



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA MINERA

TRABAJO FIN DE GRADO

INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE TRITURACIÓN Y CRIBADO DE UNA CANTERA DE CUARCITA EN LA VID DE GORDÓN .

León, Julio de 2015

Autor: Rubén Escudero González

Tutor: Antonio Bernardo Sánchez

El presente proyecto ha sido realizado por D. Rubén Escudero González, alumno/a de la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de la Universidad de León para la obtención del título de Grado en Ingeniería Minera.

La tutoría de este proyecto ha sido llevada a cabo por D. Antonio Bernardo Sánchez, profesor/a del Grado en Ingeniería Minera.

Visto Bueno

Fdo.: D./Dña. Rubén Escudero González

El autor del Trabajo Fin de Grado

Fdo.: D./Dña. Antonio Bernardo Sánchez

El Tutor del Trabajo Fin de Grado

RESUMEN

Con este proyecto se va a diseñar una planta de trituración y cribado en una cantera de cuarcita, capaz de producir balasto de tipo 1, y diferentes áridos de interés económico. El presente documento consta de una memoria que engloba diferentes estudios geológicos y técnicos, así como un estudio económico en el que se detalla el coste que supondría la planta. Este documento se completa con varios anexos que aparecen en la última parte del proyecto.

ABSTRACT

This project will design a crushing and screening plant in a quartzite quarry, capable of producing track ballast type 1, and different aggregates of economic interest. This document consists of a report that encompasses different geological and technical studies, as well as an economic study which details the cost involved in the plant. This document is completed with several annexes and plans that appear in the last part of the project.

ÍNDICE

Tabla de contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE	I
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
1 Objetivo y alcance	1
1.1 Objetivo	1
1.2 Alcance	1
2 Situación geográfica y accesos.....	1
2.1 Situación geográfica	1
3 Geología	2
3.1 Formación Barrios	4
4 Proyecto de explotación	6
4.1 Método de explotación	6
4.2 Métodos de arranque	7
4.2.1 Perforación.....	7
4.2.2 Voladura.....	8
4.3 Justificación de la planta	9
5 Planta de tratamiento.....	10
5.1 Parámetros de trituración	10
5.1.1 Dimensión máxima de entrada.....	11
5.1.2 Dureza y abrasividad.....	11
5.1.3 Humedad y adherencia. Plasticidad	12
5.1.4 Caudal	12
5.1.5 Razón de reducción.....	12
5.1.6 Granulometría del producto de salida.....	13
5.1.7 Forma del producto de salida	13
5.1.8 Robustez y mantenimiento de la maquina.....	14
5.2 Selección de los equipos de la planta	14
5.3 Puesto primario.....	14

5.3.1	Dimensiones de una machacadora de mandíbulas	15
5.3.2	Elección de la machacadora de mandíbulas	17
	Alimentación	17
5.4	Puesto secundario	18
5.4.1	Trituración secundaria	18
5.4.2	Dimensionamiento del cono secundario	18
5.4.3	Selección del cono secundario.....	19
5.4.4	Alimentación	21
5.4.5	Clasificación	21
5.5	Puesto terciario	24
5.5.1	Trituración terciaria	24
5.5.2	Dimensionamiento del cono terciario	24
5.5.3	Selección del cono terciario.....	25
5.5.4	Alimentación	26
5.5.5	Clasificación	26
5.6	Almacenamiento	27
5.7	Diagrama de flujo	28
6	Productos finales	28
6.1	Balasto ⁽³⁾	29
6.1.1	Origen y naturaleza.....	29
6.1.2	Granulometría.....	29
6.1.3	Partículas finas	29
6.1.4	Finos.....	30
6.1.5	Índice de forma	30
6.1.6	Longitud de las piedras	30
6.1.7	Resistencia al desgaste-fragmentación	30
6.1.8	Resistencia a la meteorización por la acción de la helada	31
6.1.9	Resistencia a la alteración Sonnenbrand.....	32
6.2	Áridos 0/6, 6/12 y 12/20	32
6.2.1	Áridos para hormigón	32
6.2.2	Áridos para capa de rodadura	32
7	Presupuesto de la planta de trituración y cribado	33
	Lista de referencias.....	34
	Anexo A: Leyenda Magna 50 103	35

Anexo B: Cálculos voladura y perforación	38
Anexo C: Maquinaria de la planta.....	41
Anexo D: Cálculo de superficie de cribado	48
Anexo E: Ensayo de balasto	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1-1 Emplazamiento de la cantera	1
Figura 2.1-1 Mapa geológico de la zona	3
Figura 2.1-2 Corte geológico de la zona	3
Figura 2.1-3 Situación de la zona estudiada dentro del contexto geológico general de la Zona Cantábrica, según Julivert (1971).....	4
Figura 4.2-1 Estratificación de la cantera	8
Figura 4.2-2 Cebado con cordón detonante.....	9
Figura 4.3-1 Costes de producción en relación a la fragmentación de la roca	10
Figura 5.1-1 Razón de reducción en etapas sucesivas.....	13
Figura 5.3-1 Machacadora de mandíbulas frente a giratoria.....	15
Figura 5.3-2 Curva granulométrica aproximada de la voladura	16
Figura 5.4-1 Curva granulométrica de la machacadora de mandíbulas C3054.....	19
Figura 5.4-2 Curva granulométrica del molino de cono HP300.....	20
Figura 5.4-3 Granulometría de salida del puesto secundario	23
Figura 5.5-1 Granulometría de salida del puesto terciario.....	27
Figura 5.7-1 Diagrama de flujo de la planta.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.3.1-1 Calculo del dimensionamiento del primario.....	16
Tabla 5.3.2-1 Características de la machacadora de mandíbulas C3054	17
Tabla 5.4.3-1 Características del molino HP300	20
Tabla 5.4.5-1 Anchura mínima en función del caudal	23
Tabla 5.4.5-2 Características de la criba CVL/S 200.60	24
Tabla 5.5.3-1 Porcentaje pasante por la malla, según el reglaje	25
Tabla 5.5.3-2 Características del molino HP200	26
Tabla 6.1.2-1 Curva granulométrica del balasto.....	29
Tabla 6.1.3-1 Porcentaje de partículas finas.....	30
Tabla 6.1.4-1 Porcentaje de finos	30
Tabla 6.1.7-1 Desgaste de Los Ángeles	31
Tabla 6.1.8-1 Ensayo absorción del agua.....	31

1 Objetivo y alcance

1.1 Objetivo

Con este proyecto se va a diseñar una planta de trituración y cribado para la producción de balasto tipo 1: Alta Velocidad (≥ 200 Km/h) y áridos del 6-12, 12-20 y arena 0-6; de manera que se pueda crear una producción flexible y en casos especiales centrarse en un producto de los anteriormente indicado.

1.2 Alcance

En este documento se hará un pequeño estudio del emplazamiento, así como de su geología. A partir del tamaño máximo de bolo que se obtiene de la voladura y que podrá llegar al puesto primario y así dimensionar la planta para obtener el producto deseado. Como paso previo se harán unas breves reseñas acerca de la forma de explotar la cantera sin llegar a profundizar en el tema. Se continuará con un estudio de la planta y finalmente terminará con la memoria económica en la que aparece el presupuesto de la planta de trituración y clasificación.

2 Situación geográfica y accesos

2.1 Situación geográfica

La Vid de Gordón se encuentra en el municipio de La Pola de Gordón, al Norte de la provincia de León, en la comarca de la Montaña Central lo cual condiciona un relieve accidentado con algunos valles como el formado por el río Bernesga al que se unen dos afluentes conocidos como Arroyo de las Fuentes y Arroyo de la Pedrosa. La localidad de la Vid limita al norte con Villasimpliz, al sur con Ciñera, al este con Felmín y Valporquero de Torío y al oeste con Buiza. Esta localidad encuentra 41 Km de la capital de provincia, León.



Figura 2.1-1 Emplazamiento de la cantera

La cantera está conectada con León y el Principado de Asturias mediante la N-630 y la localidad en la que se encuentra hace posible que la distribución del material se realice tanto por carretera como ferrocarril. Además la existencia de la línea de alta velocidad que une León con el Principado en fase de construcción, en las proximidades hace que tenga un comercio de gran potencial.

3 Geología

La explotación se encuentra ubicada entre el monte las Fuentes y la Gotera donde desemboca el arroyo de las Fuentes, dentro del término municipal de La Vid, perteneciente a la provincia de León.

La descripción y caracterización del macizo rocoso donde se ubican las labores tiene como objetivo identificar y determinar las condiciones y propiedades, que posteriormente permitan con estudios adicionales prever el comportamiento de las rocas. Debido a la variabilidad de propiedades y diversidad de condiciones, la caracterización del macizo rocoso a partir de afloramientos resulta compleja y difícil en muchas ocasiones, ya que, además, es frecuente la presencia conjunta de suelos y rocas con zonas fracturadas, tectonizadas y/o meteorizadas

La estructura del macizo rocoso incluye el conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas que definen la región objeto de estudio, en la que existen una serie de dominios estructurales perfectamente definidos y diferenciados entre sí. La estructura del macizo rocoso comprende también los rasgos característicos de la textura y la asociación de uno o más tipos de roca en el macizo, ya que, un tipo de litología puede ser más susceptible de meteorización que otro, la presencia de una roca altamente meteorizable en una secuencia sedimentaria puede provocar que los demás tipos de roca pertenecientes al macizo tengan una mayor susceptibilidad a la meteorización que considerando aisladamente las distintas litologías.

En general, el método seguido parte de una descripción general de los aspectos y características observables a simple vista para, posteriormente, describir y caracterizar con detalle las diferentes zonas observadas, finalmente, a partir de todos los datos obtenidos, se caracteriza y clasifica el macizo rocoso:

- Características generales del macizo rocoso y división en zonas.
- Descripción y caracterización de cada zona.
- Descripción general.
- Matriz rocosa.
- Discontinuidades.
- Descripción de los parámetros del macizo rocoso.
- Caracterización global y clasificación geomecánica del macizo rocoso.

Para el estudio geológico, dadas las características de la zona y su alto grado de conocimiento, se ha utilizado la Hoja Geológica, escala 1:50000 realizando una descripción global del área afectada y su entorno, para particularizar posteriormente en datos concretos referentes a la explotación. (1)

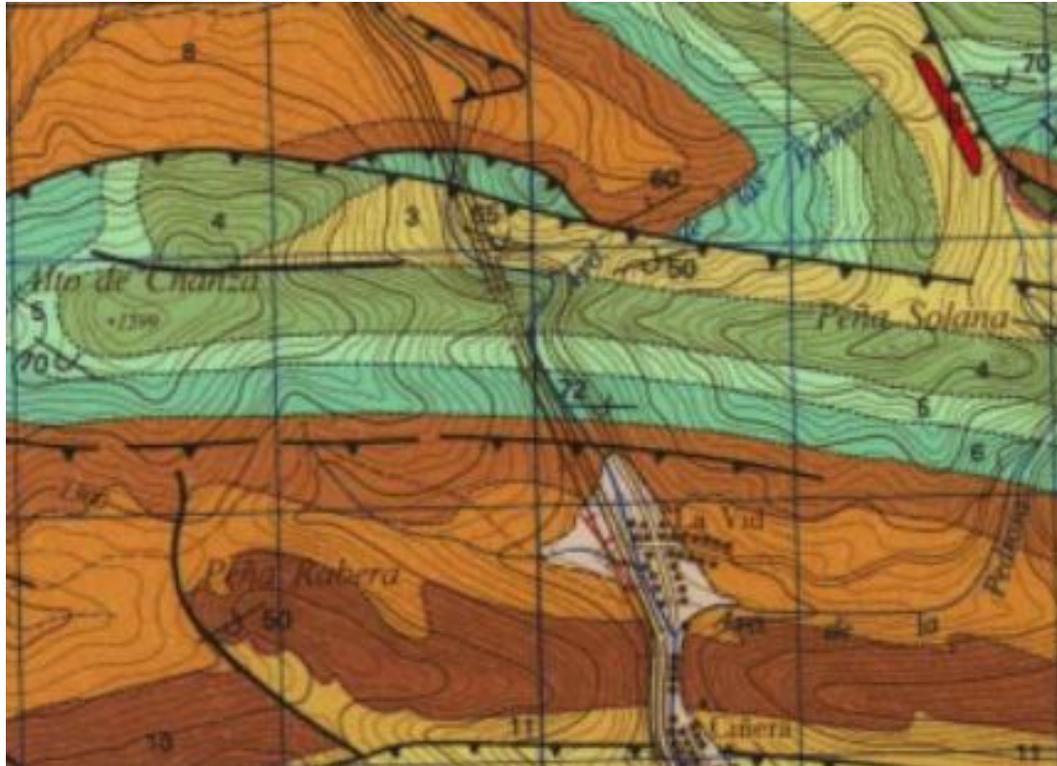


Figura 2.1-1 Mapa geológico de la zona

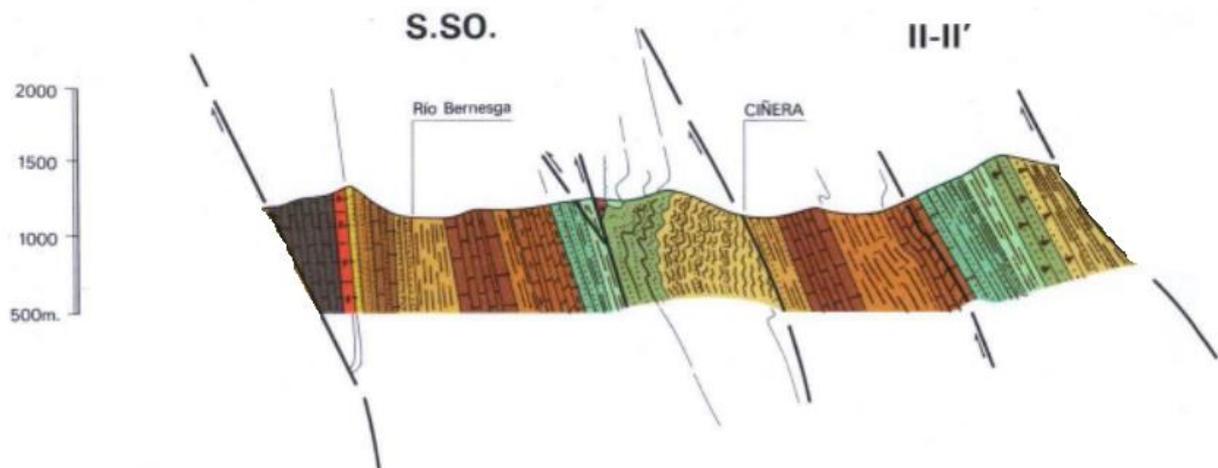


Figura 2.1-2 Corte geológico de la zona

Desde un punto de vista geológico, la zona estudiada se encuentra en la Hoja Geológica N° 103 de 'La Pola de Gordón', E - 1:50000 y se sitúa en la parte sur de la Zona Cantábrica, que es la más externa de las zonas en que se divide al Orógeno Herciano en el

NO de la Península Ibérica (Lotze. 1954; Julivert et al 1972), caracterizada por la ausencia de metamorfismo y por el escaso y esporádico desarrollo de foliaciones tectónicas. Las estructuras más características son los cabalgamientos y pliegues asociados, en relación con una tectónica de despegue.

