoras D giroesfera tipo S

### CAPACITIES – SERIES "D" GYRASPHERE CRUSHERS – STYLE S

SIZE	24 S (2 Ft.)		24S S (2 Ft.)	36 S (3 Ft.)			36S S (3 Ft.)	48 S (4 Ft.)			48S S (4 Ft.)	66 S (5 1/2 Ft.)		66S S (5 1/2 Ft.)
Type of Bowl	Coarse	Medium	Coarse	Ex. Coarse	Coarse	Medium	Coarse	Ex. Coarse	Coarse	Medium	Coarse	Coarse	Medium	Coarse
Feed Opening "A" Open Side	3 1/4"	2 1/2"	4 1/8"	7 1/8"	4 1/8"	4 1/2"	7 3/4"	8 1/2"	7 1/2"	5 1/8"	10"	11"	9"	15"
"B" Closed Side	2 3/4"	1 7/8"	4 1/8"	6 1/4"	4"	3 3/4"	6 3/4"	7 1/2"	6 1/2"	4 3/4"	9"	10"	8"	14"
Recommended Minimum Discharge Opening "C"	3/8"	1/4"	1/2"	3/4"	1/2"	3/8"	3/4"	3/4"	3/4"	1/2"	1"	1"	3/4"	1 1/2"
Capacities in Tons Per Hour at Indicated Discharge Opening "C". Tons of 2000 Lbs. Material Weighing 100 Lbs. Ft. <sup>3</sup>														
1/4"	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/8"	22	22	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2"	27	27	27	-	41	41	-	-	-	85	-	-	-	-
5/8"	32	32	32	-	56	56	-	-	-	110	-	-	-	-
3/4"	37	37	37	71	71	71	71	135	135	135	-	-	200	-
7/8"	42	42	42	77	77	77	77	155	155	155	-	-	235	-
1"	47	47	47	83	83	83	83	170	170	170	170	275	275	-
1 1/4"	53	53	53	89	89	89	89	185	185	185	185	320	320	-
1 1/2"	-	-	-	105	105	105	105	200	200	200	200	365	365	365
2"	-	-	-	110	110	110	110	215	215	215	215	410	410	410
2 1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230	455	455	455

NOTES: 1. All capacities based on data shown in general notes, Pages 18-19.  
2. Capacities of Style S Gyraspheres are based on OPEN CIRCUIT crushing – one pass through the crusher.

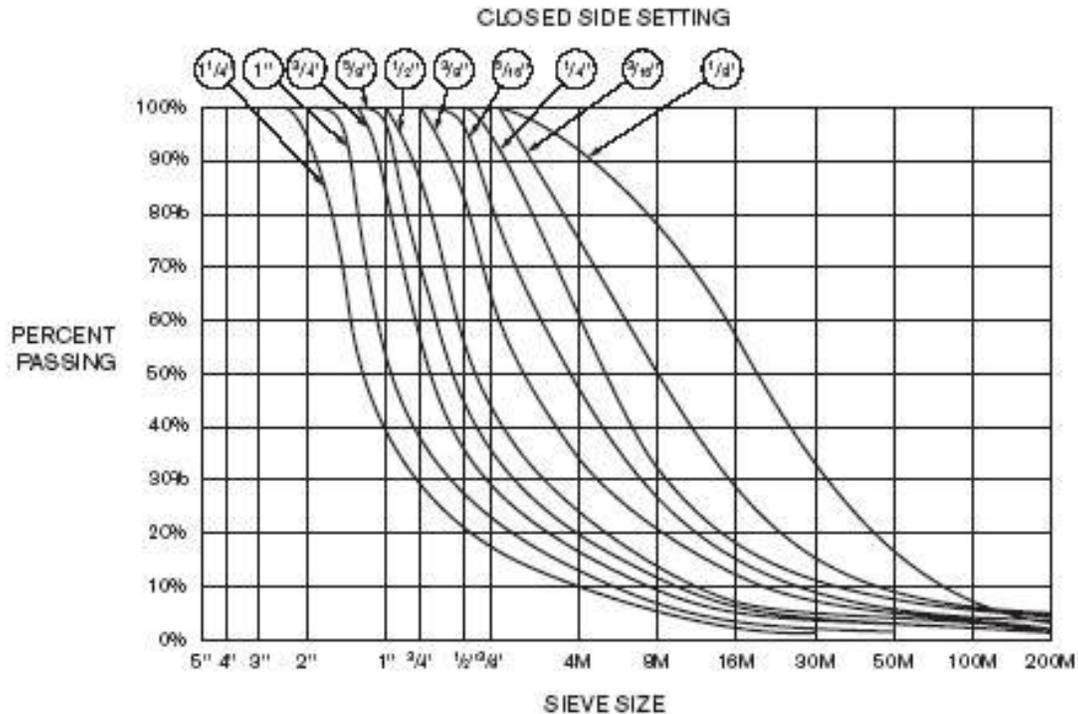
## Capacidades de trituradoras D giroesfera tipo FC

