

9.1. Clasificación I. Principios generales, definiciones

9.1.1. Granulometría de los productos

La fragmentación modifica el tamaño de los productos minerales desde aquel correspondiente al producto final del arranque, (D_{80} , D_{90} , D_{95}) hasta aquel otro tamaño que tiene utilidad para su uso en las etapas posteriores del proceso mineralúrgico (d_{80} , d_{90} , d_{95}). Durante este proceso se produce toda una gama de tamaños en las partículas que interesa clasificar por el concepto de tamaño utilizando definiciones del tipo dimensión característica, dimensión máxima, tamaño menor de uno dado, etc.

La clasificación es una operación mineralúrgica cuyo objetivo básico es separar los productos que ya tienen un determinado tamaño, o rango de tamaños, de aquellos que no reúnen las dimensiones adecuadas. En el proceso de clasificación no se modifica el tamaño de las partículas, no es el objetivo de la clasificación, si bien pueden producirse ligeras modificaciones por fricciones con el equipo u otras causas, pero no es este fenómeno el deseado.

La clasificación va, generalmente, asociada a la fragmentación en alguna de sus etapas, y se utiliza, además de para obtener productos de un determinado tamaño como objetivo principal, en los esquemas de fragmentación también se usa para diseñar circuitos cerrados con los equipos de fragmentación (conos y molinos) con el claro objetivo de optimizar los procesos en consumos de energía y en costes.

Se pretende, normalmente, obtener dos o más productos a partir de un todo uno, donde el criterio fundamental es el tamaño. Obtener un producto inferior a un cierto tamaño (d_{95}), y complementario a lo anterior se obtendrá un cierto porcentaje del material tratado con un tamaño mayor al indicado de corte. Algunos procesos o técnicas persiguen en su concepción la obtención de tamaños mayores a un valor como es el caso de la concentración por medios densos.

Los materiales, alimentación y productos obtenidos, se caracterizan por el tamaño de las partículas que lo componen y este valor se representa por una curva granulométrica, y de forma resumida por un valor característico dentro de esta curva granulométrica (p.e.: D_{90} , d_{90}). La curva granulométrica representa en abscisas los tamaños en unidades adecuadas (cm, mm ó μm), y en el eje de ordenadas el porcentaje del total que pasa por la malla para un tamaño dado. Su representación es del tipo indicado a continuación, usando para el eje de abscisas, normalmente, una escala logarítmica (en el ejemplo que se adjunta la escala es lineal).

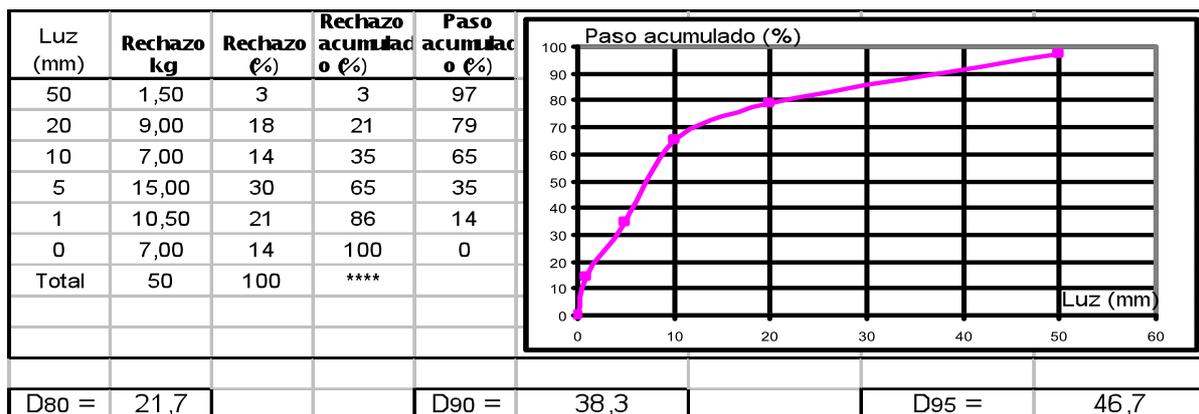


Figura 9.1. Análisis granulométrico.

La denominación mediante un número representativo como el D_{80} expresa el tamaño de la malla cuadrada teórica que produce un corte de tal forma que el 80% del producto es pasante, menor que el tamaño de malla, y el otro 20% es el rechazo o tamaño de los productos mayor que la malla.

En general, en el tratamiento de minerales, las operaciones de clasificación por tamaños son una parte principal de los circuitos, bien por su necesidad a lo largo de las operaciones de reducción de tamaño o para ajustar la granulometría de la mena a aquella que es capaz de tratar cada máquina de trituración o de concentración. Para el caso de expedición directa de materiales se adapta el tamaño a aquellos requeridos por el mercado o a la especificación indicada.

Para determinadas aplicaciones se utilizan definiciones adecuadas al uso y así para la fabricación de hormigones se define el “tamaño máximo de un árido”, según la norma UNE 7.050, como la mínima abertura de tamiz por el que pasa el 90% en peso y que además el 100% pasa por el tamiz de abertura doble. Igualmente se define el “tamaño mínimo” como la máxima abertura del tamiz por el que pasa un máximo del 10% en peso.

En general para los procesos mineralúrgicos se definen los tamaños máximos, mínimos y los definidos con los subíndices 50, 80, 90 y 95. Según los usos, cribado, clasificación, trituración o molienda es más corriente utilizar un índice u otro que se indicará en la descripción del equipo o durante el estudio de sus propiedades.

Los análisis granulométricos se representan mediante curvas en las que se indica en abcisa el tamaño ($x = d$) o el número de tamiz y en ordenadas el porcentaje en peso de pasante, tamaño menor que el valor de corte para ese escalón ($y = \% \text{ de pasante o rechazo}$), o rechazos acumulados.

Una representación normal utiliza en ordenadas el porcentaje de pasantes acumulado y en abcisas una escala logarítmica para los tamaños. Este tipo de representación da una forma de **S** estirada a la curva resultante y facilita la lectura en los tamaños menores por el efecto de la escala logarítmica. La escala logarítmica, al estar los tamices en una progresión geométrica o casi geométrica, da una buena representación de los finos y de los gruesos, quedan igualmente representados.