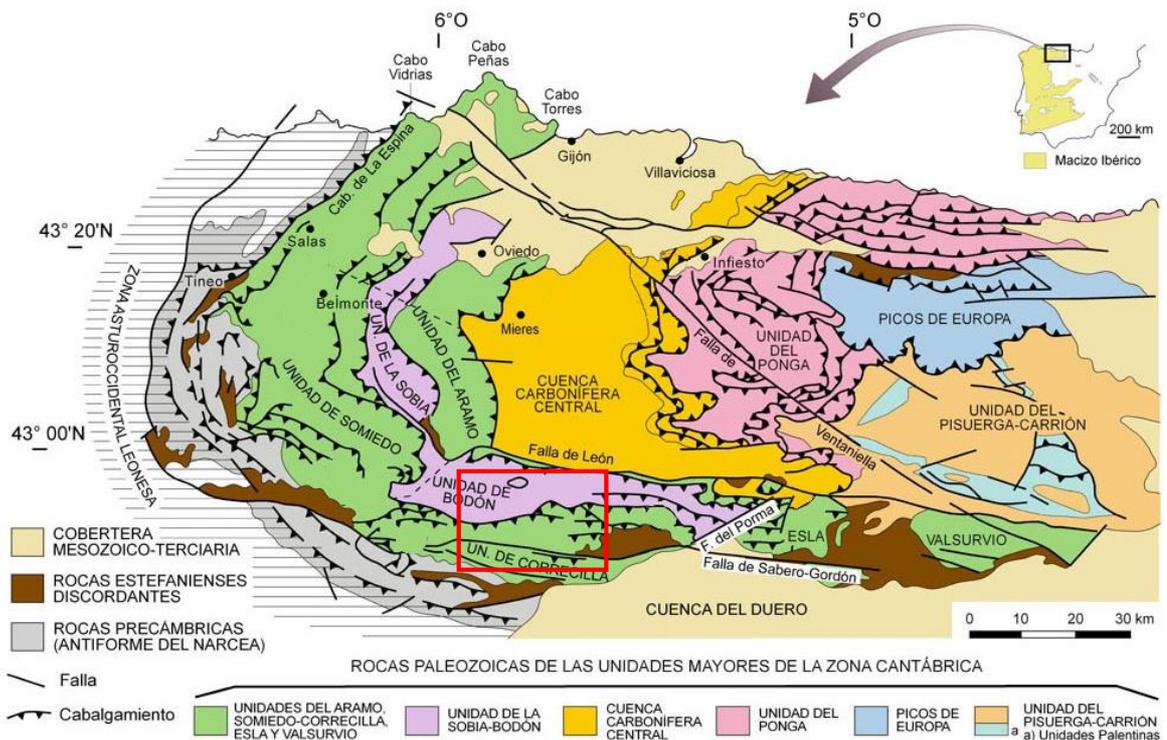


Figura 2.1-3 Situación de la zona estudiada dentro del contexto geológico general de la Zona Cantábrica, según Julivert (1971)

Dentro de la Zona Cantábrica, el área estudiada se sitúa en la Unidad Alóctona denominada Somiedo-Correcilla, una de las dos unidades en que se divide la Zona. Esta unidad está constituida por una sucesión sedimentaria que abarca desde el Cámbrico hasta el Westfáltense, disponiéndose el Estefaniense discordante, fosilizando las superficies de cabalgamiento, aunque también está afectado por la deformación.

3.1 Formación Barrios

El objetivo del presente trabajo es la denominada Formación barrios, que se compone mayoritariamente de cuarzoarenitas blancas con pequeñas intercalaciones pizarroso-limolíticas y conglomeráticas; localmente, así como rocas vulcanoclásticas y una delgada capa de caolín.

La formación barrios en la zona estudiada se dispone subvertical e invertida buzando hacia el norte (50-60°, con orientación aproximada Este-Oeste). Formaría parte del flanco

Sur de un gran pliegue anticlinal (volcado hacia el sur) de plano axial Este-Oeste que fue cortado por el cabalgamiento de Pozo uno de los cabalgamientos menores de la Escama Aralla-Rozo, dentro de la Unidad Somiedo-Correcillas.

A lo largo del valle de Fuentes, en una dirección oblicua con respecto al cauce, discurre el frente del cabalgamiento de Pozo que sitúa a los materiales ordovícicos de la Formación Oville (al Sur) sobre los materiales devónicos fundamentalmente pizarrosos y carbonatados de la Formación La Vid (al Norte), pertenecientes a la escama del cabalgamiento de Pozo dentro de la misma Unidad.

Se trata de una formación, que tanto a pequeña como a gran escala, se puede considerar como muy constante y homogénea en cuanto a sus características litoestratigráficas y que se encuentra con gran similitud en amplias zonas de los macizos hercínicos ibérico y europeo. En el área estudiada se presenta con una potencia de unos 285-290 metros que se reparten en dos miembros separados por una discontinuidad intraformacional (Aramburu, 89), de muro a techo son:

- Miembro La Matosa: consiste en cuarzoarenitas de grano fino, en la base, a cuarzoarenitas de grano medio a muy grueso e incluso conglomeráticas en el techo. Su potencia es de 110 a 115 metros y se presenta con una marcada estratificación planar que le da un aspecto tableado con estratos de potencia variable a veces separados por algunas intercalaciones dispersas y no muy potentes de lutitas y limolitas y/o por delgadas ínterestratificaciones pizarrosas. Son abundantes las estructuras sedimentarias, inorgánicas, como laminación horizontal o cruzada de bajo ángulo y marcas de corriente. En corte fresco estas rocas presentan tonos grisáceos o blanquecinos a veces ligeramente rosados y ocreos debido a la presencia de óxidos de hierro.
- Miembro Tañes: Su potencia es de unos 175 metros y su principal diferencia con el otro miembro es su carácter fundamentalmente masivo. En la base aparece un tramo de unos 37 metros de potencia formado por cuarzoarenitas de grano medio y grueso, microconglomeráticas, tableadas en bancos y estratos gruesos con estratificación ligeramente ondulada. De aquí hasta el techo de la formación, el material presenta un carácter masivo con casi total ausencia de estructuras sedimentarias orgánicas e inorgánicas aunque sí aparece una marcada diaclasación y/o fisuración. Se trata de una densa red de diaclasas y fisuras generalmente cerradas y a veces selladas por crecimientos de cuarzo, agrupadas en varios sistemas y cuyo origen es muy probablemente tectónico. En corte fresco las rocas de este miembro presentan tonalidades blanquecinas o gris claras, a veces ligeramente rosadas u ocreas por la presencia de óxidos de hierro.

El frente de explotación de la cantera explota los materiales del techo del Miembro La Matosa y del muro del Miembro Tañes que afloran con la estratificación invertida en

posición subvertical por lo que las labores avanzan hacia el techo, preferentemente en dirección transversal a la estratificación.

La formación Barrios, por su gran homogeneidad litoestratigráfica, su carácter notablemente masivo y su alta resistencia frente a la erosión, morfológicamente siempre aparece formando los más elevados y escarpados resaltes del terreno, sobre todo en el caso del Miembro Tanes. A esto último también ayudan, su disposición subvertical con orientaciones Este-Oeste de gran desarrollo longitudinal, sobre todo el hecho de que tanto las formaciones infrayacentes (Oville) como suprayacentes (Getino y Formigoso) son más heterogéneas litoestratigráficamente y mucho menos resistentes frente a la erosión.

La gran inalterabilidad frente a la acción de los agentes erosivos físicos y químicos que presenta la Formación Barrios es debida a la gran homogeneidad y constancia que presenta, en cualquier dirección del espacio, en cuanto a sus características estratigráficas (sin rocas masivas o con estratos planares de notable potencia y desarrollo longitudinal que además presentan escasas y poco potentes intercalaciones pizarrosas) y en cuanto a sus características litológicas (son Rocas prácticamente monominerales formadas por granos y cristales de cuarzo con un armazón compacto y bien trabado, soldado por cemento de cuarzo). Todo esto hace que sean rocas con permeabilidad prácticamente nula a escala de bloque y muy baja o nula (por figuración) a escala del macizo.

El hecho de ser rocas silíceas monominerales hace que sean prácticamente inalterables por meteorización química y que solo se vean afectadas ligeramente por meteorización física, sobre todo los cambios de temperatura y los fenómenos de hielo-deshielo que tienen ámbito de actuación superficial. Son rocas muy duras y abrasivas pero relativamente frágiles ante tensiones que provocan las oscilaciones térmicas, las cuales se ven acentuadas porque al natural los afloramientos de la Formación Barrios presentan un color verde oscuro a negro debido a una fina capa de líquenes que los recubren.

4 Proyecto de explotación

Este apartado no tiene como objetivo ahondar en el proceso de explotación de la cantera, sin embargo, se hará una breve descripción acerca del arranque de la roca mediante perforación y voladura, que determinara el tamaño de los bolos que llegaran al puesto primario.

4.1 Método de explotación

Cantera es un método de explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas ornamentales, industriales o áridos. Este tipo de explotación conforma el sector más importante en cuanto a que representa el mayor volumen de la minería mundial a pesar de ser explotaciones de pequeño tamaño.

Debido al valor relativamente pequeño que tienen los materiales extraídos son explotaciones situadas cerca de centros de consumo y núcleos habitados y sirven de abastecimiento de materias primas con uso final en la construcción en áreas cercanas, y en obras de infraestructura en las más alejadas.

El método de explotación aplicado suele ser el de banqueo, con uno o varios niveles, situándose un gran número de canteras a media ladera, aunque también pueden desarrollarse en huecos.

Los tipos de explotación son variados en su concepción y diseño como los yacimientos que se benefician. La elección del método aplicar depende de numerosos factores tales como: profundidad, forma e inclinación del depósito, las características geomecánicas del macizo rocoso y la propia roca, costes, etc...

En la actualidad existen varios métodos ampliamente utilizados para la explotación de canteras.

Canteras a cielo abierto:

- En laderas, cuando la roca se arranca en la falda de la montaña.
- En corte, cuando la roca se extrae de cierta profundidad en el terreno.

Canteras subterráneas.

4.2 Métodos de arranque

El método de extracción de la cuarcita es a cielo abierto mediante banqueo descendente, y el arranque se realiza mediante perforación y voladura,

El banqueo descendente presenta las siguientes ventajas:

- Permite iniciar la restauración con antelación y desde los bancos superiores hasta los de menor cota.
- Requiere una definición previa del talud final y, por consiguiente, un proyecto a largo plazo.
- Exige construir toda la infraestructura viaria para acceder a los niveles superiores desde el principio y obliga a una mayor distancia de transporte en los primeros años de la cantera.

4.2.1 Perforación

El método de perforación empleado será el de martillo en cabeza, empleándose bocas de 104 mm y barras de 51mm. Por otro lado se recomienda el uso de tubo guía para evitar roturas de las barras y desviaciones en los tiros, ya que como se vio en el apartado de la geología se trata de un terreno con una fuerte estratificación cruzada como se puede ver en la figura 4.2.1-1



Figura 4.2-1 Estratificación de la cantera

Para que la perforación se haga correctamente deberán tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Precisión en el emboquille
- Rectitud de los barrenos
- Precisión en el diámetro y forma de los barrenos
- Precisión en la alineación
- Precisión en la profundidad

4.2.2 Voladura

Se perforaran barrenos de 104 mm en bancos de 10 metros de altura con una sobreperforación de 1,22 metros. Los barrenos tendrán una inclinación de 15º para:

- Conseguir taludes más sanos y seguros en los nuevos bancos creados.
- Mejorar la fragmentación.
- Mejorar el esponjamiento del material volado.
- Reducir el problema de repies.
- Conseguir un mayor espaciamiento.
- Mejorar el frente de la voladura.

Puesto que se trata de una voladura en banco, los barrenos se colocaran en una malla a tresbolillo de cuatro filas con salida a la cara libre. El número de barrenos que se proyecta perforar para cada voladura es de 36, dispuestos en cuatro hileras con seis barrenos cada uno.

Parar un barreno de 104 mm de diámetro se ha calculado un espaciamiento y una piedra de 4,5 m.

La longitud de la carga de fondo, carga de columna y retacado serán respectivamente: 2,8 6,7 y 2,5 metros.

Se empleara como carga de fondo cartuchos de Goma de 80mm de diámetro y como carga de columna se usara ANFO a granel.

4.2.2.1 Sistema de encendido

Se contempla en este proyecto la posibilidad de realizar las voladuras mediante el secuenciado de barrenos mediante detonadores eléctricos con barrenos cebados en fondo mediante cordón detonante reforzado de 6gr.

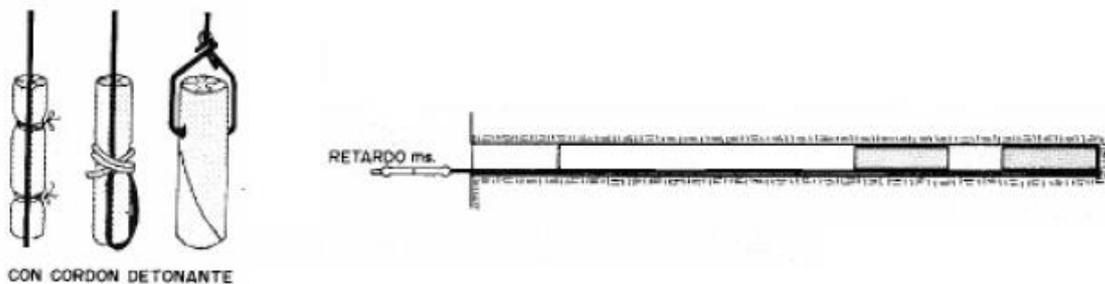


Figura 4.2-2 Cebado con cordón detonante ⁽⁶⁾

La utilización cordón detonante reforzado en lugar de sistemas de detonación no eléctricos cebado en fondo es debido a que se trata de una roca muy cristalina que podría cortar la voladura y hacer que los cartuchos de fondo queden cargados con el detonador.

Dado que la explotación se encuentra próxima a una población urbana como máximo se detonaran dos barrenos con el mismo número de detonador y con una separación de 50 ms entre detonadores de números consecutivos.

4.3 Justificación de la planta

La admisión de la trituradora del primario determina el tamaño máximo de fragmentación de la voladura y viceversa. Es conveniente recordar que una buena fragmentación garantiza ahorro de tiempo y dinero en el proceso de carga y transporte además de evitar una segunda fragmentación del material. En la figura 4.2.2-1 se aprecia como varía el precio por tonelada en función de la fragmentación del material en los diferentes procesos de perforación, voladura, carga, transporte y trituración.

Optimización de los costes de producción

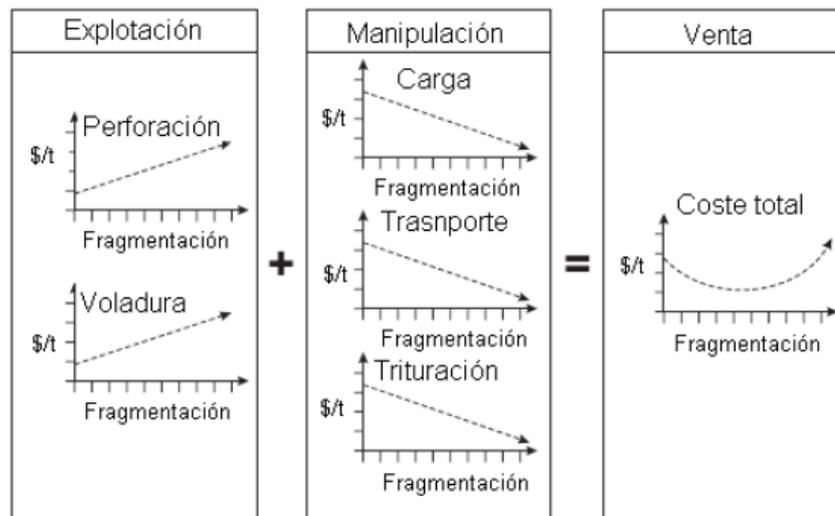


Figura 4.3-1 Costes de producción en relación a la fragmentación de la roca

El grado de fragmentación es un término genérico utilizado para definir la distribución granulométrica del material volado. Según el tipo de proyecto que se desarrolle la granulometría deseada de la roca puede ser muy diferente.

Por ejemplo, en canteras de escollera se busca un mayor volumen del tamaño de la roca, mientras que en minas a cielo abierto el estéril no interesa triturarlo demasiado, al contrario del mineral, que se va a triturar y moler hasta tamaños muy finos, etc.

Sobre la fragmentación influye un gran número de variables controlables además de las características propias del macizo rocoso. En este caso con la voladura realizada se busca un tamaño adecuado para la planta, que en caso de no ser admitidos por una trituración primaria servirían como producto de escollera, y además se produzca el mayor esponjamiento de la roca y desplazamiento para facilitar las labores de carga y transporte del material.

5 Planta de tratamiento

Una vez conocido el material resultante de la voladura, comienza el proceso de trituración (primaria, secundaria y terciaria) y el cribado que dará el valor definitivo al material obtenido mediante perforación y voladura.

5.1 Parámetros de trituración

Los principales requisitos para poder definir los equipos de trituración de la planta de tratamiento son:

- Dimensión máxima de entrada ($D_{m\acute{a}x.}$).
- Dureza y abrasividad del material.
- Humedad y adherencia del material. Plasticidad.
- Caudal.

- Razón de reducción.
- Granulometría del producto de salida.
- Forma del producto de salida.
- Robustez y mantenimiento de la máquina.

5.1.1 Dimensión máxima de entrada

Este factor condiciona la boca de entrada.