### CAPACITIES – SERIES "D" GYRASPHERE CRUSHERS – STYLE FC

SIZE	24 FC (2 Ft.)			36 FC (3 Ft.)			48 FC (4 Ft.)			66 FC (5 1/2 Ft.)		
Type of Bowl	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine
Feed Opening "D" Open Side	2 1/2"	1 3/4"	1 5/16"	3"	2"	1 3/4"	4 1/8"	3"	2 1/4"	5 3/4"	4 1/2"	3"
"E" Closed Side	1 7/8"	1 1/8"	1/2"	2"	1 1/8"	3/4"	3"	1 7/8"	1"	4"	2 1/2"	1 1/8"
Recommended Minimum Discharge Opening "F"	1/4"	3/16"	1/8"	3/16"	1/4"	3/16"	3/8"	3/16"	1/4"	1/2"	3/8"	3/8"
Capacities in Tons Per Hour at Indicated Discharge Opening "F". Tons of 2000 Lbs. Material Weighing 100 Lbs. Ft. <sup>3</sup>												
1/8"	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/16"	-	8	8	-	-	20	-	-	-	-	-	-
1/4"	10	10	10	-	32	32	-	-	50	-	-	-
5/8"	14	14	14	42	42	42	80	80	80	-	140	140
1/2"	20	20	20	52	52	52	105	105	105	180	180	180
3/4"	25	25	25	62	62	62	130	130	130	215	215	215
7/8"	-	-	-	72	72	72	155	155	155	250	250	250
1"	-	-	-	80	80	80	180	180	180	280	280	280
1 1/4"	-	-	-	95	95	95	205	205	205	310	310	310

NOTES: 1. All capacities based on data shown in general notes, Page 18-19.  
2. Capacities of Style FC Gyraspheres are based on CLOSED CIRCUIT crushing – net finished product

## Análisis granulométrico del producto de trituradoras D giroesfera tipo 24



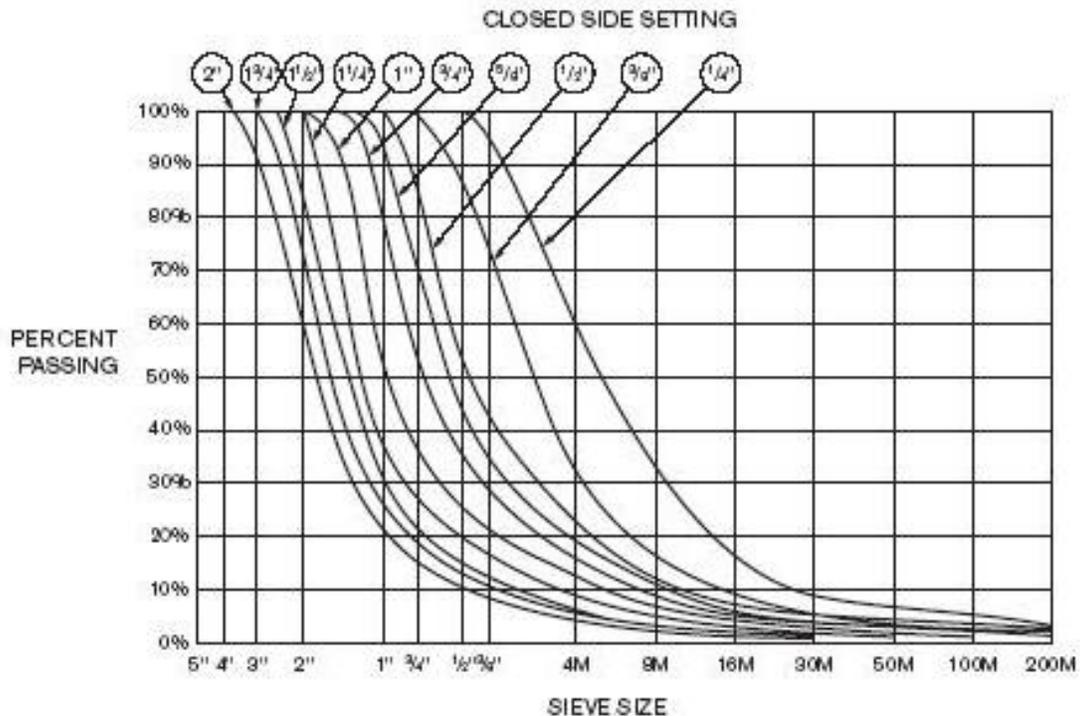
## Análisis granulométrico del producto de trituradoras D giroesfera tipo 24