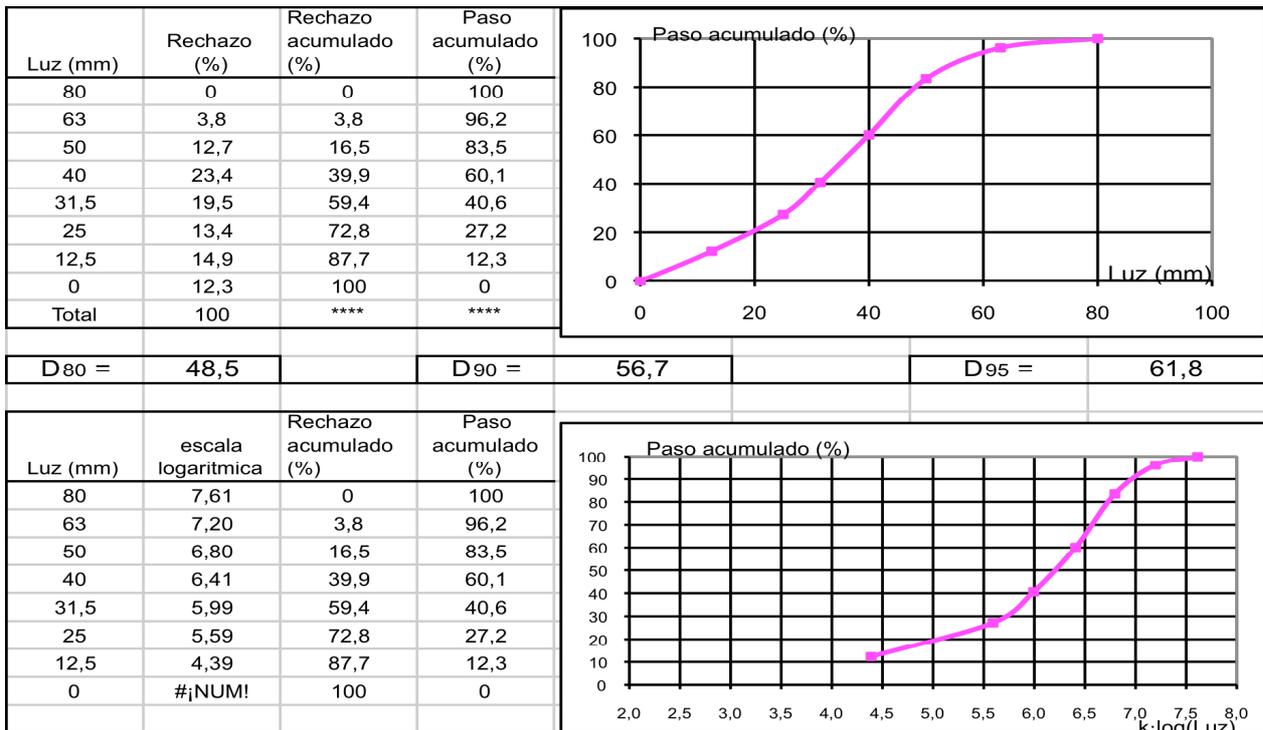


Figura 9.2. Análisis granulométrico, escala normal y logarítmica.

Para la determinación del análisis granulométrico se divide el material a estudiar en grupos colocados entre dos dimensiones que son los calibres de los tamices. El material entre dos tamices consecutivos tiene un tamaño menor a la malla superior y un tamaño mayor a la malla inferior o tamiz siguiente por lo que queda atrapado entre ellos. El estudio de la secuencia de tamices utilizada y su representación son las curvas indicadas anteriormente.

Interesa en la presentación de la información recoger los valores directos del ensayo y posteriormente operar los resultados y dar informaciones como paso o rechazo acumulado. La forma de la tabla de cálculo más usual es la representada anteriormente que indica en la primera columna los tamices por orden decreciente, en la segunda columna el peso del rechazo sobre cada tamiz, la siguiente columna contienen los mismos datos pero referidos al 100% del producto tamizado. La columna siguiente recoge los rechazos acumulados y la última los pasantes acumulados

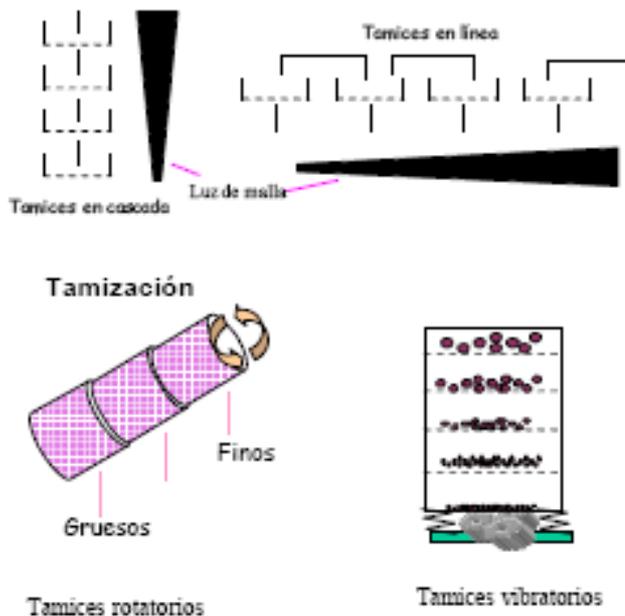
9.1.2. Determinación del tamaño

La medida del tamaño de las partículas se realiza por uno de los sistemas indicados, clasificados por el principio de operación. En la tabla que se da a continuación se detallan los márgenes más usuales de operación

- a) **Cribado.** Se utiliza un obstáculo físico para realizar la clasificación. Utilización de cribas de malla cuadrada calibrada para tamaños adecuados a la alimentación y de robustez suficiente.