Formas de determinar $D_{m\acute{a}x}$:

Colocando un emparrillado a la entrada de la tolva de alimentación de la máquina de trituración.

Mediante una tabla que relaciona $D_{m\acute{a}x}$. También puede venir como límite por el proveedor, o por la etapa de anterior de trituración.

El valor $D_{m\acute{a}x}$ permite definir la etapa de trituración y en consecuencia, el tipo de máquina más conveniente para cada etapa.

En el caso del puesto primario el $D_{m\acute{a}x}$ viene determinado por los bolos de mayor tamaño que se obtienen de la voladura, en el caso de que sean de gran tamaño dichos bolos serán comercializados como escollera, el resto del material obtenido se calcula su granulometría aproximada a partir de un software análisis de imágenes.

5.1.2 Dureza y abrasividad

La dureza de una roca se entiende como la resistencia a compresión que es capaz de aguantar.

Según su dureza se pueden clasificar las rocas en:

- Materiales blandos ($< 1000 \text{ Kg/cm}^2$): Yeso, Pizarras, Carbón, Cal.
- Materiales medios ($1000 - 1500 \text{ Kg/cm}^2$): Caliza, Dolomias, Areniscas.
- Materiales duros ($1500 - 2000 \text{ Kg/cm}^2$): Granitos, Basaltos, Marmol.

En nuestro caso se trata de un material blando, a pesar de que la cuarcita en general se trate como un material duro, la cuarcita que aparece dentro de la formación Barrios es una cuarcita muy cristalina y muy fracturada.

En cuanto a la abrasividad debida fundamentalmente al contenido en sílice, principal causante del desgaste en los equipos.

En el caso de nuestra cuarcita se trata de una roca muy abrasiva donde en algunos puntos de la explotación puede llegar al 97% de sílice cristalino dentro de su composición.

Las máquinas que mejor comportamiento tienen frente a estas propiedades en la etapa de trituración son:

- Materiales abrasivos: Mandíbulas, giratoria, autógenas.
- Materiales extraduros: Mandíbulas de doble efecto o tipo Blake.

- Materiales duros: Mandíbulas giratoria, autógenas.
- Materiales medios: Impactos.
- Materiales blandos: Cilindros.

Hay que tener en cuenta que la dureza es un factor excluyente técnicamente para determinado tipo de máquinas, sin embargo la abrasividad puede condicionar el uso económico de las mismas.

5.1.3 Humedad y adherencia. Plasticidad

En general todas las máquinas que trabajan por gravedad este factor les afecta negativamente.

En caso donde se encuentre un material con estas propiedades no es recomendable el uso de machacadoras de mandíbulas, ni giratorias.

Suele recomendarse las machacadoras de cilindros y con un comportamiento regular frente a la humedad, las de impactos.

En caso de encontrarnos un material duro y pegadizo lo que se hace un precibado que separen los finos que contienen mayor humedad y son los más adherentes.

Si el material es muy pegajoso y duro (Arcillas) es conveniente que se deslode mediante trommeles.

Plasticidad: Se recomienda trituradoras de impactos con un comportamiento aceptable.

5.1.4 Caudal

En las máquinas de presión (giratorias, mandíbulas, cilindros lisos) depende poco de la dureza del material.

En las trituradoras de impactos o en los molinos de cilindros dentados, el caudal si depende de la dureza del material.

El caudal depende del estado de conservación de la maquina ya sean las mandíbulas, el cóncavo y la campana... Los datos del fabricante en cuanto al caudal se refieren en las trituradoras con revestimientos nuevos. A igualdad de boca de admisión de la trituradora giratoria tiene mayor caudal que la de mandíbulas.

En la explotación en la que nos encontramos el tiempo que dura el transporte del material desde la voladura hasta la tolva de alimentación del puesto primario es de 15 minutos y con 4 camiones con capacidad en sus bañeras de 16 toneladas que realizan dicha trayectoria se consigue un caudal de 256 toneladas por hora.

5.1.5 Razón de reducción

Se denomina razón de reducción a la relación entre la dimensión de abertura de la malla cuadrada que permite el paso del 80% de la alimentación (D_{80}) y la dimensión de la malla

cuadrada que permite el paso del 80% del producto obtenido en la máquina (d_{80}). Y no debe confundirse con la relación entre la boca de admisión y el reglaje de la máquina.

En general en las máquinas de presión (máquinas de fragmentación gruesa), la razón de reducción varía entre 3/1 – 8/1; en máquinas de impacto la razón de reducción puede llegar hasta 30/1 y en las máquinas autógenas se alcanzan razones de 1000/1.

Cabe tener en cuenta que el porcentaje de finos aumenta a medida que aumenta la razón de reducción. Por este motivo usualmente se utilizan trituraciones sucesivas como se muestra en la siguiente figura ya que producen menos finos que la trituración en una sola etapa.

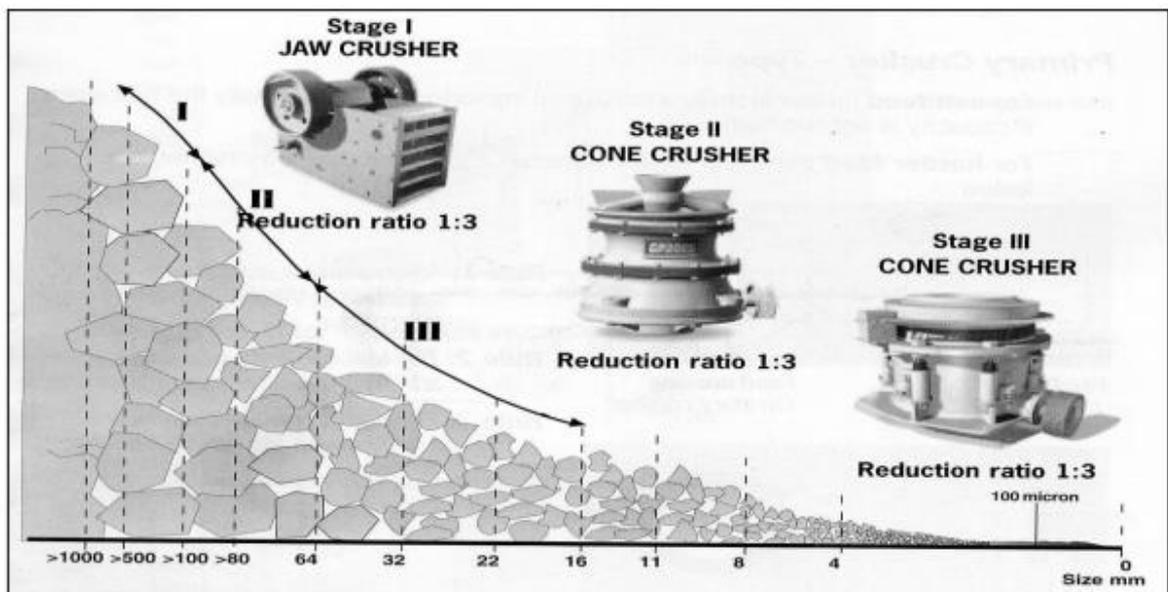


Figura 5.1-1 Razón de reducción en etapas sucesivas ⁽⁴⁾

5.1.6 Granulometría del producto de salida

Como ya se apuntó en el capítulo 1, para esta planta las granulometrías de los productos deseados son:

- Balasto (31,5-63mm)
- 12-20mm
- 6-12mm
- 0-6mm

5.1.7 Forma del producto de salida

La forma del producto de salida depende de la estructura interna del material, del tipo de roca, y del tipo de trituradoras empleadas.

Esta propiedad se refiere a la mayor o menor cubicidad de las partículas. La cubicidad es la relación entre la superficie de un cubo, de igual volumen que una partícula dada, y la de dicha partícula.

Como regla general, las máquinas que trabajan con razón de reducción media y alimentada a plena carga, dan productos más cúbicos que las subalimentadas o reguladas con razones de reducción próximas a la máxima.

Las giratorias dan mejor cubicidad que las mandíbulas.

Las mandíbulas lisas dan un material más lajosos que las mandíbulas acanaladas.

El principal producto que se quiere obtener es el balasto que no admite un material muy lajoso por ello es necesario tener especial cuidado a la hora de producir un material con la mayor cubicidad posible.

5.1.8 Robustez y mantenimiento de la maquina

En pequeñas instalaciones, interesan máquinas de una elevada robustez y mantenimiento sencillo, aunque ello conlleve disminuir el rendimiento de la operación, ya que en este tipo de máquinas suelen tener un mantenimiento bajo.

En instalaciones grandes, interesan maquinas con grandes rendimientos y por ello una robustez no tan elevada debido a que este tipo de máquinas tienen un alto grado de sofisticación y un elevado mantenimiento.

5.2 Selección de los equipos de la planta

En función de los parámetros que se han definido en el apartado anterior, se van a elegir los equipos de trituración necesarios para lograr los productos deseados, así como:

5.3 Puesto primario

Al puesto primario llegara la roca volada procedente de la cantera. Los bolos que llegaran serán de gran tamaño, por lo que será necesario triturarlos para poder llevar el material en por transportadores de banda para posteriores etapas de trituración.

Para triturar la piedra en el puesto primario, se suele optar entre tres tipos de trituradoras:

- Trituradoras giratorias.
- Machacadoras de mandíbulas.
- Molino de impactos.

Para elegir la maquina más adecuada para la planta, hay que regirse por los factores que ya se avanzaron en el apartado anterior. Los factores que afectan, principalmente, en la elección entre estos dos equipos son:

- Tamaño máximo de bloque (Admisión)
- Caudal
- Resistencia a compresión simple y abrasión

Como se puede apreciar en la siguiente figura, a la hora de decantarse por una machacadora de mandíbulas o por una trituradora giratoria, se debe tener en cuenta el caudal de roca a triturar.

Para un caudal de 256 t/h, medido en el puesto primario como se había definido en el apartado 5.1.4, y un tamaño de bloque de hasta 980mm, se estima que la trituradora ideal es una machacadora de mandíbulas.

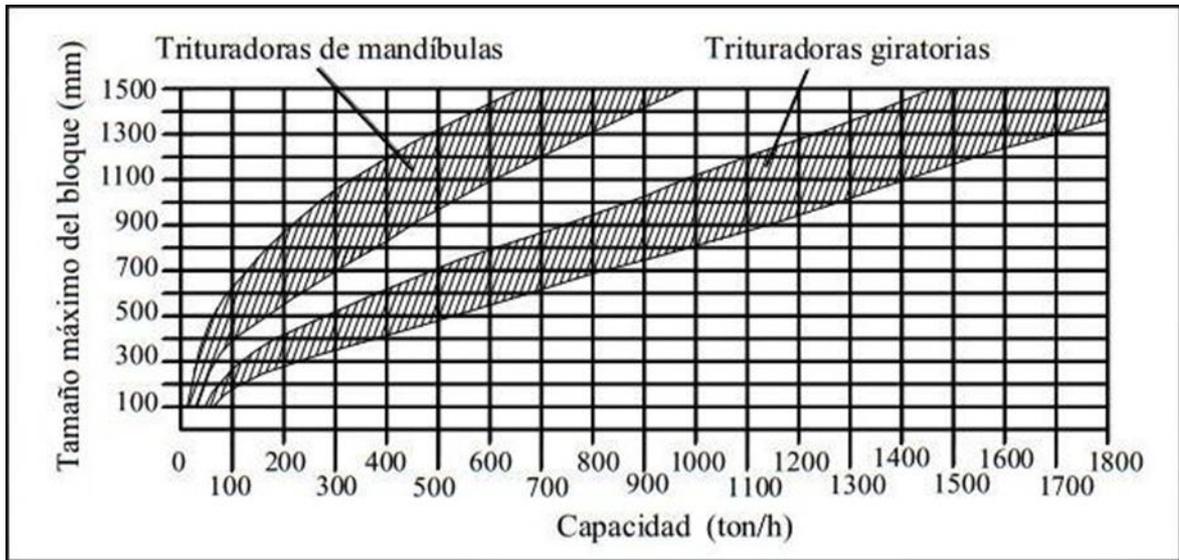


Figura 5.3-1 Machacadora de mandíbulas frente a giratoria ⁽¹⁰⁾

5.3.1 Dimensiones de una machacadora de mandíbulas

A la hora de dimensionar la machacadora de mandíbula se debe tener en cuenta los siguientes parámetros básicos:

- $D_{m\acute{a}x}$. y boca de admisión.
- Caudal y reglaje.
- Potencia absorbida y potencia del motor.

El $D_{m\acute{a}x}$. será el tamaño máximo de la malla que permita pasar el 100% del material tras la voladura.

En la figura 5.3.1-1 se muestra la curva granulométrica aproximada obtenida de la voladura, en ella se aprecia el porcentaje del material procedente de la voladura que pasa a través de las distintas mallas.

Curva granulométrica de la voladura

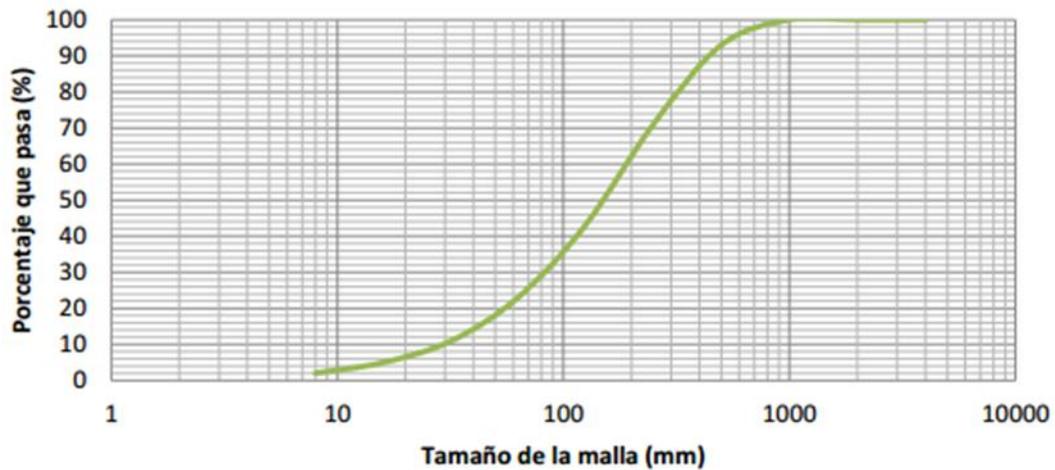


Figura 5.3-2 Curva granulométrica aproximada de la voladura

En la tabla se muestran los resultados que van a determinar la dimensión de entrada en el puesto primario.

Tabla 5.3.1-1 Cálculo del dimensionamiento del primario

Tamaño máximo de bloque ($D_{m\acute{a}x}$)	980 mm
Boca de admisión	1225 mm
Caudal	256 t/h

Como se muestra en la tabla anterior, la admisión de la machacadora será de 1225mm, en caso de que se encuentre bolos de mayor tamaño serán seleccionados antes de entrar en la tolva de la machacadora y serán comercializados como escollera o en su defecto serán reducidos con un martillo neumático.

El reglaje de la machacadora de mandíbulas se establece de manera, en el caso de la cuarcita, que pase por una malla cuadrada igual al tamaño del reglaje que se le ha dado a la machacadora entre un 60% y un 70% en el caso de la cuarcita. Ajustando el reglaje de la machacadora se consigue controlar la producción de los siguientes puestos, cerrando las mandíbulas se conseguirá una mayor razón de reducción a costa de reducir la producción.

La potencia absorbida por la machacadora viene dada por la fórmula de Bond:

$$P_a = 10 \times W_i \times \frac{1}{0,907} \times \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right)$$

Donde:

- P_a : Potencia absorbida (kW/h / t)
- W_i : Índice de Bond (En el caso de la cuarcita es $W_i = 12,9$)

- d_{80} : Malla que permite el paso del 80% de la alimentación expresado en μm
- D_{80} : Malla que permite el paso del 80% del producto de salida expresado en μm

Por otra parte para calcular la potencia del motor en una machacadora de mandíbulas es necesario multiplicar la potencia absorbida por 2

$$P_m = 2 \times P_a$$

Donde:

- P_m : Potencia del motor (kW/h / t)
- P_a : Potencia absorbida (kW/h / t)

5.3.2 Elección de la machacadora de mandíbulas

Para la elección de la machacadora de mandíbulas se han tenido en cuenta el dimensionamiento descrito en el apartado anterior.