**SCREEN ANALYSIS OF PRODUCT FROM TELSMITH 24S, 24SS & 24FC GYRASPHERE CRUSHER  
AT VARIOUS DISCHARGE OPENINGS, OPENING MEASURED ON CLOSED SIDE.**

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting										Sieve Designation Standard		
US	mm	Decimal	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 1/4"	US	mm	Decimal
2 1/2"	63.0	2.50	(% Passing)										2 1/2"	63.0	2.50
2"	50.0	2.00											2"	50.0	2.00
1 1/2"	37.5	1.50											1 1/2"	37.5	1.50
1 1/4"	31.5	1.25											1 1/4"	31.5	1.25
1"	25.0	1.00											1"	25.0	1.00
3/4"	19.0	0.75											3/4"	19.0	0.75
1/2"	12.5	0.50											1/2"	12.5	0.50
3/8"	9.5	0.375	100	100	93	77	60	41	34	28	22	17	3/8"	9.5	0.375
4M	4.75	0.187	92	76	61	47	34	24	20	16	13	10	4M	4.75	0.187
8M	2.36	0.094	77	50	32	27	21	14	12	10	7	5	8M	2.36	0.094
16M	1.18	0.047	57	28	18	15	12	7	6	5	3	2	16M	1.18	0.047
30M	0.60	0.023	32	15	11	9	7	5	4	4	2	1	30M	0.60	0.023
50M	0.30	0.012	17	9	7	6	5	4	3	3	1		50M	0.30	0.012
100M	0.15	0.006	7	6	6	5	4	3	2	2			100M	0.15	0.006
200M	0.075	0.003	3	5	4	3	2	1	1	1			200M	0.075	0.003

- NOTES: 1. Screen Analysis is based on curves shown on page 36.  
 2. For recommended minimum and maximum discharge openings, and capacities see page 35 and 37.  
 3. Capacities of style (S) gyraspheres are based on open circuit crushing. (One pass through the crusher).  
 4. Capacity of style (FC) gyraspheres are based on closed circuit crushing. (Percentages larger than discharge openings represent circulating load).

## Análisis granulométrico del producto de trituradoras D giroesfera tipo 36



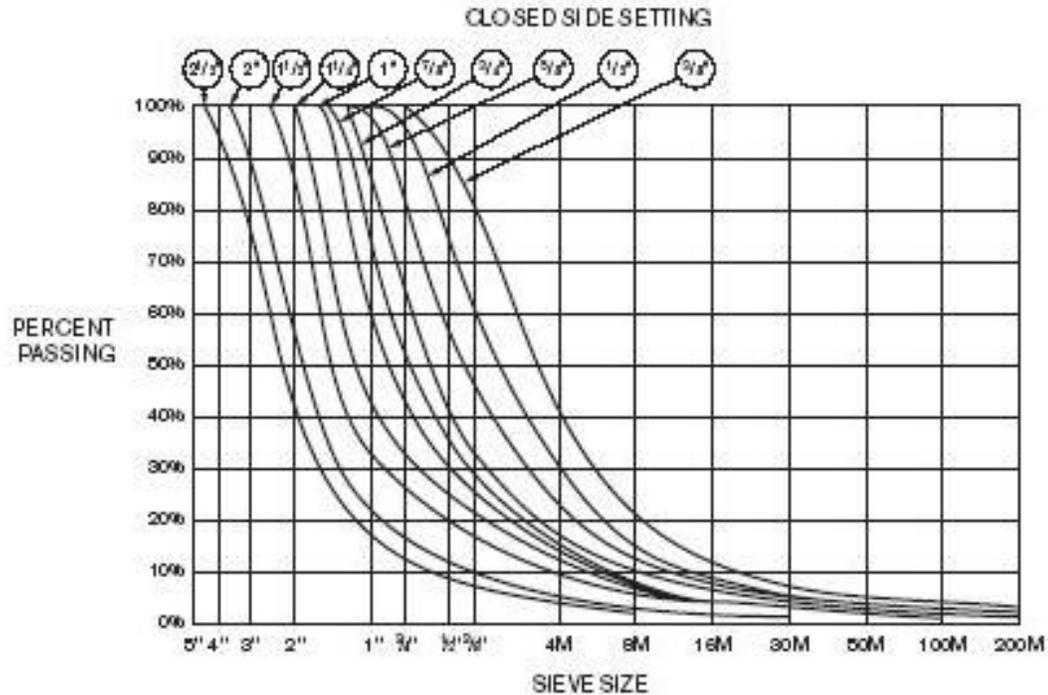
## Análisis granulométrico del producto de trituradoras D giroesfera tipo 36

### SCREEN ANALYSIS OF PRODUCT FROM TELSMITH 36S, 367S & 36FC GYRASPHERE CRUSHER AT VARIOUS DISCHARGE OPENINGS, OPENING MEASURED ON CLOSED SIDE.