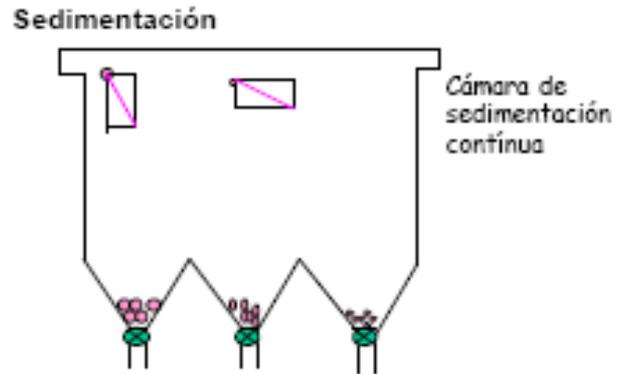


- b) **Tamizado.** El principio corresponde al paso o rechazo (probabilidad) por una malla tipo (estándar) del conjunto de partículas. Se emplean tamices (mallas calibradas) y es apto para tamaños entre 0,1 mm y 200 mm o superior (37 ó 40 μm límite inferior de los tamices).



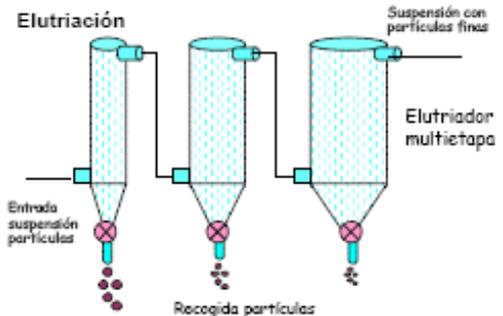
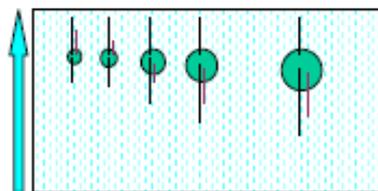
c) El cernido o cribado es una operación continua a diferencia de la tamización y puede llevarse a cabo en seco o en húmedo. Si la operación se realiza en seco, el tamaño de corte o separación puede llegar hasta aproximadamente 28 mallas Tyler (0,6 mm), por debajo de este tamaño se tiene una sustancial disminución en la capacidad de la máquina. En cambio, si la operación es en húmedo, el tamaño de corte puede llegar hasta 50 micras.

c1) **Sedimentación.** Se utiliza el principio de desplazamiento de las partículas en el seno de un fluido. Clasificación por sedimentación dentro de un fluido, normalmente agua. La diferente velocidad de caída permite diferenciar el tamaño de las partículas. Tamaños entre 2 mm y 20 micras (0,02 mm). Funciona por el principio de composición de velocidades (horizontal debida a la velocidad de entrada en la cámara y vertical por el efecto de la fuerza de la gravedad).



c2) **Elutriación.** El principio corresponde a la sedimentación de las partículas dentro de un fluido dotado de una velocidad ascendente que es posible regular, en la figura se regula pro modificación de la sección de paso, (gas para proceso en seco). Las partículas de determinado tamaño vencerán a la corriente y descenderán y otras serán arrastradas por la corriente efectuando una clasificación. Tamaño entre 2 μm y 100 μm .

El fluido se mueve en dirección contraria a la de sedimentación de las partículas



d) **Microscopio.** Tamaños inferiores a 2 μm .

| Método de determinación | Ud | Rango | Observación | Comentario |
|--------------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---|
| Cribado, malla calibrada | mm | De 200 a 0,1 ó 40 μm | Método industrial y laboratorio | Series de tamices |
| Elutriación (corrientes ascendentes) | μm | De 40 a 5 | Tamaño de Células eucariotas | De 200 μm a 10 μm |
| Microscopio (óptica) | μm | De 50 a 0,2 | Tamaño de Bacterias | De 5 μm a 1 μm |
| Sedimentación (gravedad) | μm | De 40 a 1 | Método industrial y laboratorio | |
| Sedimentación (centrífuga) | μm | De 5 a 0,05 | Método industrial y laboratorio | Tamaño de moléculas |
| Microscopio electrónico | μm | De 1 a 0,005 | Laboratorio | Tamaño de Ángstron |

Tabla 9.1. Métodos para la determinación de tamaños.

La *dimensión característica* se define por el tamaño de malla cuadrada por el que pasa el grano, y el *tamaño de malla* se identifica con el lado¹ de la malla cuando se identifica mediante cribado. Si el método de medida es otra tecnología se utilizan patrones y criterios del identificador.

Interesa, siempre que sea posible, que la determinación del tamaño de grano se realice con un sistema de medida que se asemejen los resultados al proceso industrial y así, si se va a concentra mediante flotación interesa que la determinación de los tamaños sea por gravimetría o elutriación según tamaños. El método debe estar en concordancia con el proceso industrial. Esto significa que el método de determinación del tamaño característico está afectado en alguna medida por la técnica utilizada.

Los métodos de clasificación y de control de tamaños que utilizan series de tamices tienen un límite en el entorno a las 40 micras tal como se ve en las series de tamices, el resto de procedimientos tiene límites en el entorno de la micra o incluso fracción de micra.

El control de la granulometría se realiza pesando una muestra, tomada conforme a las técnicas de desmuestra para que sea representativa, y cerniéndola en una serie de tamices escogidos dentro de las series normalizadas y montados de mayor a menor tamaño de paso. La muestra se vibra y se considera que para el análisis granulométrico se utilizan mallas cuadradas en posición horizontal y el tiempo de tamizado es el suficiente para que todos los granos inferiores a un tamaño de luz de malla hayan pasado por él.

Los tamices se escogen dentro de la serie, según interese por el uso posterior, siendo normal saltar algunos números por practicidad en la operación y posteriormente interpolar los resultados entre valores próximos.

Para identificar o realizar un control granulométrico hay que partir de un peso determinado y adecuado al material, obtenido mediante las técnicas de muestreo. La muestra deberá mayor a medida que aumenta el tamaño de los granos.

Elegidos los tamices que se van a utilizar se forma una columna, los tamices encajan unos en otros, de tal forma que el de luz de malla mayor esté en la parte superior, disminuyendo hasta el inferior y colocando un fondo ciego. La muestra se coloca en un vibrador horizontal y vertical que posibilita el paso de los granos.