La machacadora que mejor se adapta a las características antes descritas es el modelo C3054 de la marca Metso Minerals. Las características de la machacadora son las siguientes:

Tabla 5.3.2-1 Características de la machacadora de mandíbulas C3054 (5, 2009)

Anchura de la abertura de alimentación	1375 mm
Profundidad de la abertura de alimentación	800 mm
Reglajes admisibles (mm)	60 - 200
Reglaje en aplicación (mm)	90
Producciones (t/h)	210 - 670
Producción a reglaje 125 mm (t/h)	285 -365
Velocidad	260 rpm
Peso	25900 kg
Peso en operación	30300 kg

Alimentación

Para alimentar a la machacadora se instala un transportador de banda debajo de una tolva de 125m³ de capacidad. Este alimentador tiene una producción máxima de 450 m³/hora y para ajustarse al caudal con el que trabaja la machacadora, trabajara al 60% de su capacidad máxima. Después del alimentador se colocara una criba de escalpage con el fin de hacer que no pase todo el material por la machacadora.

Realizara tres selecciones; el primer grupo de material que pasara por encima de la criba y va a la machacadora, un segundo grupo que pasa entre los huecos pero no por los paños de la criba inferior, este grupo de material pasa al puesto de trituración secundario, y finalmente se tiene el material que atraviesa toda la criba y que por sus características

físicas no vale como balasto y sale fuera del circuito de trituración como zahorra. Tanto la zahorra como el material que se dirige al puesto secundario se envían con cintas transportadoras a sus respectivos puestos.

5.4 Puesto secundario

En el puesto secundario se va realizar otra trituración a partir del material procedente del machaqueo de la machacadora de mandíbulas y el material que pasa por encima del paño de la criba de escalpage. Al final de la trituración secundaria se realizara un primer cribado del que se obtendrá el balasto. El rechazo, que no cumplirá con las granulometrías deseadas para formar balasto, pasara a un puesto terciario donde se triturara hasta conseguir un tamaño de árido deseado.

5.4.1 Trituración secundaria

Por lo general los trituradores secundarios reducen el material hasta un tamaño de entre 10mm y 100 mm. Pudiendo obtener un producto final o un tamaño apropiado para ser enviado a una etapa terciaria.

Los equipos de trituración secundaria más utilizados son:

- Molino de cono
- Molino de impactos de eje horizontal

El molino de cono se utiliza cuando se requieren altas producciones y además el material que le llega es muy abrasivo.

Por otra parte los molinos de impactos de eje horizontal se utilizan cuando se necesitan grandes razones de reducción que muchos de ellos sobrepasan de 20 y pueden llegar a 40, el principal inconveniente en este tipo de trituradoras es el desgaste que se produce en sus elementos y es el principal factor que limita su utilización.

De modo que debido al gran desgaste que produciría la cuarcita se desestima el molino de impactos de eje horizontal y se elige el molino de cono que se adecua más al tipo de roca que se está tratando.

5.4.2 Dimensionamiento del cono secundario

Para dimensionar el molino de cono se ha de tener en cuenta:

- El tamaño al que debe reducir el material.
- Tamaño que llega del puesto primario.
- Cantidad de material procedente del puesto primario.

El tamaño de grano al que debe reducir el molino de cono para que pueda producir balasto y pase la norma debe ser de menor de 63mm. Para regular el tamaño de grano el molino dispone de un reglaje que permite un ajuste diario sencillo y que mantenga las mismas condiciones de triturado, además jugando con las velocidades y aumentando o

disminuyendo el tiempo que pasa el material en el molino se puede reducir la cantidad de finos que se produce durante el machaqueo.

A partir de la granulométrica que nos aporta el fabricante (figura 5.4.2-1) de la machacadora de mandíbulas se puede apreciar que el tamaño máximo que sale de la maquina en función del reglaje, en nuestro caso con un reglaje de 90 mm el tamaño máximo es de 140 mm. Este dato nos indicara el tamaño mínimo de la boca de admisión del molino y por tanto el tamaño de la cámara de trituración.

Graduación de productos indicativa

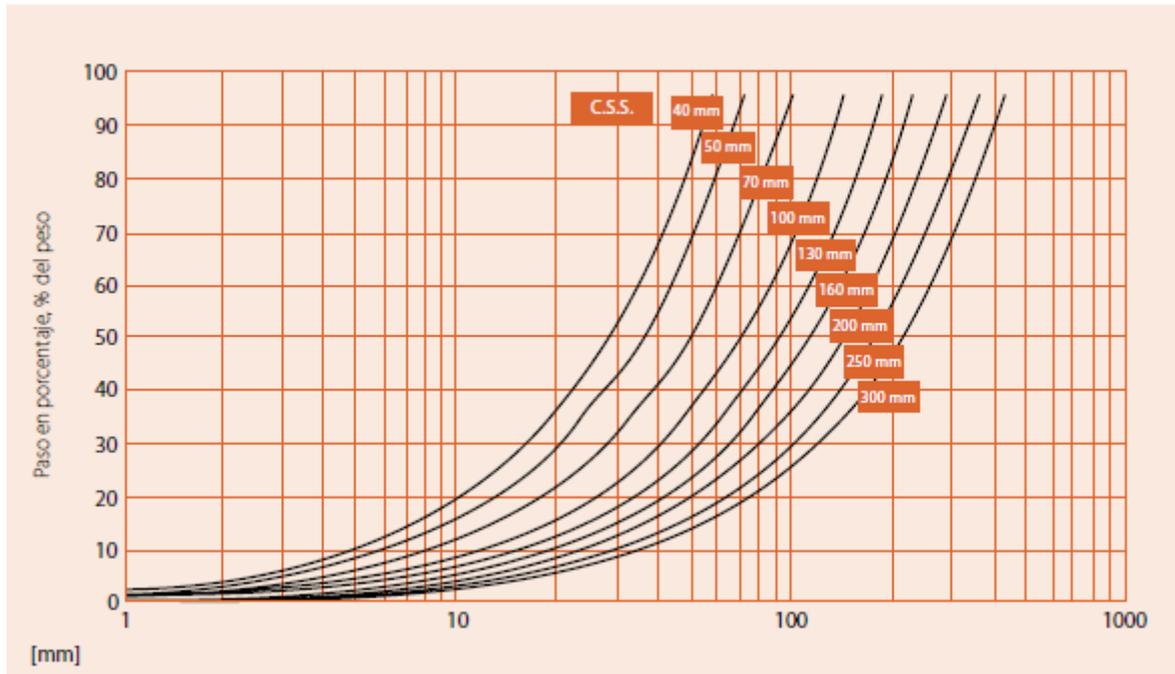


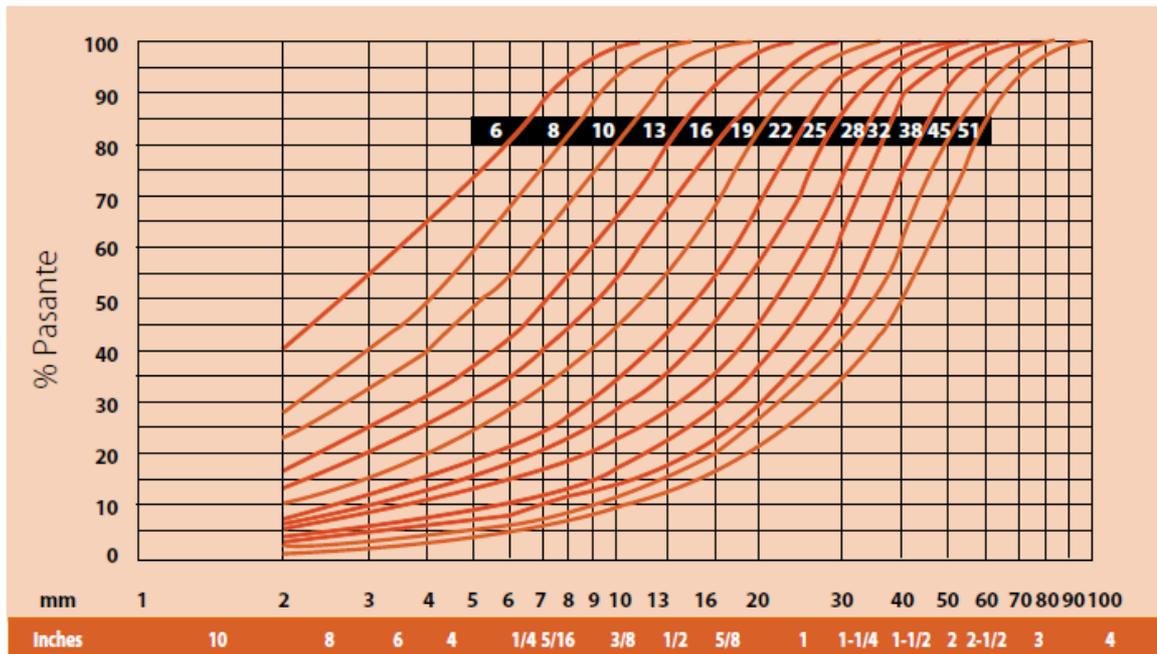
Figura 5.4-1 Curva granulométrica de la machacadora de mandíbulas C3054 (5, 2009)

En cuanto al caudal que le llega de parte de la machacadora de mandíbulas es un 20% del que llega al alimentador donde descarga los camiones, debido a que la criba de escalpage lo clasifica como zahorra. Por lo tanto el caudal va a ser inferior que el que le llegaba al alimentador de la machacadora de mandíbulas.

5.4.3 Selección del cono secundario

El molino de cono elegido es el HP300 de la marca Metso minerals. Es un molino de cono con una cámara de tamaño medio lo que permite hasta un reglaje mínimo de 16mm y una apertura de alimentación a dicho reglaje de 150 mm lo suficientemente grande para que pueda pasar todo el material que llega del puesto primario. Dado que con este molino se busca obtener un producto final como es el balasto con una granulometría determinada en las curvas de producción en función del reglaje se busca aquel que nos dé mayor cantidad de material entre 63mm y 31,5mm en nuestro caso como se ve en la figura siguiente se trata del reglaje de 38mm que aproximadamente nos da un 47% entre los valores antes mencionados.

Curvas granulométricas



% de pasantes por malla cuadrada en función del reglaje

Figura 5.4-2 Curva granulométrica del molino de cono HP300 (7, 2011)

Este molino con un reglaje hidráulico continuo permite mantener una producción continua sin grandes desviaciones con el tiempo y el desgaste del cóncavo y la campana del molino.

En la siguiente tabla se muestran las características del molino HP300 suministradas por el fabricante.

Tabla 5.4.3-1 Características del molino HP300 (7, 2011)

Tipo de cámara	Standard
Tamaño de cámara	Media
Apertura de alimentación	150mm
Reglaje	Reglaje hidráulico continuo de 0 a 51mm
Reglaje en aplicación	38 mm
Peso	15.810 kg
Producciones (t/h)	115 - 440
Producción a reglaje 38 mm	250 - 320
Potencia máxima	200 kW
Velocidad del contraeje (rpm)	700 - 1000

5.4.4 Alimentación

Para alimentar los trituradores de cono es aconsejable que trabajen a tragante lleno para ello es necesario un alimentador vibrante secundario capaz de mover una producción máxima de 250 t/h y para que sea más sencillo y rápido el encendido de la planta y posibles paradas por averías se instala una tolva encima del alimentador.

5.4.5 Clasificación

La clasificación es una operación obligada para cumplir con las especificaciones necesarias para que el producto pueda ser comercializado.

La clasificación se usa con los siguientes fines:

- Eliminar los finos y evitar la aparición de sobretriturados en las trituradoras.
- Separar por tramos granulométricos para su posterior comercialización.

5.4.5.1 Selección de la máquina de cribado

La selección de la máquina de cribado debe atender a los siguientes factores:

- Selección cualitativa: Tipo de criba, tipo de superficie cribante,... Todo ello en función de las características del material a cribar y los requerimientos de comercialización.
- Selección cuantitativa: Dimensiones de la criba. Esta selección se hace mediante datos y formulas empíricas.

Entre las diferentes máquinas que existen en el mercado para la clasificación de áridos como son:

- Criba de parrilla.
- Criba de rejillas.
- Cribas curvas.
- Trommel.
- Parrilla Ross
- Criba de discos.
- Criba de rodillos.
- Criba de sacudidas.
- Criba de resonancia.
- Criba Morgensen.
- Criba de vibración circular o elíptica.
- Criba de vibración rectilínea.

Se van a elegir las cribas de vibración circular, ya que puede tener de una a cuatro bandejas además de una gran campo de aplicación que va desde 0,3-120mm hasta 200-300mm. (2, 1996)

Este tipo de cribas suele tener una inclinación entre 15° y 20° necesaria debido a su vibración perpendicular a la superficie de cribado de 650 a 3000 r.p.m.

La elección de la futura criba dependerá de la capacidad necesaria a tratar un caudal de material por m² de paño de la criba. La capacidad de la criba se calcula mediante la fórmula de Testut:

$$C = 1,4 \cdot \frac{\rho_r}{\gamma} \cdot m^{0,6}$$

Donde:

- C: Capacidad por m² de superficie, t/h/m².
- ρ_r : Densidad real del producto a cribar.
- γ : Proporción de tamaños críticos.
- m: Dimensión de la abertura de malla, mm.

Y finalmente se calcula la superficie de cribado mediante el método de cálculo que pertenece a Juan Luis Bouso y se basa en la capacidad básica sobre el material pasante y se expresa con la siguiente formula:

$$S = \frac{T_p}{B \cdot f_i} \cdot f_s$$

Donde:

- S: Superficie de cribado que necesitamos, m².
- T_p: Tonelaje que debe pasar por la criba, t/h.
- B: Capacidad básica pasante, t/m²·h.
- f_i: Factores de corrección.
- f_s: Factor de servicio.

B (capacidad básica pasante) se encuentra tabulada al igual que los diferentes factores que componen f_i (factor de densidad aparente, factor de rechazo, factor de semitamaños, factor de rendimiento, factor de cribado en seco, factor de abertura de malla, factor de lajosidad, factor de posición de paño, factor de inclinación, factor de área libre); todos ellos se encuentran en el Anexo D. ⁽⁸⁾

5.4.5.2 Selección de la criba 1

Teniendo en cuenta lo expuesto en el apartado anterior se va a elegir una criba, a la que le llegara el material procedente del puesto de trituración secundario donde se encuentra el molino HP300; así a la criba le llegará un material con una curva granulométrica similar a la que se muestra en la siguiente figura.

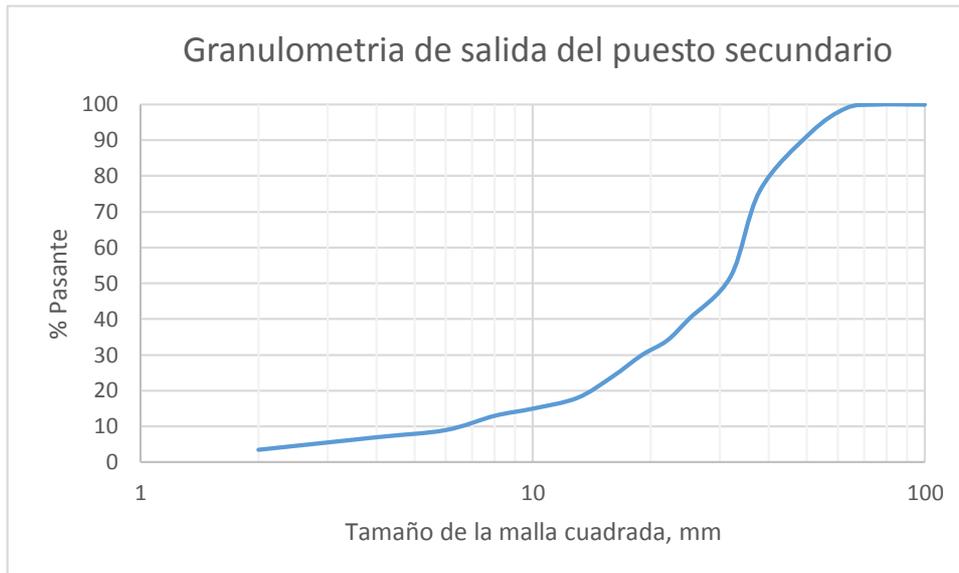


Figura 5.4-3 Granulometría de salida del puesto secundario

Con esta curva se obtienen los tamaños críticos necesarios para el cálculo de la capacidad de la criba en nuestro caso se colocan paños de 63mm y de 30mm que son los que darán el producto de balasto ya final y se colocara un paño de 6mm con el fin de eliminar la sobretrituración de finos en posteriores procesos de machaqueo y que además el producto pasante a través de él puede ser comercializado como arena triturado 0-6.