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting										Sieve Designation Standard		
US	mm	Decimal	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"	US	mm	Decimal	
3 1/2"	90.0	3.50	(% Passing)										3 1/2"	90.0	3.50
9"	75.0	3.00											9"	75.0	3.00
2 1/2"	63.0	2.50											2 1/2"	63.0	2.50
2"	50.0	2.00											2"	50.0	2.00
1 1/2"	37.5	1.50											1 1/2"	37.5	1.50
1 1/4"	31.5	1.25											1 1/4"	31.5	1.25
1"	25.0	1.00											1"	25.0	1.00
3/4"	19.0	0.75											3/4"	19.0	0.75
1/2"	12.5	0.50	100	87	55	43	35	26	20	15	13	11	1/2"	12.5	0.50
3/8"	9.5	0.375	93	70	40	33	28	21	16	12	10	8	3/8"	9.5	0.375
4M	4.75	0.187	60	32	23	19	16	12	9	6	6	5	4M	4.75	0.187
8M	2.36	0.094	34	17	13	11	9	7	5	3	3	3	8M	2.36	0.094
16M	1.18	0.047	16	9	7	6	5	4	3	2	2	2	16M	1.18	0.047
30M	0.60	0.023	9	5	5	5	4	3	2	1	1	1	30M	0.60	0.023
50M	0.30	0.012	6	4	4	3	3	2	1				50M	0.30	0.012
100M	0.15	0.008	5	3	3	2	2	1					100M	0.15	0.008
200M	0.075	0.003	3	2	1	1	1						200M	0.075	0.003

- NOTES: 1. Screen Analysis is based on curves shown on page 40.  
 2. For recommended minimum and maximum discharge openings, and capacities see page 35 and 37.  
 3. Capacities of style (S) gyraspheres are based on open circuit crushing. (One pass through the crusher).  
 4. Capacity of style (FC) gyraspheres are based on closed circuit crushing. (Percentages larger than discharge openings represent circulating load).

Análisis granulométrico del producto de trituradoras D giroesfera tipo 48



Análisis granulométrico del producto de trituradoras D giroesfera tipo 48

SCREEN ANALYSIS OF PRODUCT FROM TELSMITH 48S, 489S & 48FC GYRASPHERE CRUSHER AT VARIOUS DISCHARGE OPENINGS, OPENING MEASURED ON CLOSED SIDE.

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting										Sieve Designation Standard				
US	mm	Decimal	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	US	mm	Decimal		
4 1/2"	1125	450	(% Passing)										4 1/2"	112.5	4.50		
4"	1000	4.00											100	92	3 1/2"	90.0	3.50
3 1/2"	900	3.50											99	98	3"	75.0	3.00
3"	75.0	3.00											90	76	2 1/2"	63.0	2.50
2 1/2"	63.0	2.50	100	100	100	93	81	55	40	28	22	2 1/2"	63.0	2.50			
2"	50.0	2.00	100	100	100	98	98	75	53	35	28	2"	50.0	2.00			
1 1/2"	37.5	1.50	100	100	100	98	98	75	53	35	28	1 1/2"	37.5	1.50			
1 1/4"	31.5	1.25	100	100	100	93	81	55	40	28	22	1 1/4"	31.5	1.25			
1"	25.0	1.00	100	100	100	93	81	55	40	28	22	1"	25.0	1.00			
3/4"	19.0	0.75	100	96	83	64	52	43	33	26	17	13	3/4"	19.0	0.75		
1/2"	12.5	0.50	90	75	57	41	35	30	25	20	12	9	1/2"	12.5	0.50		
3/8"	9.5	0.375	77	58	44	31	27	24	20	16	9	7	3/8"	9.5	0.375		
4M	4.75	0.187	41	30	23	17	15	14	12	10	5	4	4M	4.75	0.187		
8M	2.36	0.094	21	15	13	10	8	8	7	5	3	2	8M	2.36	0.094		
16M	1.18	0.047	11	9	7	6	4	4	4	4	2	1	16M	1.18	0.047		
30M	0.60	0.023	7	5	5	4	3	3	3	3	1	1	30M	0.60	0.023		
50M	0.30	0.012	5	4	4	3	2	2	2	2	2	2	50M	0.30	0.012		
100M	0.15	0.006	4	3	3	2	1	1	1	1	1	1	100M	0.15	0.006		
200M	0.075	0.003	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	200M	0.075	0.003		

- NOTES: 1. Screen Analysis is based on curves shown on page 42.  
 2. For recommended minimum and maximum disc large openings, and capacities see page 35 and 37.  
 3. Capacities of style (S) gyraspheres are based on open circuit crushing. (One pass through the crusher).  
 4. Capacity of style (FC) gyraspheres are based on closed circuit crushing. (Percentages larger than discharge openings represent circulating load).