Es importante resaltar que en el análisis granulométrico se utilizan mallas cuadradas en posición horizontal y que el tiempo de tamizado es el necesario para asegurar que, prácticamente, todos los granos inferiores a la luz de malla han pasado. Esto no se corresponde con la realidad práctica del cribado que dispone de un tiempo para el avance en la criba y puede o no, por razones de estadística, tamaño, etc., pasar o no aunque sea menor que el tamaño de malla.

Esta es la razón por la que se definen métodos y fórmulas para determinar la eficacia de las cribas y se dan valores adecuados o recomendados para su uso. En los métodos para la determinación del caudal se parte de unos parámetros tipo o referencia que se modifican según la operación deseada.

Existe un sistema de tamices normalizados para diversos países y se pueden relacionar como principales o más usados los indicados a continuación:



¹ El lado o dimensión característica es relevante en el caudal tratado por una superficie dada. El volumen tratado es proporcional al número de partículas de un tamaño igual o menor a uno dado y así se tiene: $V = n \cdot k \cdot d^3$. El paso por una malla cuadrada de dimensión dm , será, considerando que el caudal de paso es proporcional al cociente $Q = Vol/Sup = n \cdot k \cdot d^3/dm^2$; $Q = k1 \cdot d$ y si d es similar o proporcional a dm se tiene la proporcionalidad $Q = k2 \cdot dm$. El caudal es proporcional a la dimensión de la malla.

| Norma | País | Denominación | Escala | Observaciones |
|-----------------|-------------------------|---|----------------------|--------------------------------|
| Tyler | Internacional Mesh (**) | (*) Relación de tamices dada en tabla siguiente | 26,9 mm - 37 μ m | Relación de raíz 4 (2) |
| ASTM | Americana | ASTM Specification E-11-70 | 125 mm - 38 μ m | (3*) USA. Sieve series |
| Standard | Canadá | 8-Gp-1d | 125 mm - 38 μ m | Standard Tamices Canadienses |
| AFNOR | Francesa | Francia. AFNOR X-11-501 | 5 mm - 40 μ m | French Standart Specifications |
| BS | British Standard | BS-410.62 | 3,35 mm - 45 μ m | British Standart Institution |
| DIN | Alemania | DIN 4188 | 25 mm - 40 μ m | German Standart Specifications |
| UNE 7050 | España | (*) Relación de tamices dada en tabla siguiente | 125 mm - 40 μ m | Legislación española |

(*) Relación de tamices dados en tabla siguiente.

(**) Mallas por pulgada. Número de divisiones en la longitud de una pulgada, es necesario para el paso real considerar el espesor de los hilos. Al aumentar el número de mallas disminuye el tamaño de paso.

(3*) La relación básica es muy coincidente con la Tyler, aumentando el rango de tamices en la escala de tamaños mayores.

Los tamices de la serie de Tyler, ampliados para tamaños grandes por la serie de ASTM, corresponden a los recomendados por ISO como "Standar Internacional" y esa designación debe usarse cuando el análisis del tamiz sea reportado para publicación internacional.

Los tamices de la serie UNE, serie española, son de obligado uso en España, están normalizados por el CTE, marzo del 2006, que hace referencia a ellos en diversos apartados.