Obteniendo unas capacidades para cada piso de:

- $C_{63}=92,84 \text{ t/h}\cdot\text{m}^2$
- $C_{30}=48,39 \text{ t/h}\cdot\text{m}^2$
- $C_6=114,43 \text{ t/h}\cdot\text{m}^2$

Y una superficie de $11,32 \text{ m}^2$.

Además de estos datos he independientemente de la superficie necesaria, para que el espesor de la capa no sea elevado y se permita un cribado adecuado es necesario tener una anchura mínima. Esta anchura mínima se puede calcular de varias maneras y la más sencilla en nuestro caso será extrapolar el valor que más se adecue a nuestro caudal de la siguiente tabla:

Tabla 5.4.5-1 Anchura mínima en función del caudal ⁽⁸⁾

Anchura de criba mm	Tonelaje de Alimentación (ton/h)
600	75
900	175
1200	275
1500	350
1800	500
2100	650
2400	750

Atendiendo las diferentes granulometrías que se quieren obtener, así como la capacidad de la criba, la superficie y anchura mínima; se elige la criba CVL/S 200.60 de la marca ROHER. En la tabla siguiente, se muestran las características que proporciona el fabricante para este modelo.

Tabla 5.4.5-2 Características de la criba CVL/S 200.60⁽⁹⁾

Área de cribado	12 m ²
Anchura de la bandeja	2 m
Longitud de la bandeja	6 m
Número de bandejas	3 m
Inclinación de las bandejas	20°
Potencia	2 x 11 Kw
Peso	8400 Kg

En esta criba se montará: en la primera bandeja un paño de 63 mm de apertura y malla tejida; en la segunda bandeja se coloca un paño antilajas de apertura rectangular de 30mm por 63mm de malla tejida con el fin de que el balasto obtenido este dentro de la norma; finalmente en la tercera se coloca un paño de malla tejida de 6 mm.

El rechazo del primer paño (63 mm) y del tercero (6 mm) pasaran al puesto de trituración terciario mientras que el rechazo del segundo paño (63mm x 30mm) y el pasante del tercer paño irán cada uno a una tolva de almacenaje para que pueda ser comercializado como producto final y puedan ser cargados directamente en los camiones de transporte.

5.5 Puesto terciario

En esta etapa es donde se va a producir los productos 6-12 y 12-20 a partir del material que no se ha podido aprovechar en el puesto secundario y sale como rechazo de la criba anterior. El puesto terciario lo formara un triturador de cono para reducir el material procedente del puesto secundario y una criba para clasificar dicho material, estos trabajaran en circuito cerrado de tal forma que todo el rechazo procedente de esta criba vuelva a la trituradora terciaria.

5.5.1 Trituración terciaria

En esta etapa se va a triturar el rechazo proveniente de la criba del secundario con unos tamaños entre 75 mm y 6 mm.

Para triturar este material se va emplear un molino de conos frente al molino de impactos, principalmente por lo descrito en el apartado de trituración secundaria y sobre todo por el gran desgaste que produce una roca tan abrasiva como la cuarcita.

5.5.2 Dimensionamiento del cono terciario

Para dimensionar el molino de cono se ha de tener en cuenta:

- El tamaño al que debe reducir el material.

- Tamaño que llega del puesto primario.
- Cantidad de material procedente del puesto primario.

El tamaño de grano al que debe reducir el molino de cono para que pueda producir los áridos deseados y de mayor rendimiento económico debe estar entre 20mm y 6 mm para poder producir 6-12 y 12-20. Para regular el tamaño de grano el molino dispone de un reglaje que permite un ajuste diario sencillo y que mantenga las mismas condiciones de triturado, además jugando con las velocidades y aumentando o disminuyendo el tiempo que pasa el material en el molino se puede reducir la cantidad de finos que se produce durante el machaqueo.

A partir de la granulométrica de salida del puesto anterior que aparece en la figura 5.5.2-1. Se puede apreciar que el tamaño máximo que sale de la maquina es inferior a 75 mm. Este dato nos indicara el tamaño mínimo de la boca de admisión del molino y por tanto el tamaño de la cámara de trituración.

En cuanto al caudal que le llega de parte del molino del puesto secundario es el 41% del que pasa por el molino de cono secundario, debido a que la criba de excentricidad libre clasifica el 47% de ese material como balasto y un 12% como arena 0-6. Por lo tanto el caudal que le llegue al alimentador del puesto terciario estará en torno a las 110 t/h el que le llegaba al alimentador de la machacadora de mandíbulas.

5.5.3 Selección del cono terciario

El molino de cono elegido es el HP200 de cabeza corta de la marca Metso minerals. Es un molino de cono con una cámara trituración con una apertura de alimentación de 76 mm correspondiente al reglaje mínimo que permite este modelo de 10mm.

Tabla 5.5.3-1 Porcentaje pasante por la malla, según el reglaje ^(7, 2011)

Porcentaje pasante por la malla, según el reglaje													
	6	8	10	13	16	19	22	25	28	32	38	45	51
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98
63	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	95	90
51	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	92	82	68
38	100	100	100	100	100	100	100	98	95	90	76	62	50
32	100	100	100	100	100	100	95	90	79	69	52	42	36
25	100	100	100	100	98	94	85	74	60	49	40	33	28
22	100	100	100	100	95	88	76	63	51	42	34	28	25
19	100	100	100	98	92	82	68	57	46	37	30	26	22
16	100	100	99	92	80	69	55	46	36	29	24	20	18
13	100	99	92	78	66	55	43	36	28	22	18	16	14
10	100	93	81	66	55	45	34	30	23	18	15	13	11
8	94	82	69	55	45	37	28	24	19	15	13	11	10
6	82	67	55	43	36	29	22	19	16	12	9	8	7
4	65	49	40	32	26	21	16	14	11	9	7	6	5
2	40	28	23	17	13	11	8	7	6	4	3.5	3	2.5

Dado que con este molino se busca obtener como producto final las arenas 6-12 y 12-20 con una granulometría determinada en las curvas de producción en función del reglaje se busca aquel que nos dé mayor cantidad de material entre 20mm y 6mm en nuestro caso como se ve en la tabla anterior se trata del reglaje de 16mm que aproximadamente nos da un 57% entre los valores antes mencionados.

A continuación, en la tabla 5.5.3-2, se muestran las características, suministradas por el fabricante, del cono HP200 de cabeza corta.

Tabla 5.5.3-2 Características del molino HP200 (7, 2011)

Tipo de cámara	Cabeza corta
Tamaño de la cámara	Gruesa
Apertura de alimentación	76mm
Reglaje	Reglaje hidráulico continuo de 0 a 51mm
Reglaje en aplicación	16 mm
Peso	10.400 kg
Producciones (t/h)	90 - 250
Producción a reglaje 16 mm	140 - 180
Potencia máxima	132 kW
Velocidad del contraeje (rpm)	700 - 1200

5.5.4 Alimentación

Para alimentar los trituradores de cono es aconsejable que trabajen a tragante lleno para ello, en este caso con una producción no especialmente grande, bastara con que el molino este alimentado directamente por un transportador de banda sin la necesidad de un alimentador secundario o una tolva ya que la propia cámara de trituración del molino de cono hace la forma y la función de tolva.

5.5.5 Clasificación

Para la clasificación del material procedente del molino terciario se va a elegir las cribas de vibración circular, al igual que en el puesto secundario, ya que puede tener de una a cuatro bandejas además de una gran campo de aplicación que va desde 0,3-120mm hasta 200-300mm.

Este tipo de cribas suele tener una inclinación entre 15° y 20° necesaria debido a su vibración perpendicular a la superficie de cribado de 650 a 3000 r.p.m.

5.5.5.1 Selección de la criba 2

Teniendo en cuenta lo expuesto en el apartado 5.4.5.1 que trata sobre el dimensionamiento de una criba se va a elegir las más apropiada, a la que le llegara el

material procedente del puesto de trituración secundario donde se encuentra el molino HP200; así a la criba le llegará un material con una curva granulométrica similar a la que se muestra en la siguiente gráfico.

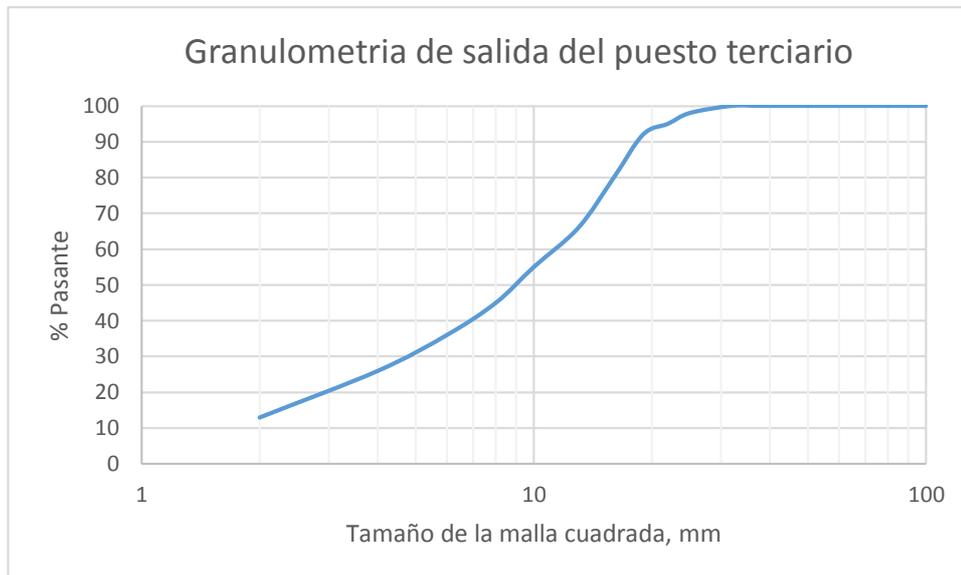


Figura 5.5-1 Granulometría de salida del puesto terciario

Con esta curva se obtienen los tamaños críticos necesarios para el cálculo de la capacidad de la criba en nuestro caso se colocan 3 paños uno de 20mm, otro de 12mm que son los que darán el producto de arena triturado 12-20 y un paño de 6mm con el fin de obtener arena triturado 6-12 y finalmente arena triturado 0-6.

Obteniendo unas capacidades para cada piso de:

- $C_{20}=49,75 \text{ t/h}\cdot\text{m}^2$
- $C_{12}=31,69 \text{ t/h}\cdot\text{m}^2$
- $C_6=38,82 \text{ t/h}\cdot\text{m}^2$

Y una superficie de $10,61 \text{ m}^2$

Además se recomienda una anchura mínima según la tabla 5.4.5-1 de 705 mm que se extrae a través de la interpolación de los valores más próximos a al caudal que le va a llegar al primer paño de 110 t/h

Atendiendo las diferentes granulometrías que se quieren obtener, así como la capacidad de la criba, la superficie y anchura mínima; se elige el mismo modelo de criba que en el puesto secundario; el modelo CVL/S 200.60 de la marca ROHER. En la tabla 5.4.5-2, que aparecen en el apartado anterior, se muestran las características que proporciona el fabricante para este modelo.

5.6 Almacenamiento

Para almacenar los productos ya cribados y listos para comercializar se va a utilizar tolvas situadas debajo de las cribas. Estas tolvas permiten descargar los productos directamente en camiones sin que se corran riesgos de que el material se contamine al estar en

contacto con otros materiales como se produce en el acopio en cajones de hormigón donde una misma maquinaria manipularía todos los productos y estos estarían en contacto con el suelo haciendo variar su granulometría y para poder comercializarlos sería necesario que fueran lavados.

En nuestro caso se trata de silos cilíndricos de 200 m³ de capacidad y 6 m de diámetro con cierre hermético accionado de forma neumática.

5.7 Diagrama de flujo

Para finalizar, en la figura siguiente, se muestra el diagrama de flujo de la instalación de trituración y cribado, donde se puede apreciar a simple vista todo el proceso además de la ubicación de los transportadores de banda y la granulometría que llegara a cada tolva.

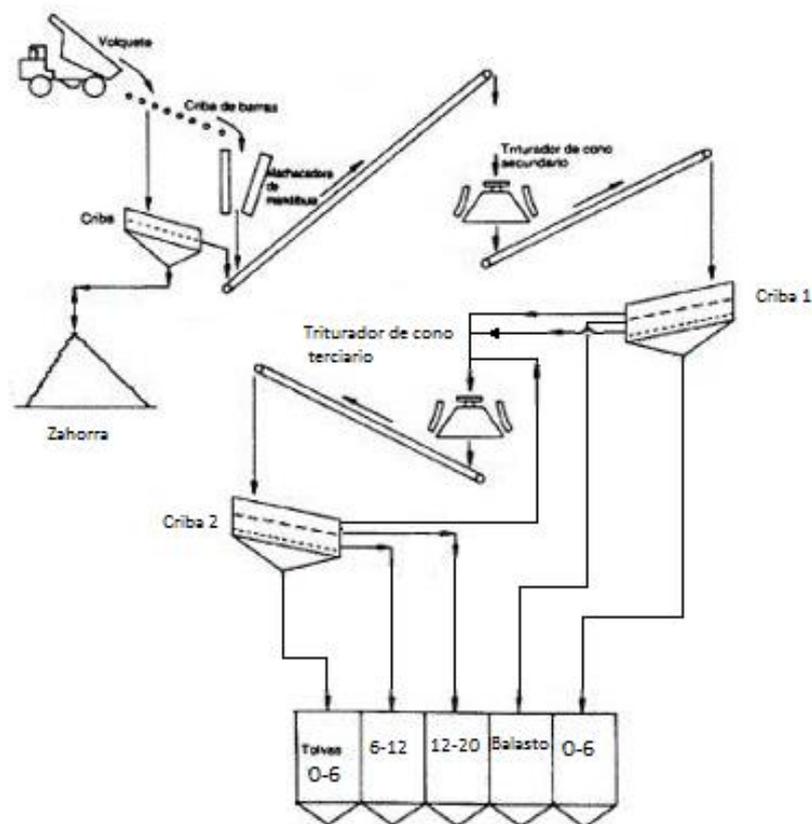


Figura 5.7-1 Diagrama de flujo de la planta

6 Productos finales

Los productos obtenidos después del proceso de trituración y cribado son los siguientes:

- Balasto tipo 1

- Árido 0/6
- Árido 6/12
- Árido 12/20

6.1 Balasto ⁽³⁾

Para que el balasto sea denominado como tal tiene que cumplir una serie de características.

6.1.1 Origen y naturaleza

El balasto debe proceder de:

- Extracción de roca de cantera, seguida de machaqueo, cribado y clasificación
- Reutilización de balasto procedente de obras ferroviarias

La roca para la extracción del balasto serán de naturaleza silíceo y preferentemente, de origen ígneo o metamórfico. Por lo tanto no se admitirán los de naturaleza caliza ni dolomítica.

El balasto no podrá contener fragmentos de: madera, materia orgánica, plásticos, metales, rocas alterables.

6.1.2 Granulometría

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, la curva granulométrica de balasto se debe ajustar a la siguiente granulometría:

Tabla 6.1.2-1 Curva granulométrica del balasto

Tamiz	Porcentaje que pasa (en peso)
63	100
50	70-99
40	30-65
31,5	1-25
22,4	0-3 ¹
	0-5 ²

¹ Para recepción de lotes situados en el centro de producción

² Para recepción de lotes situados en obra o acopio intermedio

6.1.3 Partículas finas

El ensayo para determinarlo se realizara según la norma UNE-EN 933-1:1998, mediante tamizado en vías seca.