Capacidades de trituradoras H giroesfera tipo S

**CAPACITIES – SERIES “H” GYRASPHERE CRUSHERS – STYLE S**

SIZE	44S			52S			57S			68S		
Type of Bowl	Extra Coarse	Coarse	Medium	Ex. Coarse	Coarse	Medium	Ex. Coarse	Coarse	Medium	Ex. Coarse	Coarse	Medium
Feed Opening	Open Side			7 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> "			8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "			10 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> "		
	Closed Side			5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "			6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "			8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "		
Recommended Minimum Discharge Opening*	1"	3/4"	1/2"	1"	3/4"	5/8"	1"	7/8"	3/4"	1 1/4"	1"	3/4"
Capacities in Tons Per Hour at Indicated Discharge Opening, Tons of 2000 Lbs. Material Weighing 100 Lbs. Ft <sup>3</sup>												
1/8"	-	-	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5/8"	-	-	215	-	-	240	-	-	-	-	-	-
3/4"	-	295	295	-	270	270	-	-	395	-	-	555
1"	265	265	265	390	390	390	475	475	475	-	690	690
1 1/4"	300	300	300	380	380	380	510	510	510	695	695	695
1 1/2"	340	340	340	430	430	430	570	570	570	750	750	750
2"	390	390	390	500	500	500	665	665	665	925	925	925
2 1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,010	1,010	1,010

NOTES: 1. All capacities based on data shown in general notes, Pages 18-19.  
 2. Capacities of Style S Gyraspheres are based on OPEN CIRCUIT crushing – one pass through the crusher.  
 \* The minimum setting for each bowl is not necessarily applicable for each and every installation.

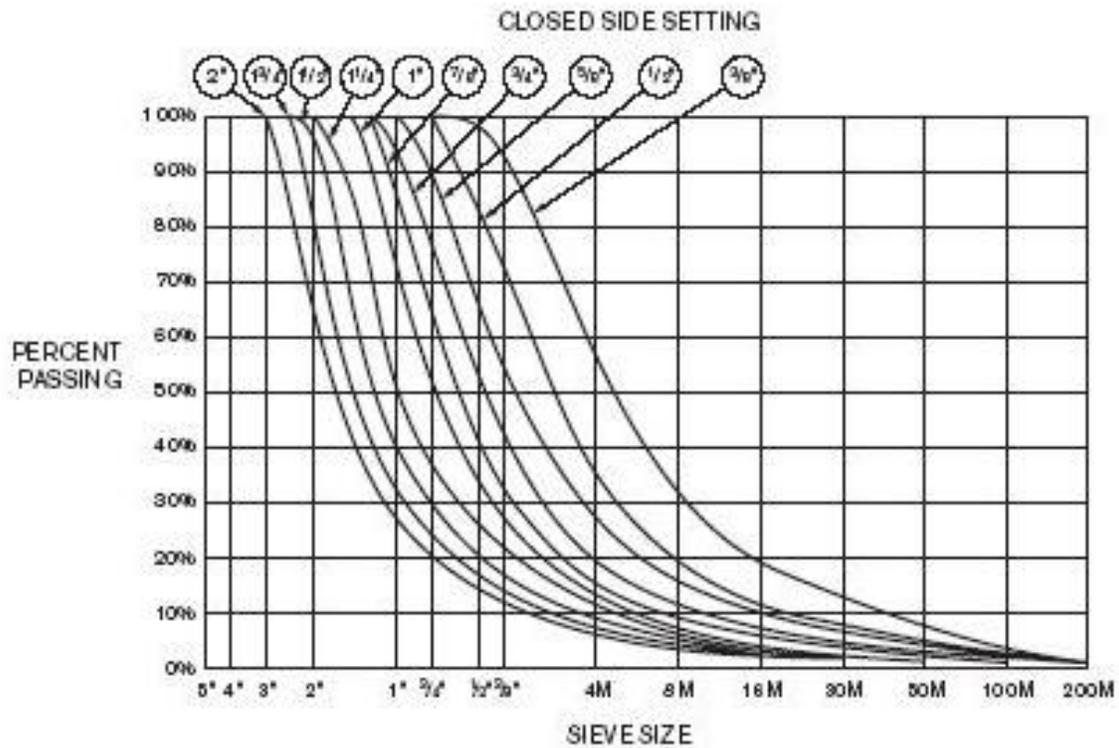
Capacidades de trituradoras H giroesfera tipo FC