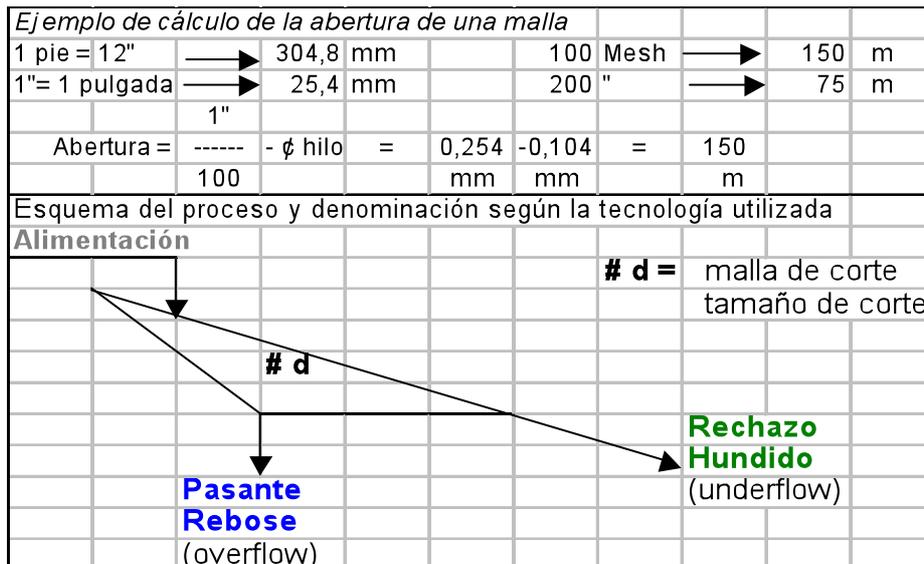


TABLA COMPARATIVA DE LAS SERIES STANDARDS DE TAMICES U.S., TYLER, CANADIENSE, INGLESA, FRANCESA Y ALEMANA

| U.S.A. (1) | | TYLER (2) | CANADIENSE (3) | | INGLESA (4) | | FRANCESA (5) | | ALEMANA (6) |
|------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|------------------|-------------------------|---------------|--------|-------------|
| Standard | Alternativa | Designación de Malla | Standard | Alternativa | Abertura Nominal | Número de Malla Nominal | Abertura M.M. | Número | Abertura |
| 125 mm | 5" | | | | | | | | |
| 108 mm | 4.24" | | | | | | | | |
| 100 mm | 4" | | | | | | | | |
| 90 mm | 3.54" | | | | | | | | |
| 75 mm | 3" | | | | | | | | |
| 63 mm | 2.54" | | | | | | | | |
| 53 mm | 2.12" | | | | | | | | |
| 50 mm | 2" | | | | | | | | |
| 45 mm | 1.75" | | | | | | | | |
| 37.5 mm | 1.5" | | | | | | | | |
| 31.5 mm | 1.25" | | | | | | | | |
| 26.5 mm | 1.06" | 1.05" | 26.9 mm | 1.06" | | | | | 25.0 mm |
| 25.0 mm | 1" | | | | | | | | |
| 22.4 mm | .875" | .883" | 22.6 mm | .875" | | | | | 20.0 mm |
| 19.0 mm | .75" | .742" | 19.0 mm | .75" | | | | | 18.0 mm |
| 16.0 mm | .625" | .624" | 16.0 mm | .625" | | | | | 16.0 mm |
| 13.2 mm | .530" | .525" | 13.5 mm | .530" | | | | | 12.5 mm |
| 12.5 mm | .5" | | | | | | | | |
| 11.2 mm | .441" | .441" | 11.2 mm | .441" | | | | | 10.0 mm |
| 9.5 mm | .375" | .371" | 9.51 mm | .375" | | | | | 8.0 mm |
| 8.0 mm | .315" | .315" | 8.00 mm | .315" | | | | | 6.3 mm |
| 6.7 mm | .265" | 3 | 6.73 mm | .265" | | | | | |
| 6.3 mm | .25" | | | | | | | | |
| 5.6 mm | No. 34 | 34 | 5.66 mm | No. 34 | | | | | |
| 4.75 mm | | | | | | | | | |
| 4.00 mm | 4 | 4 | 4.76 mm | 4 | | | 5.000 | 38 | 5.0 mm |
| 3.36 mm | 5 | 5 | 4.00 mm | 5 | | | 4.000 | 37 | 4.0 mm |
| | 6 | 6 | 3.36 mm | 6 | 3.35 mm | 6 | | | |
| 2.80 mm | 7 | 7 | 2.83 mm | 7 | 2.80 mm | 6 | 3.150 | 36 | 3.15 mm |
| 2.36 mm | 8 | 8 | 2.38 mm | 8 | 2.40 mm | 7 | 2.500 | 36 | 2.5 mm |
| 2.00 mm | 10 | 9 | 2.00 mm | 10 | 2.00 mm | 8 | 2.000 | 34 | 2.0 mm |
| 1.70 mm | 12 | 10 | 1.68 mm | 12 | 1.68 mm | 10 | 1.600 | 33 | 1.6 mm |
| 1.40 mm | 14 | 12 | 1.41 mm | 14 | 1.40 mm | 12 | | | |
| 1.18 mm | 16 | 14 | 1.19 mm | 16 | 1.20 mm | 14 | 1.250 | 32 | 1.25 mm |
| 1.00 mm | 18 | 16 | 1.00 mm | 18 | 1.00 mm | 16 | 1.000 | 31 | 1.0 mm |
| 850 μm | 20 | 20 | 841 μm | 20 | 850 μm | 18 | | | |
| 710 μm | 25 | 24 | 707 μm | 25 | 710 μm | 22 | .600 | 30 | 600 μm |
| 600 μm | 30 | 28 | 595 μm | 30 | 600 μm | 25 | .630 | 29 | 630 μm |
| 500 μm | 35 | 32 | 600 μm | 35 | 500 μm | 30 | .500 | 28 | 500 μm |
| 425 μm | 40 | 35 | 420 μm | 40 | 420 μm | 36 | | | |
| 355 μm | 45 | 42 | 354 μm | 45 | 355 μm | 44 | .400 | 27 | 400 μm |
| 300 μm | 50 | 48 | 297 μm | 50 | 300 μm | 52 | .315 | 26 | 315 μm |
| 250 μm | 60 | 60 | 250 μm | 60 | 250 μm | 60 | .250 | 25 | 250 μm |
| 212 μm | 70 | 65 | 210 μm | 70 | 210 μm | 72 | | | |
| 180 μm | 80 | 80 | 177 μm | 80 | 180 μm | 85 | .200 | 24 | 200 μm |
| | | | | | | | .160 | 23 | 160 μm |
| 150 μm | 100 | 100 | 149 μm | 100 | 150 μm | 100 | | | |
| 125 μm | 120 | 115 | 125 μm | 120 | 125 μm | 120 | .125 | 22 | 125 μm |
| 106 μm | 140 | 150 | 106 μm | 140 | 105 μm | 150 | .100 | 21 | 100 μm |
| 90 μm | 170 | 170 | 88 μm | 170 | 90 μm | 170 | | | 90 μm |
| 75 μm | 200 | 200 | 74 μm | 200 | 75 μm | 200 | .080 | 20 | 80 μm |
| 63 μm | 230 | 250 | 63 μm | 230 | 63 μm | 240 | .063 | 19 | 71 μm |
| | | | | | | | | | 63 μm |
| | | | | | | | | | 56 μm |
| 53 μm | 270 | 270 | 63 μm | 270 | 63 μm | 300 | | | |
| 45 μm | 325 | 325 | 44 μm | 325 | 45 μm | 350 | .050 | 18 | 50 μm |
| 38 μm | 400 | 400 | 37 μm | 400 | | | .040 | 17 | 45 μm |
| | | | | | | | | | 40 μm |

*Estos tamices corresponden a esos recomendados por ISO como un Standard Internacional y esa designación debe usarse cuando el análisis del tamiz sea reportado para publicación internacional.

- (1) U.S.A. Sieve Series - ASTM Specification E-11-70
- (2) Tyler Standard Screen Scale Sieve Series.
- (3) Canadian Standard Sieve Series B-GP-1b.
- (4) British Standards Institution, London BS-410-64
- (5) French Standard Specifications, AFNOR X-11-501
- (6) German Standard Specification, DIN 4188.