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, se exigirán los siguientes valores:

Tabla 6.1.3-1 Porcentaje de partículas finas

Lugar de recepción del lote de balasto	Porcentaje del peso total de la muestra que pasa por el tamiz 0,50
En el centro de producción	$\leq 0,6\%$
En obra o acopio intermedio	$\leq 1\%$

6.1.4 Finos

El ensayo para la determinación de finos se realizara según la Norma UNE-EN 933-1:1998 mediante tamizado en vía húmeda, en los siguientes casos:

1. Cuando se observan claros síntomas de contaminación por finos (adherencia de polvo húmedo, barro, arcillas, etc.) en las piedras de balasto.
2. Cuando lo juzgue necesario el directo de obra.
3. Cuando el ensayo de partículas finas determine un contenido de estas superior al 0,6% del peso total de la muestra tamizada en vía seca

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, se exigirán los valores siguientes:

Tabla 6.1.4-1 Porcentaje de finos

Lugar de recepción del lote de balasto	Porcentaje del peso total de la muestra que pasa por el tamiz 0,063
En el centro de producción	$\leq 0,5\%$
En obra o acopio intermedio	$\leq 0,7\%$

6.1.5 Índice de forma

El ensayo para su determinación se realizara según Norma UNE-EN 933-4:2000, utilizando un pie de rey de tipo peine móvil y tomando como muestra, únicamente el material retenido por el tamiz 22,4

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, el porcentaje en peso de elementos no cúbicos con respecto al total retenido por el tamiz 22,4 será $\leq 10\%$

6.1.6 Longitud de las piedras

El ensayo se realizara midiendo con calibres o galgas apropiadas, sobre una muestra de balasto superior a 40 Kg.

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria el porcentaje de piedras cuya longitud máxima sea superior a 100 mm será $\leq 4\%$

6.1.7 Resistencia al desgaste-fragmentación

Se determinara mediante el ensayo de resistencia de Los Ángeles, según la Norma UNE-EN 1097-3:1999.

En función del tipo de línea y de sus condiciones de explotación, se exigirán los coeficientes de desgaste de Los Ángeles (CLA) siguientes:

Tabla 6.1.7-1 Desgaste de Los Ángeles

Ancho de vía (mm)	Velocidad máxima de la línea (km/h)	Tipo de línea (ver figura 2 del anexo E)	CLA	Tipo de balasto
≥ 1435	≥ 200	AVE, A o B	≤ 14%	Tipo 1
≥ 1435	< 200	AVE, A o B	≤ 16%	Tipo 2
≥ 1435	-	C(*)	≤ 20%	Tipo 3
< 1435	-	-		

(*) Son líneas secundarias y de poco tráfico, que generalmente no superan las 8 circulaciones/día

6.1.8 Resistencia a la meteorización por la acción de la helada

Cuando se disponga de un registro de datos que avale el comportamiento satisfactorio de un árido de balasto bajo condiciones meteorológicas similares a las de uso, se considerará que ese árido es aceptable. En caso contrario se realizarán los siguientes ensayos:

- Análisis petrográfico que permitirá detectar la presencia de piedras de elevada absorción, susceptibles de sufrir daño por acción del hielo-deshielo.
- Ensayo de densidad y absorción de agua según la Norma UNE-EN 1097-6:2001. En función de los valores obtenidos de absorción de agua respecto al peso total de la muestra, y para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, se llevarán a cabo las siguientes actuaciones:

Tabla 6.1.8-1 Ensayo absorción del agua

Porcentaje de absorción de agua respecto al peso total de la muestra (A)	Actuación a realizar
< 0,5	Aceptación del material
$0,5 \leq A \leq 1,5$	Realización del ensayo de resistencia a la acción del sulfato magnésico
< 1,5	No aceptación del material

- Resistencia a la acción del sulfato magnésico: Se realizará según la Norma UNE-EN 1367-2:1997 y el porcentaje de pérdida de peso respecto al inicial, tras diez ciclos de inmersión y secado, será ≤4%

6.1.9 Resistencia a la alteración Sonnenbrand

En ciertos basaltos y rocas que contengan sulfatos metálicos puede presentarse, bajo la acción atmosférica, un tipo de alteración denominada "Sonnenbrand" caracterizada por la aparición de puntos de color gris y blanco, seguida por microfracturas radiales en dichos puntos, que posteriormente se interconectan. Esto disminuye la resistencia del árido, e incluso, produce su disgregación posterior.

Si una explotación presenta los signos descritos anteriormente, se realizara un ensayo de ebullición según la norma UNE-EN 1367-3:2001.

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, la diferencia en los coeficientes de desgaste de Los Ángeles, antes y después de la ebullición será $\leq 5\%$.

6.2 Áridos 0/6, 6/12 y 12/20

Debido a las características mecánicas que posee la cuarcita hace que estos áridos sean recomendables en capas de rodaduras debido a la alta resistencia al desgaste y también puede ser utilizado como árido en la construcción.

6.2.1 Áridos para hormigón

Para que estos áridos puedan ser utilizados como árido de hormigón es necesario que pasen la Norma UNE EN 12620:2003 +A1: 2009: Áridos de hormigón.

6.2.2 Áridos para capa de rodadura

Para que los productos sean utilizados en capas de rodaduras es necesario que pasen la Norma UNE EN 13043/2003 y UNE-EN 13043:2003/AC:2004 Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas.

7 Presupuesto de la planta de trituración y cribado

El coste de cada equipo, así como el montaje, la formación del personal y la puesta en marcha se muestra en la siguiente tabla:

Modelo	Cantidad	Coste
Machacadora de mandíbulas Metso Minerals C3054	1	222 000 €
Molino de cono HP300	1	195 000 €
Molino de cono HP200	1	173 500 €
Criba de excentricidad libre Roher CVL/S 200.60	2	160 800 €
Alimentador de tablero Roher AT125.50	1	33 000 €
Criba escalpage Roher CVE/L135.25	1	57 000 €
Alimentador vibrante secundario Roher AVS 80/135	1	24 400€
MONTAJE		30 800 €
TOTAL		896 500 €

Lista de referencias

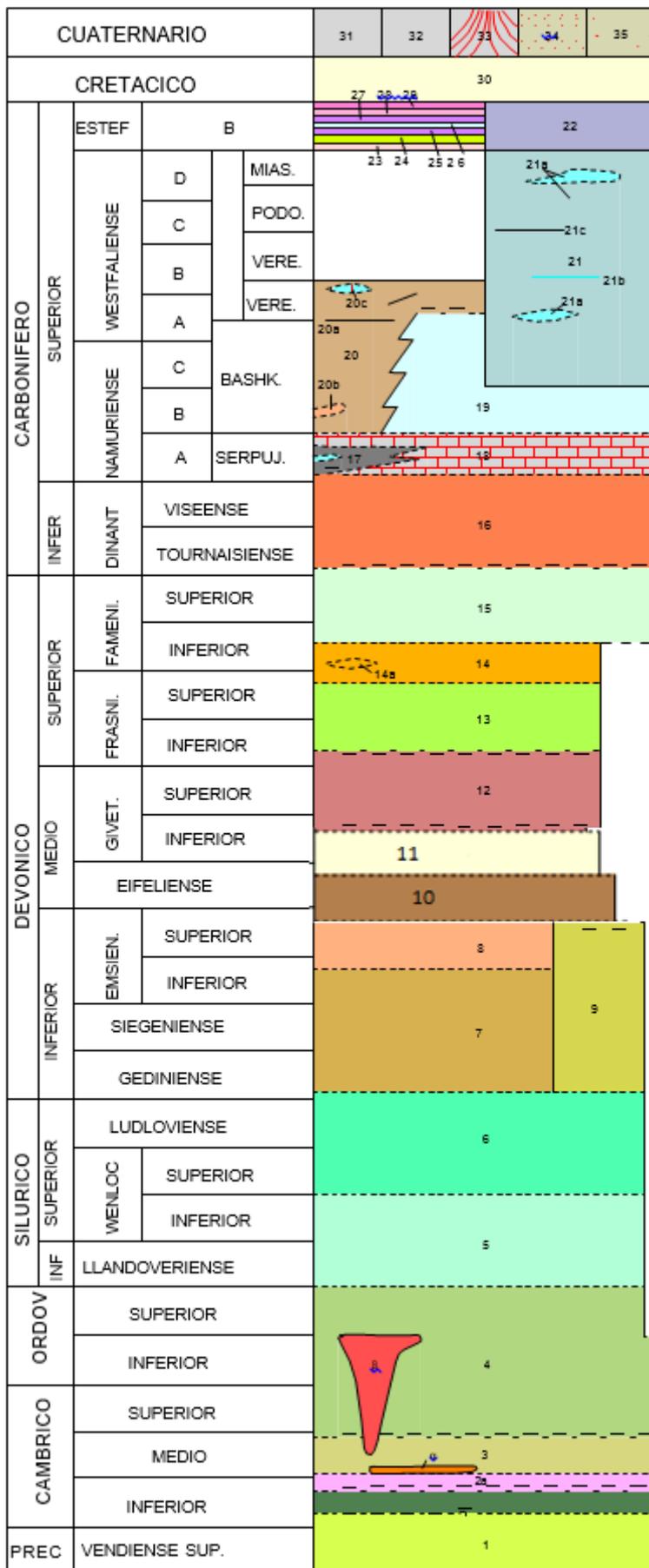
1. (s.f.). *J.L. Alonso, P. Farias, L.R. Rodriguez Fernandez, A. Suarez, F.J. Villegas*. Obtenido de IGME: <http://info.igme.es/cartografia/magna50.asp?hoja=103>
10. (s.f.). *Trituradores-de-roca*. Obtenido de <http://trituradoras-de-roca.com/wiki/1763.html>
2. (1996). Alvarez, Ramón. En m. y. Trituración. Fundación Gomez Pardo.
3. (s.f.). *BOE*. Obtenido de <http://www.boe.es/boe/dias/2006/05/01/pdfs/A16891-16909.pdf>
4. (s.f.). *Educación Chile*. Obtenido de http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_odas_2012/5%20Mineria/ODA%2024_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf
5. (2009). *Machacadoras Metso Serie C*. Tampere: Kirjapaino Öhrling.
6. (s.f.). Manual de perforación y voladura de rocas. En I. T. España.
7. (2011). *Molinos de cono Nordberg serie HP*. Francia: Comimpress.
8. (s.f.). *Open Course Web de la Universidad Politécnica de Cartagena*. Obtenido de http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5551/mod_resource/content/1/Tema_6_-_Cribado.pdf
9. (s.f.). *Roher*. Obtenido de <http://www.roher.es/>

Anexo A: Leyenda Magna 50 103

LA POLA DE GORDÓN	103
	13- 7

L E Y E N D A

- 35 Avalanchas derocas
- 34 Depósitos glaciares, llanuras y depósitos proglaciares
- 33 Coluviones, canchales y abanicos torrenciales
- 32 Flujos y movimientos en masa 31 Llanura aluvial
- 30 Arenas y arcillas (Utrillas)
- 29 Alternancia de areniscas, pizarras y capas de carbón
- 28 Areniscas, conglomerados fluviales, lutitas y capas de carbón (Fm. Bienvenidas)
- 27 Lutitas con carboneros y 5 capas de carbón (Fm. San José)
- 26 Lutitas, areniscas, carboneros y suelos de vegetación (Fm. Roguera)
- 25 Lutitas arenosas, areniscas y carbones (Fm. Cascajo)
- 24 Lutitas, areniscas, capas de carbón y conglomerados fluviales (Fm. Pastora)
- 23 Conglomerados calcáreos y dos capas de carbón (Fm. San Francisco)
- 22 Conglomerados cuarcíticos, areniscas, lutitas. 25a Carbón (Estefaniense-Cuenca de Canseco)
- 21 Alternancia de pizarras y areniscas, limolitas, calizas y algunos carboneros.
24a Nivel calcáreo (Grupo Lena y Grupo Sama?); 24b Capas de carbón; 24c Areniscas
- 20 Calizas grises bioclásticas y/o bioconstruidas, margas, lutitas areniscas, brechas calcáreas. 23a Areniscas; 23b Conglomerados; 23c Nivel calcáreo (Fm. San Emiliano)
- 19 Calizas grises claras masivas, bioclásticas y bioconstruidas (Fm. Valdeteja)
- 18 Calizas micríticas negras, fétidas y tableadas, localmente deslizadas (Fm. Barcaliente)
- 17a Niveles calcáreos (Fm. Olleros)
- 17 Alternancia de lutitas y areniscas en secuencias turbidíticas con lentejones
- 16 Calizas encriníticas rosadas y blanquecinas.
Lutitas negras, niveles de lutitas y nódulos fosfáticos. Calizas rojas nodulosas y algunos niveles de lutitas intercaladas. Intercalación de radiolaritas (Fm. Baleas y/o Fm. Vegamian y, Fm. Genicera-Alba)
- 15 Areniscas, cuarcitas, areniscas ferruginosas, microconglomerados con intercalaciones de limolitas lutitas y biocalcarenititas en lentejones (Fm. Ermita) 14a Conglomerados polimícticos.
- 14 Lutitas con nódulos, areniscas en bancos finos
- 13 Areniscas, areniscas ferruginosas, lutitas y uno o varios tramos de calizas bioclásticas (Fm. Nocado)
- 12 Calizas grises bioclásticas y bioconstruidas con niveles intermedios de pizarras, margas y areniscas (Fm. Portilla)
- 11 Pizarras oscuras con algunos niveles de areniscas ferruginosas y niveles con nódulos (Fm. Huergas)
- 10 Calizas grises bioclásticas con intercalaciones margosas, calizas rojizas bioclásticas y margas rojizas y verdosas (Fm. Santa-Lucia) 9 Pizarras, calizas y dolomías (G. La Vid indeterminado)
- 8 Pizarras con intercalaciones calcáreas, margas y calizas encriníticas (Fms. Pizarras de Valporquero y Calizas de Coladilla)
- 7 Dolomías y calizas bioclásticas (Fms. Dolomías de Felmín y Calizas de la Pedrosa)
- 6 Areniscas ferruginosas con intercalaciones de areniscas blancas y lutitas. Areniscas tobáceas con niveles de tobas vitroarenosas. Niveles con concentración de lapilli (Fm. San Pedro)
- 5 Pizarras negras y marrones con intercalaciones de areniscas hacia techo (Fm. Formigoso)
- 4 Areniscas cuarcíticas y areniscas blancas, alternancia de lutitas y areniscas, tonstein de caolinita (Capa de Valverdin) (Fms. Barríos, Luarca, Getino y Viódo)
- 3 Pizarras verdes, lutitas grises y areniscas. Localmente con participación volcánica (Fm. Oville)
- 2a Calizas rojas nodulosas a techo (Fm. Lánchara)
- 2 Calizas y dolomías.
- 1 Areniscas, cuarzoarenitas, lutitas, limolitas, calizas y conglomerados (Fm. Herrería)
- β Rocas volcanoclásticas
- α Sills diabasa
- γ Rocas ígneas carbonífera



Anexo B: Cálculos voladura y perforación

RESUMEN DEL ARRANQUE

PERFORACIÓN

Tipo de roca..... Cuarcita
Diámetro del barreno.....4"
Altura del banco.....10m
Inclinación del barreno.....15°
Índice de perforabilidad.....40

Método.....Martillo en cabeza
Varillaje..... Barra MH + tubo guía
Barra de perf. /diámetro.....51mm
Barra de perf. /longitud.....3,5m

Voladura

Longitud del barreno.....12m
Malla de perforación.....20,25m²
Piedra.....4,5m
Espaciamiento.....4,5m
Sobre perforación.....1,22m

Explosivos

Carga de fondo

Tipo de explosivo.....Goma 2
Distribución de la carga.....31,05%
Longitud de la carga de fondo.....2,8m

Carga de columna

Tipo de explosivo.....Anfo
Distribución de la carga.....68,95%
Longitud de la carga en columna.....6,7m
Retacado.....2,5m
Carga de fondo.....20,83Kg
Carga de columna.....46,26Kg
Carga total del barreno.....67,09Kg
Carga específica.....0,30Kg/m³