**CAPACITIES – SERIES “H” GYRASPHERE CRUSHERS – STYLE FC**

SIZE	44 FC			52 FC			57 FC			68 FC		
Type of Bowl	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine
Feed Opening	Open Side			5"			6"			6 7/8"		
	Closed Side			3 1/2"			4 3/8"			5"		
Recommended Minimum Discharge Opening*	5/8"	1/2"	3/8"	5/8"	1/2"	3/8"	3/4"	5/8"	1/2"	5/8"	5/8"	3/8"
Capacities in Tons Per Hour at Indicated Discharge Opening, Tons of 2000 Lbs. Material Weighing 100 Lbs. Ft <sup>3</sup>												
3/8"	-	175	175	-	-	200	-	-	-	-	-	490
1/2"	180	180	180	-	295	295	-	-	350	-	-	590
5/8"	210	210	210	265	265	265	-	390	390	-	570	570
3/4"	235	235	235	300	300	300	435	435	435	-	610	610
1"	290	290	290	365	365	365	520	520	520	690	690	690
1 1/4"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	765	765	765

NOTES: 1. All capacities based on data shown in general notes, Pages 18-19.  
 2. Capacities of Style FC Gyraspheres are based on total thru-put and are based on CLOSED CIRCUIT crushing – assuming normal screen efficiency.  
 \* The minimum setting for each bowl is not necessarily applicable for each and every installation.

## Análisis granulométrico del producto de trituradoras H giroesfera tipo 44



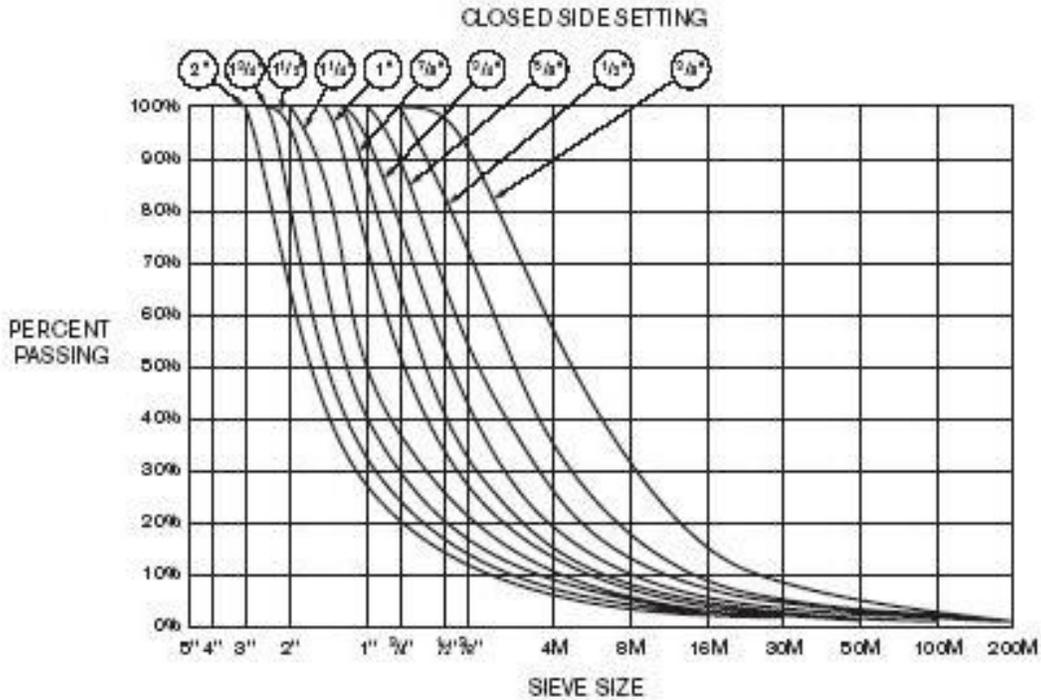
## Análisis granulométrico del producto de trituradoras H giroesfera tipo 44

**SCREEN ANALYSIS OF PRODUCT FROM TELSMITH 44S & 44FC GYRASPHERE CRUSHER  
AT VARIOUS DISCHARGE OPENINGS, OPENING MEASURED ON CLOSED SIDE.**