| Tamices: Luces de malla | | | Mesh | micras | UNE 7050 | ASTM |
|---|-----------------------|-----------------------|------|--------|----------|--------|
| En las mallas Tyler, los tamices aumentan | | | 5,00 | 125000 | 125000 | 117600 |
| en la proporción de: | | | 4,24 | 106000 | | |
| superficie: | raiz ⁴ (2) | 1,18920712 | U | 4,00 | 100000 | 100000 |
| | potencia(1/4)= | 1,189207115 | S | 3,50 | 90000 | 88900 |
| | | | A | 3,00 | 75000 | 80000 |
| nota de equivalencias: | 1' = 12" | | | 2,50 | 63000 | 63000 |
| 1" = 25,4 mm | pié = 12 pulgadas | | | 2,12 | 53000 | |
| | 1' = 305 mm | | | 2,00 | 50000 | 50000 |
| | | | | 1,75 | 45000 | |
| | Tamiz | | | 1,50 | 37500 | 40000 |
| origen de | nº | raiz ⁴ (2) | | 1,25 | 31500 | 31500 |
| cálculo | 1 | 26900 | T | 1,05 | 26900 | 25000 |
| | 2 | 22620 | Y | 0,883 | 22600 | |
| | 3 | 19004 | L | 0,742 | 19000 | 20000 |
| | 4 | 15977 | L | 0,624 | 16000 | 16000 |
| | 5 | 13454 | E | 0,525 | 13500 | 12500 |
| | 6 | 11352 | R | 0,441 | 11200 | |
| | 7 | 9418 | | 0,371 | 9510 | 10000 |
| | 8 | 7997 | | 2,5 | 8000 | 8000 |
| | 9 | 6727 | | 3,0 | 6730 | 6300 |
| | 10 | 5659 | | 3,5 | 5660 | |
| | 11 | 4759 | | 4 | 4760 | 5000 |
| | 12 | 4003 | | 5 | 4000 | 4000 |
| | 13 | 3364 | | 6 | 3360 | 3150 |
| | 14 | 2825 | | 7 | 2830 | |
| | 15 | 2380 | | 8 | 2380 | 2500 |
| | 16 | 2001 | | 9 | 2000 | 2000 |
| | 17 | 1682 | | 10 | 1680 | 1600 |
| | 18 | 1413 | | 12 | 1410 | |
| | 19 | 1186 | | 14 | 1190 | 1250 |
| | 20 | 1001 | | 16 | 1000 | 1000 |
| | 21 | 841 | | 20 | 841 | 800 |
| | 22 | 707 | | 24 | 707 | |
| | 23 | 595 | | 28 | 595 | 630 |
| | 24 | 500 | | 32 | 500 | 500 |
| | 25 | 420 | | 35 | 420 | 400 |
| | 26 | 353 | | 42 | 354 | 315 |
| | 27 | 298 | | 48 | 297 | |
| | 28 | 250 | | 60 | 250 | 250 |
| | 29 | 210 | | 65 | 210 | 200 |
| | 30 | 177 | | 80 | 177 | |
| | 31 | 150 | | 100 | 150 | 160 |
| | 32 | 126 | | 115 | 125 | 125 |
| | 33 | 105 | | 150 | 105 | 100 |
| | 34 | 88 | | 170 | 88 | 80 |
| | 35 | 75 | | 200 | 75 | |
| | 36 | 63 | | 250 | 63 | 63 |
| | 37 | 53 | | 270 | 53 | 50 |
| | 38 | 45 | | 325 | 44 | 40 |
| | 39 | 37 | | 400 | 37 | |

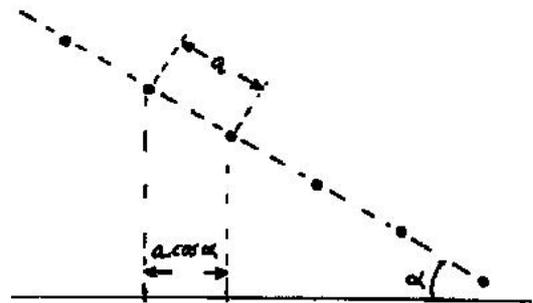
9.1.3. Métodos de clasificación

Los equipos o tecnologías que realizan la clasificación por tamaños se dividen en dos grandes grupos sobre la base del principio de funcionamiento.

- a) *Cribado.*
- b) *Clasificación.*
- c) *Mixtos.*

a) **Cribado.** *Clasificación directa o volumétrica.* Se utiliza un obstáculo físico para realizar la selección (mallas, barrotes espaciados, chapas perforadas, etc.) de tal manera que los granos menores a un cierto tamaño, denominado “tamaño de corte” pueden pasar y los tamaños mayores son retenidos. Para el estudio de sus propiedades se utiliza el principio de la probabilidad de paso para un grano determinado en función de las dimensiones relativas grano abertura de paso y del número de oportunidades a lo largo del recorrido en la superficie de la criba.

En las cribas estáticas o en muchas vibratorias, la circulación del material se realiza por gravedad y en este caso la criba debe estar inclinada. En este caso, de criba inclinada, además de favorecer la circulación, se produce un efecto de reducción de la sección de paso o reducción del tamaño de corte. El área efectiva que ofrece el orificio en este caso es la proyección sobre el plano horizontal. Esto permite calcular una dimensión efectiva de corte dada por “ $a \cdot \cos(\alpha)$ ”.



Para un ángulo de 30° la dimensión aparente es un 87% de la real y para un ángulo de 60° es de un 50% de la abertura física real. Para obtener un corte próximo a la abertura de malla real se deben utilizar, en cribas inclinadas, mallas con orificios alargados para compensar el acortamiento aparente.

En este supuesto de cribas inclinadas es normal la aparición de sobretamaños ya que realmente algunos granos de tamaño superior al teórico de corte pueden físicamente pasar por lo que la determinación de anomalías en el cribado no se puede realizar únicamente por la aparición de granos mayores sino que se debe evaluar la cantidad y si esta es excesiva.

- b) **Clasificación.** *Indirecta, isodrómica o clasificación por equivalencia.* Utilizan el principio de arrastre de partículas por un fluido que tienen un movimiento respecto al desplazamiento de las partículas a clasificar, interviene en la clasificación además del tamaño, la densidad del material, la forma de la partícula y el tipo de superficie entre otras. A modo de referencia se indica que se clasifican en el mismo grupo de partículas tamaños finos y densos con tamaños mayores y ligeros o bien tamaños finos y redondeados con formas laminares más gruesas.
- c) **Mixtos.** Técnicas o equipos que utilizan una combinación de las anteriores, aunque normalmente predomina una de las técnicas, clasificación normalmente, y el cribado previo es un sistema de seguridad para tamaños gruesos al proceso.