Anexo C: Maquinaria de la planta

Alimentador de tablero Roher AT125.50

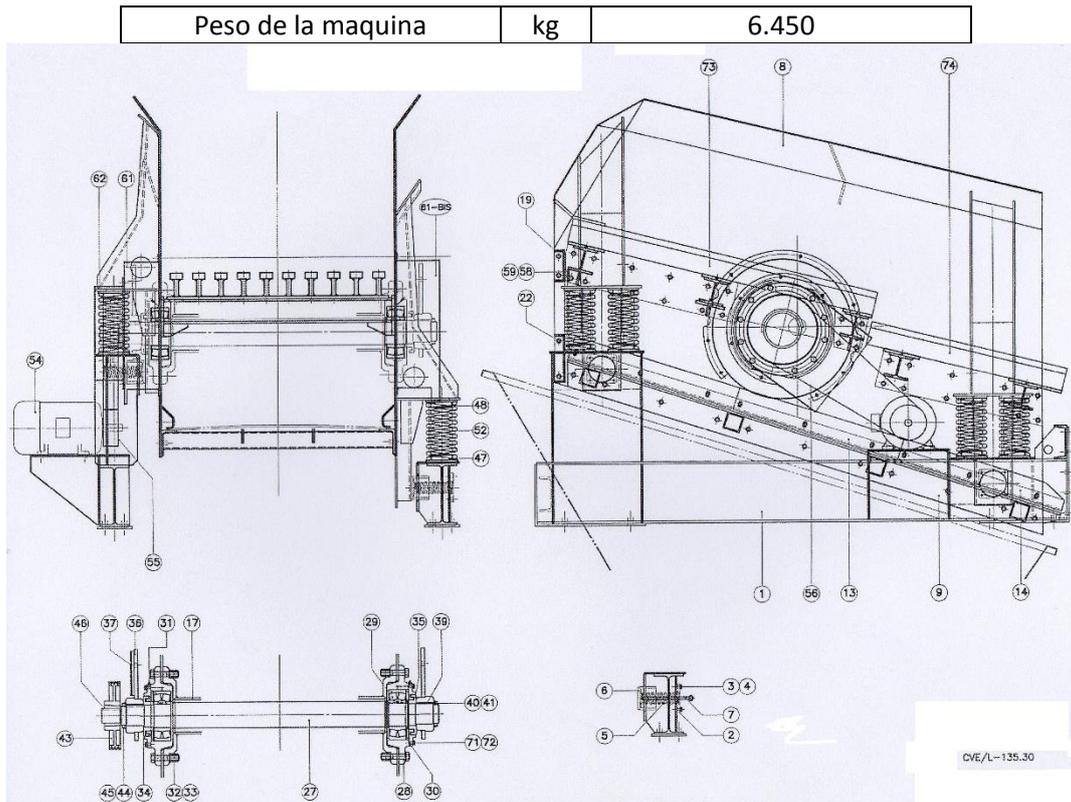


Ancho de tablero	Mm	1.250
Longitud entre ejes	Mm	5.000
Peso de la maquina	Kg	10.000
Potencia del motorreductor	kW	9,2
Producción máxima	m ³ /h	450

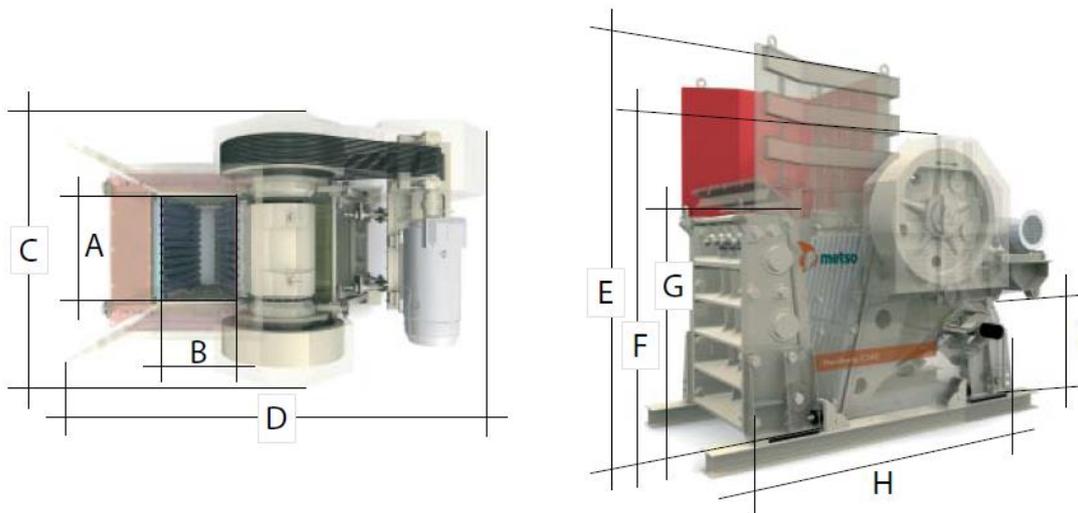
Criba escalpage Roher CVE/L 135.25



Ancho de bandeja	mm	1.350
Longitud de bandeja	mm	2.500
Peso máx. producto	kg	2000
Potencia	kW	15



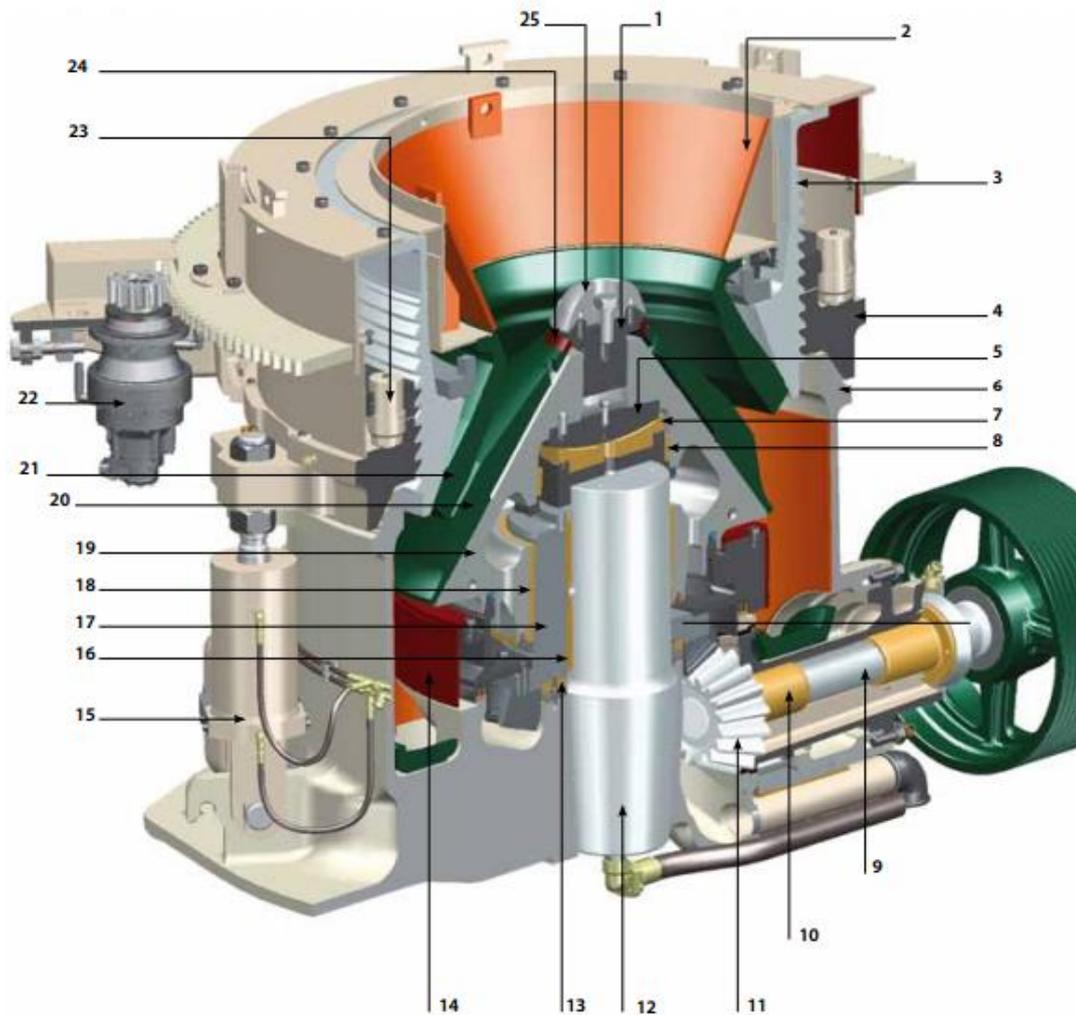
Machacadora de mandíbulas Metso Minerals C3054



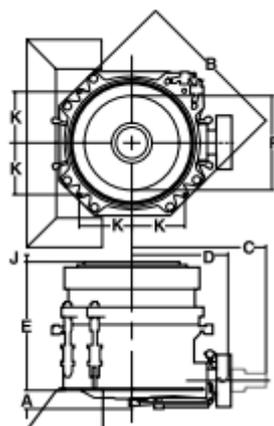
A	mm	1380
B	mm	760
C	mm	2640
D	mm	3540
E	mm	2470
F	mm	2470
G	mm	1080

H	mm	2950
I	mm	690

Molino de cono Metso Minerals serie HP

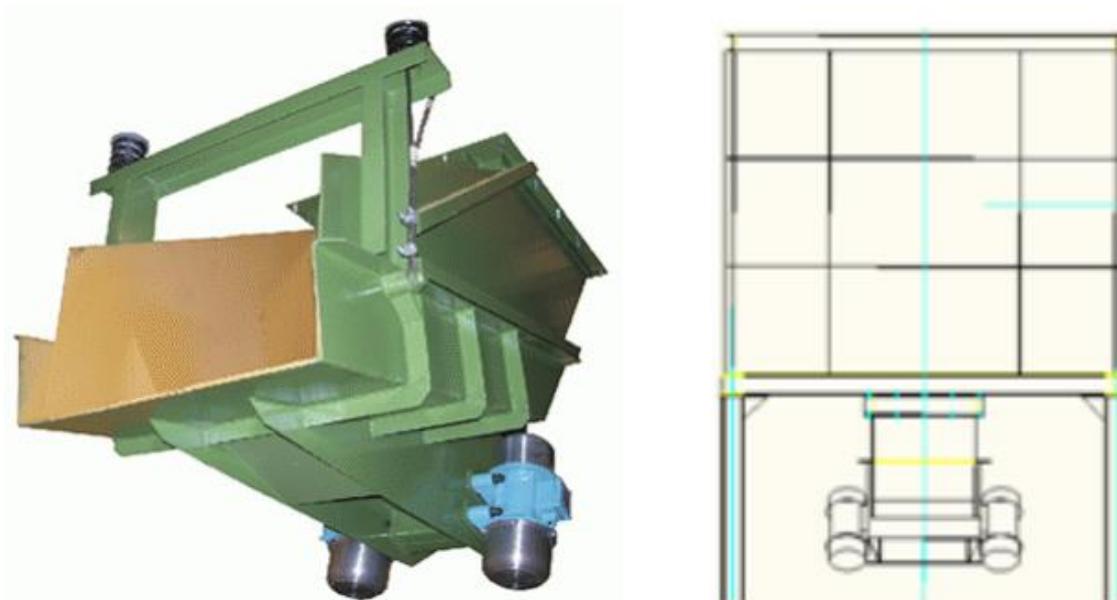


- | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 - Tornillo de bloqueo | 10 - Cojinetes de contraeje | 18 - Cojinete inferior de cabeza |
| 2 - Tolva de alimentación | 11 - Corona y piñón | 19 - Cabeza |
| 3 - Taza | 12 - Eje principal | 20 - Forro móvil |
| 4 - Anillo de ajuste | 13 - Cojinete de excéntrica | 21 - Forro fijo |
| 5 - Apoyo esférico | 14 - Blindaje del contrapeso | 22 - Motor hidráulico |
| 6 - Bastidor | 15 - Dispositivo de protección | 23 - Cilindros de bloqueo |
| 7 - Cojinete esférico | 16 - Cojinete de excéntrica | 24 - Arandela de apoyo |
| 8 - Cojinete superior de cabeza | 17 - Excéntrica | 25 - Cono distribuidor |
| 9 - Contraeje | | |



Modelos	HP200	HP300
Cotas		
A Distancia bajo molino de la tubería de aceite	297 mm	328 mm
B Cota total máxima del anillo de reglaje	1952 mm	2207 mm
C Cota necesaria para la extracción del contraeje	1840 mm	2020 mm
D Distancia hasta el extremo del contraeje	1160 mm	1347 mm
E Altura máxima	1630 mm	1865 mm
F Diámetro interno de la tolva de alimentación	914 mm	1078 mm
Cota necesaria para la extracción de la taza	2140 mm	2470 mm
Cota necesaria para la extracción de la cabeza	2165 mm	2455 mm
J Desplazamiento de la tolva debido a la carrera de desatascado	70 mm	85 mm
K Localización de los agujeros guía	545 mm	660 mm
Diámetro de evacuación de productos	1240 mm	1470 mm
Pesos		
Molino completo	10 400 kg	15 810 kg
Taza, revestimiento fijo anillo de reglaje tolva	2 680 kg	3 525 kg
Cabeza, mandíbula móvil y plato de alimentación	1 200 kg	2 060 kg
Potencia máxima recomendada	132 kW	200 kW
Velocidad del contraeje (rpm)	750-1200	700-1200

Alimentador vibrante secundario Roher AVS 80/135



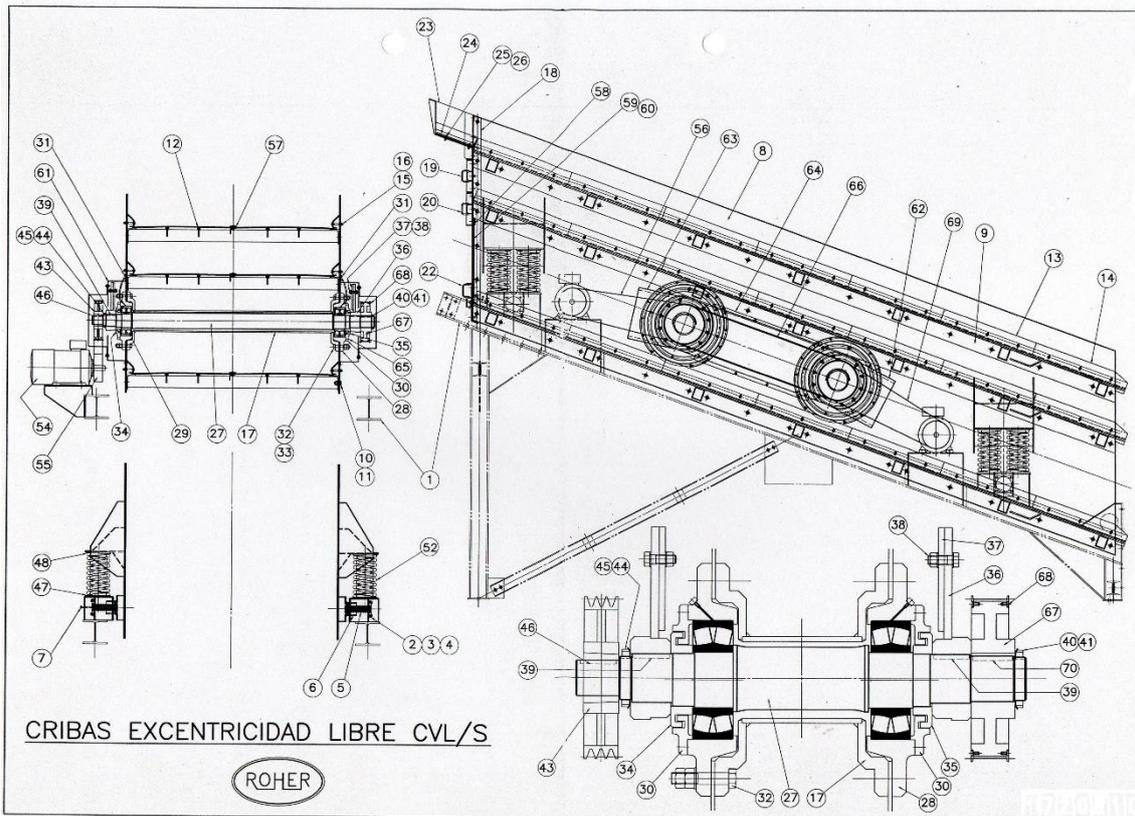
Alimentador y tolva de regulación

Producción	m ³ /h	250
Potencia	kW	2 x 1,1
Peso	kg	355

Criba de excentricidad libre Roher CVL/S 200.60 (2 unidades)



Ancho de criba	m	2,00
Largo de criba	m	6,00
Potencia	kW	2 x 11
Peso	kg	8 400



Anexo D: Cálculo de superficie de cribado

El método de cálculo de superficies de cribado utilizado pertenece a Juan Luis Bouso y se basa en la capacidad básica sobre material pasante de tal forma que queda la siguiente expresión:

$$S = \frac{T_p}{B \cdot f_i} \cdot f_s$$

Donde los parámetros que intervienen son los siguientes:

- S: Superficie de cribado que necesitamos, m².
- T_p: Tonelaje que debe pasar por la criba, t/h.
- B: Capacidad básica pasante, t/m²·h.
- f_i: Factores de corrección.
- f_s: Factor de servicio.

Capacidad básica (B)

Los valores de capacidad básica han sido obtenidos para materiales naturales (redondeados), materiales triturados (cúbicos), y para el carbón.