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting										Sieve Designation Standard								
US	mm	Decimal	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"	US	mm	Decimal
3"	75.0	3.00	(% Passing)										100	100	100	100	3"	75.0	3.00		
2 1/2"	63.0	2.50											100	99	91	89	59	41	35	2 1/2"	63.0
2"	50.0	2.00	100	96	79	62	2"	50.0	2.00												
1 1/2"	37.5	1.50	100	100	87	66	51	49	1 1/2"	37.5	1.50										
1 1/4"	31.5	1.25	100	99	91	69	59	41	35	1 1/4"	31.5	1.25									
1"	25.0	1.00	100	94	84	72	51	40	32	27	1"	25.0	1.00								
3/4"	19.0	0.75	100	100	90	76	69	51	37	29	24	21	3/4"	19.0	0.75						
1/2"	12.5	0.50	98	82	65	52	41	34	26	20	17	14	1/2"	12.5	0.50						
3/8"	9.5	0.375	88	67	50	39	30	25	20	16	13	12	3/8"	9.5	0.375						
4M	4.75	0.187	57	35	26	19	15	13	12	9	7	6	4M	4.75	0.187						
8M	2.36	0.094	31	19	16	11	9	7	7	5	4	4	8M	2.36	0.094						
16M	1.18	0.047	19	11	10	7	6	3	4	2	2	2	16M	1.18	0.047						
30M	0.60	0.023	13	8	7	5	4	2	2	1	1	1	30M	0.60	0.023						
50M	0.30	0.012	8	5	5	3	2	1	1				50M	0.30	0.012						
100M	0.15	0.006	4	3	3	2	1						100M	0.15	0.006						
200M	0.075	0.003	1	1	1	1							200M	0.075	0.003						

- NOTES: 1. Screen Analysis is based on curves shown on page 50.  
 2. For recommended minimum and maximum discharge openings, and capacities see page 48 and 49.  
 3. Capacities of style (S) gyraspheres are based on open circuit crushing. (One pass through the crusher).  
 4. Capacity of style (FC) gyraspheres are based on closed circuit crushing. (Percentages larger than discharge openings represent circulating load).

Análisis granulométrico del producto de trituradoras H giroesfera tipo 52



Análisis granulométrico del producto de trituradoras H giroesfera tipo 52

**SCREEN ANALYSIS OF PRODUCT FROM TELSMITH 52S & 52FC GYRASPHERE CRUSHER  
AT VARIOUS DISCHARGE OPENINGS, OPENING MEASURED ON CLOSED SIDE.**

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting										Sieve Designation Standard		
US	mm	Decimal	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"	US	mm	Decimal
3 1/2"	90.0	3.50	(% Passing)										3 1/2"	90.0	3.50
3"	75.0	3.00											3"	75.0	3.00
2 1/2"	63.0	2.50											2 1/2"	63.0	2.50
2"	50.0	2.00											2"	50.0	2.00
1 1/2"	37.5	1.50											1 1/2"	37.5	1.50
1 1/4"	31.5	1.25											1 1/4"	31.5	1.25
1"	25.0	1.00											1"	25.0	1.00
3/4"	19.0	0.75	100	100	90	76	63	51	37	29	24	21	3/4"	19.0	0.75
1/2"	12.5	0.50	98	82	65	52	41	34	28	20	17	14	1/2"	12.5	0.50
5/8"	9.5	0.375	88	67	50	39	30	25	20	16	13	12	5/8"	9.5	0.375
4M	4.75	0.187	57	35	26	19	15	13	10	9	7	6	4M	4.75	0.187
8M	2.36	0.094	31	18	13	10	8	7	5	5	4	4	8M	2.36	0.094
16M	1.18	0.047	15	9	7	6	5	3	2	2	2	2	16M	1.18	0.047
30M	0.60	0.023	8	5	5	4	3	2	1	1	1	1	30M	0.60	0.023
50M	0.30	0.012	5	3	3	3	2	1					50M	0.30	0.012
100M	0.15	0.006	3	2	1	1	1						100M	0.15	0.006
200M	0.075	0.003	1	1	1	1							200M	0.075	0.003

- NOTES: 1. Screen Analysis is based on curves shown on page 52.  
 2. For recommended minimum and maximum discharge openings, and capacities see page 48 and 49.  
 3. Capacities of style (S) gyraspheres are based on open circuit crushing. (One pass through the crusher).  
 4. Capacity of style (FC) gyraspheres are based on closed circuit crushing. (Percentages larger than discharge openings represent circulating load).

## CONCLUSIONES.

Para hacerle frente a las necesidades que el país demanda hoy en día, como son la construcción de miles de kilómetros de carreteras y autopistas de altas especificaciones, así como la construcción de edificación y miles de viviendas en los próximos lustros, se requiere de una industria de trituración más preparada y desarrollada en todos sus aspectos, sobre todo en los avances tecnológicos que se han dado en Europa principalmente. Con esta tecnología, se permitirá alcanzar los objetivos mencionados para poder lograr una alta calidad en la construcción y proyectos más rentables.

Al ser la Industria de la Trituración la base y el origen de las obras civiles, donde son utilizados los agregados, resulta imperativo reconocer su importancia dentro del papel que esta desempeña en un proyecto dado y, en un aspecto más general, en el desarrollo de la infraestructura de un país.