Según el principio técnico de actuación y la tecnología empleada se puede generar la clasificación siguiente, que no es única en su formato:

| Clasificación | Criterio | Medio | Observaciones | |
|------------------------------|--------------------------------------|--|--|-------------------------|
| Directa | Tamaño (#) | Seco | El fluido portador es aire | |
| | | Húmedo | El fluido portador es agua | |
| Indirecta (isodromía) | Sedimentación Densidad (ρ) | Clarificación | Obtener agua depurada | |
| | | Espesamiento | Obtener sólido, quitar agua a la pulpa | |
| | Separación Densidad (ρ) | Atendiendo a la diferencia de tamaños | Indirecta | Hidráulica Neumática |
| | | Atendiendo a la diferencia de densidades | Gravimétrica | $F = mg$ |
| | | | Centrífuga | $F = m \cdot v^2/r$ |

Tabla 9.2. Sistemas de clasificación.

| Tipo | Principio | Movimiento | Tipo/Denominación | Observaciones |
|------------------------------------|--|------------|---|---|
| Cribas (tamaño de malla) | <i>Clasificación directa</i> (por tamaño) | Fijos | <i>Parrillas</i> Abertura rectangular | Barras con sección de tronco de pirámide (evitar atascos) |
| | | | <i>Rejillas</i> Diversas formas de aberturas. | Planas Curvas |
| | | Móviles | <i>Lento</i> Equipos resistentes. | Barrotes, cadena Ross, trómeles ² , etc. |
| | | | <i>Rápido</i> El movimiento facilita el cribado, favorece la limpieza y el desplazamiento de la carga. | Circular Elíptico Choque Sacudidas |

Tabla 9.3. Resumen de tecnología referente a clasificación directa.

| Tipo | Principio | Principio | Tipo/Denominación | Observaciones |
|--|---|------------------------|--|--|
| Clasificadores (tamaño, densidad, forma, etc.) | <i>Clasificación Indirecta</i> , (por propiedades) | Gravedad, turbulencias | Conos Hidroclasificadores Cajas de clasificación Rastrillos Tornillos Espiral | |
| | | Contra corriente | Fahrenwald Rheax | Celdas horizontales Forma de cono |
| | | Fuerza centrífuga | Ciclones | Clasifican hasta el tamaño de 1 ó 2 micras |

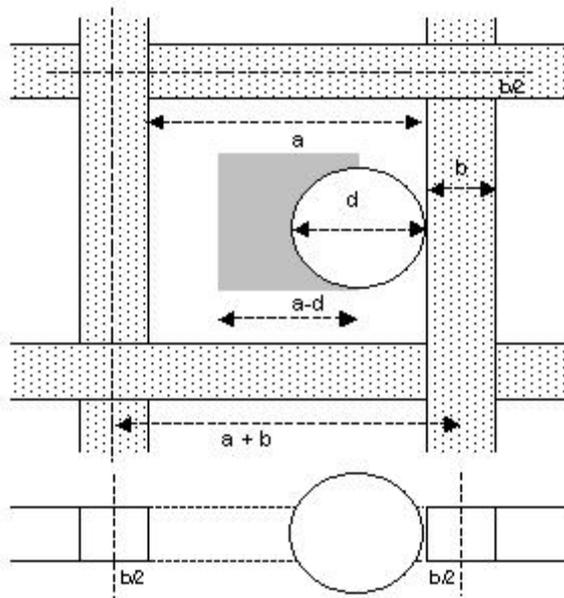
Tabla 9.4. Resumen de tecnología referente a clasificación indirecta.

² Los trómeles suelen girar, cuando hacen clasificación, al 30% de la velocidad crítica.

9.1.4. Teoría probabilística del cribado

Se considera una tela de criba, de malla cuadrada y de lado “a”, construida con hilos de diámetro “b” y se estudia la probabilidad de paso de una partícula de diámetro medio “d”, siendo $d < a$ tal como se representa en el esquema. Para las partículas de tamaño $d > a$ se considera una probabilidad nula de paso³.

La probabilidad de paso de una partícula que cae sobre la malla es igual a la relación existente entre el área en la que se produce el paso libre, sin ningún roce ni rebote, definida por el área en la que puede quedar el centro de la partícula y pasar libremente, y el área total de la malla incluido la parte proporcional del hilo⁴.



La expresión, para un único salto, viene dada por la relación entre el área de paso libre y el área total.

$$Prob(1) = \frac{(a - d)^2}{(a + b)^2}$$

Esta expresión se puede transformar y escribir en la forma:

$$Prob(1) = \frac{(a - d)^2}{(a + b)^2} \cdot \frac{a^2}{a^2} = \left[\frac{(a - d)^2}{a^2} \right] \cdot \left[\frac{a^2}{(a + b)^2} \right]$$

El primer factor representa la proporción del área útil de paso, función del tamaño de la partícula, respecto a la dimensión de paso de la malla (tamaño de corte) y el segundo factor representa la proporción del área libre respecto al área total de la malla, la superficie útil de cribado.

La probabilidad de paso, o de ser cribado, para un grano de tamaño $d < a$ cuando se dan un número “n” de rebotes encima de la criba, será, considerando las definiciones siguientes:

Prob(1): Probabilidad de pasar en un salto.

Prob(0) = 1 – Prob(1); Probabilidad de no pasar en un salto.

$[Prob(0)]^n = [1 - Prob(1)]^n$; Probabilidad de no pasar en “n” rebotes.