Cápacidad Básica B (ton/m².h)			
Luz de malla (mm)	Tipo de Producto		
	Carbón	Cúbico	Redondeado
0.50	2.0	2.7	3.5
0.80	2.6	3.4	4.4
1.00	2.8	3.7	4.9
1.25	3.1	4.1	5.5
2.0	4.0	5.3	7.1
4.0	6.0	8.0	10.5
5.6	7.5	10.0	13.0
6.3	8.1	10.8	14.0
8.0	9.4	12.5	16.0
10.0	10.8	14.4	18.6
12.5	12.5	16.6	21.5
16.0	14.3	19.0	25.1
20.0	16.5	22.0	29.0
25.0	19.5	26.0	33.4
31.5	22.5	30.0	37.9
40.0	26.0	34.7	42.5
50.0	29.3	39.0	47.4
63.0	33.0	44.0	52.0
80.0	36.8	49.0	57.0
100.0	42.0	56.0	63.0
120.0	47.3	63.0	68.0

Las condiciones bajo las que se ha obtenido esta capacidad son las siguientes:

Densidad aparente del producto: 1.6 t/m³.

- Malla de alambre de acero.
- Area libre de la malla: 50 %.
- Posición de la malla: Primera.
- Inclinación de la criba: 20°

- El rechazo del producto de alimentación: 25 %.
- Porcentaje de partículas inferiores a 0.5·m en el producto de la alimentación: 40 %.
- Rendimiento de cribado: 94 %.

Factores de corrección (f_i)

Debido a que la capacidad básica ha sido calculada bajo unas condiciones muy concretas surge la necesidad de aplicar unos factores a la capacidad básica que se ajuste a nuestras condiciones de operación

1. Factor de densidad aparente

Para valores de densidad aparente diferentes a 1,6 t/m³, el factor será el siguiente:

$$f_d = \frac{\rho_a}{1.6}$$

2. Factor de rechazo

En condiciones de cribado diferentes al valor establecido en la capacidad básica donde el porcentaje de rechazo constituye un 25% habrá que aplicar un coeficiente de rechazo que corrija dicho efecto. El valor de este coeficiente de rechazo para algunos porcentajes se obtiene de la tabla siguiente:

Porcentaje de Rechazo (R) (%)	Factor de Rechazo (f_a)
0	1.10
5	1.08
10	1.06
15	1.04
20	1.02
25	1.00
30	0.98
35	0.96
40	0.94
45	0.92
50	0.90

3. Factor de semitamaños

El valor de la capacidad básica, está calculado para unas condiciones de alimentación en las que el contenido de partículas que son inferior a 0,5·m (dimensión de la abertura de malla), es decir semitamaños, constituye el 40%.

En condiciones diferentes habrá que aplicar un coeficiente que corrija dicho efecto. El valor de este coeficiente de semitamaño se obtiene de la siguiente tabla:

Porcentaje de Semitamaño (%)	Factor de Semitamaño (f_s)
0	0.50
5	0.55
10	0.60
15	0.65
20	0.72
25	0.77
30	0.85
35	0.92
40	1.00
45	1.10
50	1.20
55	1.30
60	1.45
65	1.60
70	1.75
75	1.95
80	2.20
85	2.55
90	3.00
95	3.65

4. Factor de rendimiento

Para cribados con distintos rendimientos al valor de la capacidad básica habrá que aplicarles un coeficiente que corrija dicho efecto:

Rendimiento (E) (%)	Factor de Eficiencia (f_e)
98	0.60
96	0.85
94	1.00
92	1.05
90	1.12
85	1.26
80	1.41

5. Factor de cribado en seco

Este factor se emplea para cribados secos o con una humedad (H) inferior al 9% siendo su valor:

Humedad %	Factor de corrección (f_h)
≤ 3	1.00
$3 < H \leq 6$	0.85
$6 < H \leq 9$	0.75
$H > 9$	No se aplica (<i>Se debe cribar en húmedo</i>)

6. Factor de cribado por vía húmeda

Para cribados por vía húmeda (empleo de difusores de agua) hay que introducir un nuevo factor de corrección cuyo valor dependerá de la dimensión de la abertura de malla (m):

Luz de malla (m) mm	Factor de cribado en húmedo (f_a)
< 0.5	1.00
1.0	1.42
1.25	1.70
2.0	2.20
4.0	2.50
5.6	2.35
6.3	2.25
8.0	2.00
10.0	1.42
11.2	1.35
12.5	1.30
14.0	1.25
16.0	1.20
20.0	1.15
22.4	1.13
31.5	1.06
40	1.03
50	1.00

El empleo de agua en las cribas incrementa la capacidad de cribado en los tamaños intermedios.

7. Factor de abertura de malla

Este factor va a depender del tipo de abertura que posea la malla (cuadrada, rectangular y redonda) tomando como valor los siguientes:

Tipo de Abertura		Factor de abertura (f_m)
Cuadrada		1.0
Redonda		0.8
Rectangular l = largo a = ancho	2 < l/a < 3	1.15
	3 < l/a < 6	1.20
	l/a > 6	1.25

8. Factor de lajosidad

Se consideran lajas aquellas partículas cuya longitud es 3 veces cualquiera de las otras dos dimensiones, alto y ancho.

La presencia de lajas puede hacer disminuir la capacidad de la criba es por ello que se debe conocer el porcentaje de lajas que forman parte de la alimentación y aplicar el factor de corrección correspondiente:

% Lajas	Factor de corrección (f_l)
< 5	1.00
10	0.95
20	0.85
30	0.80
40	0.75
50	0.70
60	0.65
70	0.60
80	0.55

9. Factor de posición de paño

Las telas o paños inferiores no aprovechan toda su superficie útil en la operación de cribado, por ello habrá que introducir un factor de corrección que tenga en cuenta la posición relativa de la posición de cribado:

- Paño situado en el primer piso: 1,0
- Paño situado en el segundo piso: 0,9
- Paño situado en el tercer piso: 0,8
- Paño situado en el cuarto piso: 0,7

10. Factor de inclinación

El cálculo de la capacidad básica se ha realizado con la hipótesis de una criba inclinada a 20° (inclinación normal), debiendo introducirse un factor de corrección para inclinaciones menores.

- Cribas inclinadas (20°): 1,00
- Cribas inclinadas (15°): 0,96
- Cribas inclinadas (10°): 0,94

- Cribas inclinadas (5°): 0,87
- Cribas horizontales: 0,83

11. Factor de área libre

La capacidad básica ha sido calculada para una malla de alambre de modelo medio y un área libre del 50%. Por lo que cualquier cribado en el que estos parámetros difieran, será necesario introducir el factor de corrección de área libre correspondiente.

El área libre representa la superficie útil de cribado, sin tener en cuenta la superficie ocupada por los alambre. Por lo tanto a medida que aumenta el área libre, lo hace en la misma medida la capacidad.

Superficie Libre %	Factor (f_o)
25	0.50
30	0.60
35	0.70
40	0.80
45	0.90
50	1.00
55	1.10
60	1.20
65	1.30
70	1.40
75	1.50

Factor de servicio

Como la operación de cribado no va a ser perfecta: se incrementa el valor de la superficie de cribado en un 20% para operaciones normales ($f_s = 1,20$) y en un 40% para operaciones dificultosas ($f_s = 1,40$)

Superficie de la criba 1

$$S = \frac{T_p}{B \cdot f_i} \cdot f_s$$

Malla	63 mm	63 x 31,5 mm
T_p	250	240
B	44	30
f_i	1,5147	0,8535
f_s	1,20	1,20
S	4,50	11,24

	63 mm	63 x 31,5 mm
f ₁	1	1
f ₂	1,08	0,90
f ₃	1,10	0,77
f ₄	1	1
f ₅	1	1
f ₇	1	1,15
f ₈	0,85	0,85
f ₉	1	0,9
f ₁₀	1	1
f ₁₁	1,5	1,40

Superficie de la criba 2

Malla	20 mm	12 mm	6 mm
T _p	110	102	70
B	22	16,2	10,8
f _i	1,391	0,8983	0,70686
f _s	1,20	1,20	1,20
S	4,31	8,41	11,00

	20 mm	12 mm	6 mm
f ₁	1	1	1
f ₂	1,07	0,98	0,99
f ₃	1,30	0,97	0,85
f ₄	1	1	1
f ₅	1	1	1
f ₇	1	1	1
f ₈	1	1	1
f ₉	1	0,9	0,8
f ₁₀	1	1	1
f ₁₁	1	1,05	1,05

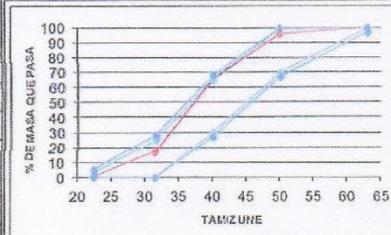
Anexo E: Ensayo de balasto



INECO
Paséo de la Habana 138
28036 MADRID 20018

GIKESA, se encuentra inscrito en el Registro General de Laboratorios de Ensayos para el control de calidad de la edificación con el nº de registro: PVS-L-005

NAV 3-4-0.2/4ª (2007)		INFORME ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE BALASTO			
EXPEDIENTE:20140050		FECHA DE TOMA:11/02/2014			
Nº INFORME:1676/2014		ALBARAN MUESTREO:35134			
MUESTRA DE LA CANTERA:		Nº DE PRECINTO :11 azul			
NATURALEZA DE LA ROCA:Cuarcita		FECHA MUESTRA CONFORME:11/02/2014			
FECHA INICIO DE ENSAYOS:11/02/2014		FECHA FIN DE ENSAYOS:13/02/2014			
MUESTREO:GIKESA s/ref.Plan maestro		PESO DE LA MUESTRA (kg):43281			
ANALISIS GRANULOMETRICO (Ap. 5.6)					
Tamices cuadrados abertura (mm)	% que pasa por los tamices (en peso)		C=Cumple IR=Rechazable		
	CUMPLE	ENSAYO			
63	100	100		C	
50	70-99	95,8		C	
40	30-65	65		C	
31,5	1-25	16,7		C	
22,4	CP	0-3	0,1	C	
	O-A	0-5			
Retenido entre 50-31,5		≥50	78,9	C	
ENSAYO			% EN PESO CUMPLE	% ENSAYO	CUMPLIMIENTO
LIMPIEZA(Ap.5.7)	PARTICULAS FINAS (%que pasa por tamiz 0,5mm UNE-EN 933-1)(vía seca)	CP	≤ 0,6	0,2	C
		A-O	≤ 1,0		
	FINOS (% que pasa por tamiz 0,063 mm UNE-EN 933-1) (vía húmeda)	CP	≤ 0,5	0,3	C
		A-O	≤ 0,7		
INDICE DE FORMA: Entre 22,4 y 63 mm			≤ 10	2,7	C
% ELEMENTOS ACICULARES Y LAJAS (Ap. 5.4)(L/E>3)					
ESPESOR MÍNIMO DE LOS ELEMENTOS GRANULARES (Ap.5.3)			(Máximo 27%)		
%Retenido entre 25 y 16 mm (C) y (C')			C=39,5-CLA	21,8	C
% que pasa por tamiz de 16 mm			≤ 5,0	1,6	C
% HOMOGENEIDAD (Ap. 5.2)			≤ 5	0,0	C
%DE PARTICULAS LONGITUD MÁXIMA > 100 mm (Ap. 5.5)			≤ 4	0,7	C
%COEFICIENTE LOS ANGELES (CLA)(Ap. 5.8)				12,0	C
TIPO 1: SISTEMA ALTA VELOCIDAD (≥ 200 km/h)			≤ 14		
TIPO 2: RED CONVENCIONAL (< 200 km/h)			≤ 16		
LÍNEAS TIPO "C" Y ANCHO DE VÍA INFERIOR AL UIC			≤ 20		



OBSERVACIONES: La incertidumbre de los ensayos se encuentra a disposición del cliente siempre que lo solicite.
CP:Centro producción A-O:Acopio-obra

MILAGROS LOSAÑEZ
Directora

Donostia,13 de febrero de 20104
GIKESA
Laboratorio de Ensayos

MARIA ROSARIO GARCIA
Responsable de Area

Nota: De acuerdo con los criterios generales establecidos en la norma UNE EN ISO/IEC 17025:2005 los resultados de este Acta de Resultados afectan únicamente a las muestras ensayadas quedando prohibida la reproducción parcial de este documento, salvo autorización por escrito de GIKESA.

C / Fernando Múgica 11, bajo • 20018 DONOSTIA • Tel. 943 35 23 23 • Fax: 943 35 37 47 • e-mail: gikesa@gikesa.net • www.gikesa.net

Ilustración 1 Ensayo control de calidad de balasto

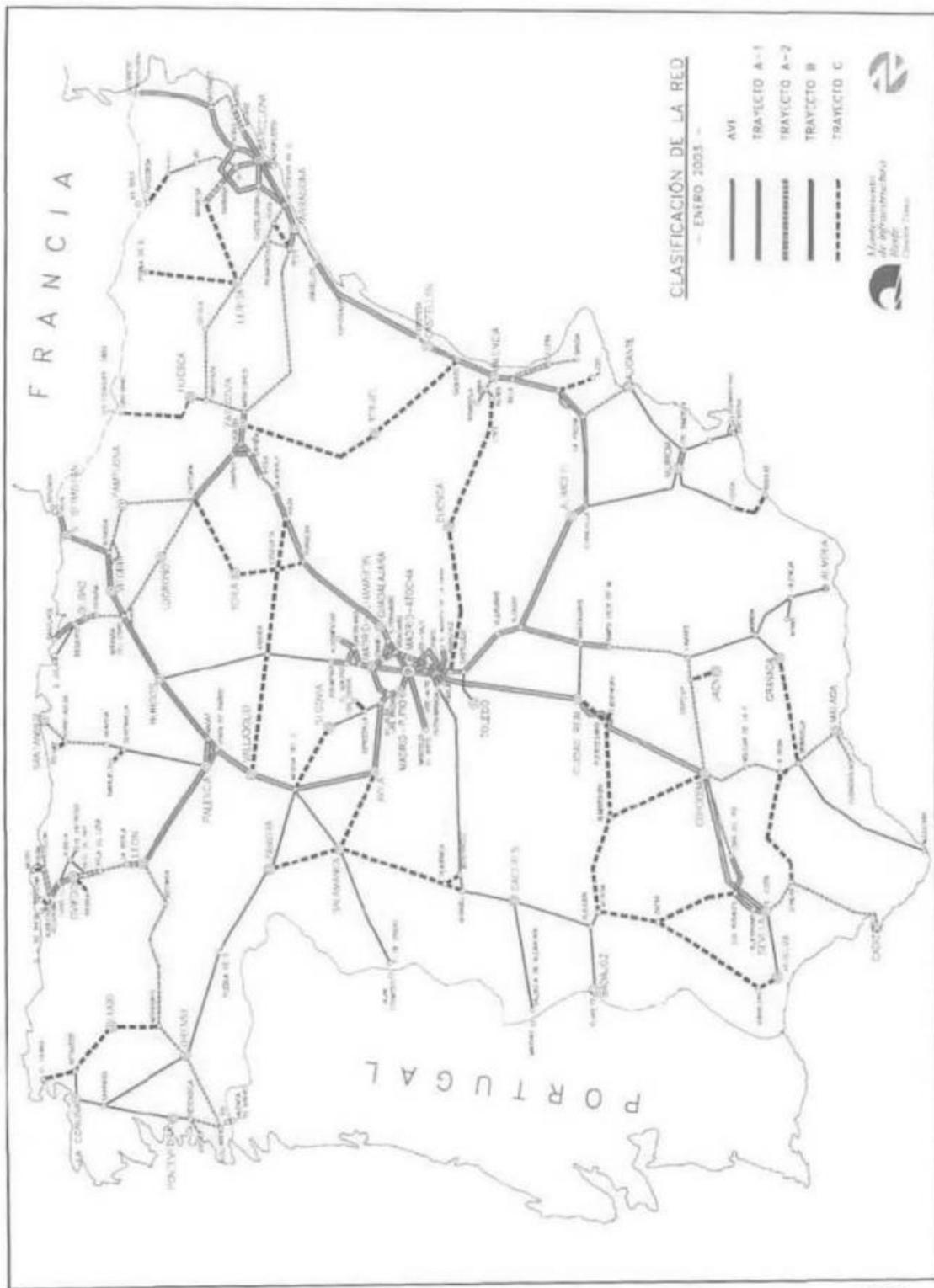


Ilustración 2 Clasificación de la red