No se puede llevar a cabo un proyecto exitoso, ya sea por ejemplo, la construcción de una presa (de gravedad) o de una autopista, etc. sin tomar en cuenta con absoluta seriedad el trabajo ingenieril que implica el diseño de una planta de trituración para la producción de agregados, además de llevar un control arduo y específico a lo largo de todo el proyecto.

Hoy en día, dadas las exigentes especificaciones que se piden para la elaboración de concretos de alta calidad y pavimentos, por mencionar algunos, el proceso de trituración es vital para cumplir estos criterios, además de tener siempre en consideración la manera de economizar todos los recursos posibles.

El control del ruido, polvo y calidad del aire, son áreas donde la industria ha tratado arduamente de desarrollar medidas más efectivas. Algunas de las técnicas usadas son simples y baratas, otras son más complejas y por consiguiente más costosas.

Debido a esto, el Ingeniero Civil encargado del proceso de trituración, debe conocer a fondo los diferentes procesos existentes y los tipos de máquinas que hay en el mercado actualmente, con el fin de tomar la correcta decisión para que el equipo manejado sea el mejor.

Es importante conocer el tipo de roca que se va a triturar para su utilización en cualquier proyecto. El tipo de roca, su composición mineralógica y características físicas como el grado de intemperización y la realización de pruebas, como la prueba de Los Ángeles, es información indispensable antes de la explotación de un banco de materiales y, después, para la selección apropiada del equipo de trituración.

Son muchos los factores que se deben tomar en cuenta para hacer la adecuada selección del equipo de trituración, desde los volúmenes de producción hasta la calidad deseada del producto. Generalmente el uso de una trituradora de quijadas es la opción ideal para el ramo de la construcción y la selección del equipo secundario o terciario dependerá de las características antes mencionadas. Para el equipo secundario la selección más común es el uso de una trituradora de cono, pero esta selección dependerá del tipo de roca. Para la producción de arena, de acuerdo a los volúmenes de utilización y las características de cada banco, el uso de molinos de barras o bolas es lo más adecuado.

El uso del equipo complementario es indispensable y su correcta selección dependerá de los factores ya mencionados. Por esto, es importante también conocer las diferentes características

de cada uno de los equipos: tolvas, alimentadores, cribas, bandas transportadoras, equipo de lavado y desenlodadores.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores y las consideraciones que deben hacerse para cada una de las partes en una planta de producción de agregados, el arreglo que debe hacerse para integrar todo este equipo no es una tarea fácil, y aunque hay varias maneras de solución, siempre habrá una que resulte más efectiva. Gracias al desarrollo de la tecnología, será posible que cada vez los arreglos sean distintos, dependiendo del proyecto y que éstos arreglos sean capaces de producir agregados para la construcción de alta calidad a tiempos y costos menores.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

BENÍTEZ E., Pedro L.  
Técnicas modernas en la producción de agregados pétreos  
México  
FUNDEC, A.C., 1989

DE ALBA, Jorge H, Mendoza, Ernesto R.  
Factores de consistencia de costos y precios unitarios  
México  
FUNDEC, A.C., 2005

ALCARAZ, Lozano Federico.  
Uso de explosivos en obras de Ingeniería Civil  
México  
FUNDEC, 2005.

CHAVARRI M., Carlos M.  
Movimiento de tierras  
México  
FUNDEC, A.C., 1994

PEURIFOY, Robert L, SCHEXNAYDER, Clifford  
Construction Planning, Equipment and Methods  
USA  
Mc Graw hill, 2005

NICHOLS Herbert L., DAY David  
Moving the earth  
USA  
Mc Graw Hill, 2005

BARKSDALE, Richard D  
The Agregate Handbook  
USA  
National Stone, Sand & Gravel Association  
2005

Manuales de equipo de trituración y equipo complementario  
Metso Minerals  
2005

TELSMITH  
Aggregate Producers and Mineral Processors Handbook  
USA  
2005

Manuales de equipo de trituración y equipo complementario  
Terex  
2005

RUIZ., y GONZÁLEZ.  
Geología Aplicada a la Ingeniería Civil  
México  
Grupo Noriega Editores, Limusa  
1999

CHUCH, Horace K  
Excavation Handbook.  
USA  
Mc graw hill, 1981

CAPACHI, Nick E.  
Excavation and Grading Handbook.  
USA  
Craftsman book Company, 1988  
CHUCH, Horace K, ROBINSON, Jeremy  
Excavation Planning Reference Guide.  
USA  
Mc Graw hill, 1999

DAY, David A.  
Construction Equipment Guide  
USA  
John Wyley and sons, 1973

PáginasWeb  
[www.Terex.com](http://www.Terex.com)  
[www.cedarapids.com](http://www.cedarapids.com)  
[www.metsominerals.com](http://www.metsominerals.com)  
[www.nssga.org](http://www.nssga.org)  
[www.telsmith.com](http://www.telsmith.com)