Considerando que la probabilidad de paso más la probabilidad de no paso es igual a la unidad, se obtiene por diferencia que la probabilidad de paso de una partícula de tamaño “d” menor que “a”, tamaño de abertura de malla cuadrada, para el total de n rebotes encima de la criba viene dado por la expresión general:

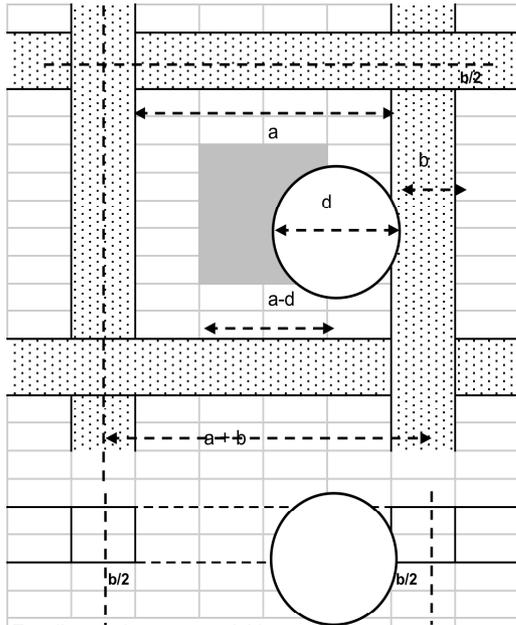
Prob(n) = 1 – $[1 - Prob(1)]^n$ y formulada en términos de parámetros de criba y partícula es:

$$Prob(n) = 1 - \left\{ 1 - \left[\frac{(a - d)^2}{a^2} \right] \cdot \left[\frac{a^2}{(a + b)^2} \right] \right\}^n$$

La expresión no considera la interrelación entre partículas ni otros factores presentes en el proceso de cribado, pero permite deducir propiedades que se demuestran importantes en el funcionamiento de una criba.

³ Cuando en un equipo industrial se da este efecto hay que considerar la posibilidad de una rotura de malla o defecto en el equipo.

⁴ No se consideran otras sujeciones de la malla ni refuerzos estructurales que producen disminución del área útil de cribado.



Teoría probabilística del cribado

La probabilidad de que un grano, de tamaño menor que el paso de malla, sea cribado correctamente responde a la expresión siguiente:

$$Prob(n) = 1 - \left\{ 1 - \left[\frac{(a-d)^2}{a^2} \right] \cdot \left[\frac{a^2}{(a+b)^2} \right] \right\}^n$$

n: Número de rebotes

f(1): $((a-d)/a)^2$ factor de tamaño de grano

f(2): $((a/(a+b))^2$ factor de diseño de criba

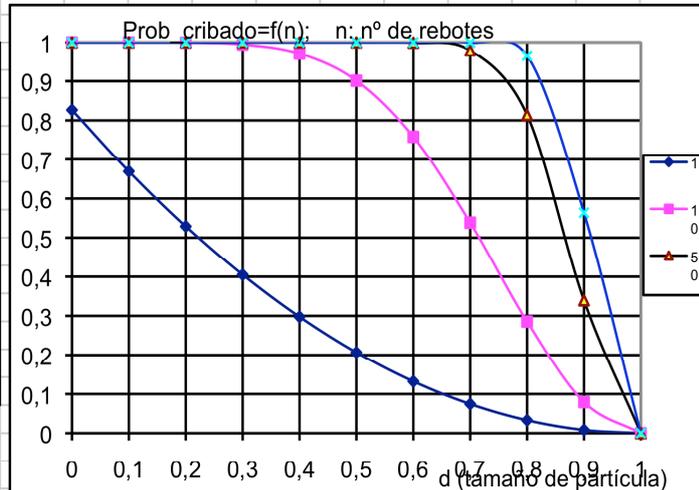
$$Prob(n) = 1 - \{1 - f(1) \cdot f(2)\}^n$$

Estudio para b=cte y n variable

a: 1 b: 0,1

Tamaño del grano variable

| d | f(1) | f(2) | Probabilidad para n: | | | |
|-----|------|------|----------------------|------|------|------|
| | | | 1 | 10 | 50 | 100 |
| 0,0 | 1,00 | 0,83 | 0,83 | 1 | 1 | 1 |
| 0,1 | 0,81 | 0,83 | 0,67 | 1 | 1 | 1 |
| 0,2 | 0,64 | 0,83 | 0,53 | 1 | 1 | 1 |
| 0,3 | 0,49 | 0,83 | 0,40 | 0,99 | 1 | 1 |
| 0,4 | 0,36 | 0,83 | 0,30 | 0,97 | 1 | 1 |
| 0,5 | 0,25 | 0,83 | 0,21 | 0,90 | 1 | 1 |
| 0,6 | 0,16 | 0,83 | 0,13 | 0,76 | 1 | 1 |
| 0,7 | 0,09 | 0,83 | 0,07 | 0,54 | 0,98 | 1 |
| 0,8 | 0,04 | 0,83 | 0,03 | 0,29 | 0,81 | 0,97 |
| 0,9 | 0,01 | 0,83 | 0,01 | 0,08 | 0,34 | 0,56 |
| 1,0 | 0,00 | 0,83 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |



Estudio para n=cte y b variable

a: 1 n: 20

Tamaño del grano variable

| d | Probabilidad para b: | | | | | |
|-----|----------------------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,2 |
| 0,0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,99 |
| 0,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,99 | 0,97 |
| 0,2 | 1 | 1 | 1 | 0,99 | 0,98 | 0,94 |
| 0,3 | 1 | 1 | 0,99 | 0,98 | 0,95 | 0,88 |
| 0,4 | 1 | 0,99 | 0,97 | 0,93 | 0,88 | 0,79 |
| 0,5 | 0,99 | 0,96 | 0,91 | 0,84 | 0,76 | 0,65 |
| 0,6 | 0,94 | 0,86 | 0,77 | 0,68 | 0,60 | 0,49 |
| 0,7 | 0,79 | 0,67 | 0,56 | 0,47 | 0,40 | 0,31 |
| 0,8 | 0,49 | 0,38 | 0,30 | 0,24 | 0,20 | 0,15 |
| 0,9 | 0,15 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,05 | 0,04 |
| 1,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |



Superficie libre de la criba (%)

| f(2): | 82,6 | 59,2 | 44,4 | 34,6 | 27,7 | 20,7 |
|-------|------|------|------|------|------|------|
|-------|------|------|------|------|------|------|

Del estudio se puede determinar que los granos de dimensión inferior a la mitad de la malla pasan en cuanto caen sobre la criba y prácticamente no interfieren en el cálculo de la capacidad de cribado siempre que su proporción no sea muy elevada. Este efecto hace que en los cálculos de la capacidad de una criba se considere los tamaños cuya proporción está entre 0,5·# y 1·#.

De igual manera se identifica que los granos en el entorno de 0,5·# y 1,5·# interfieren notablemente en el cribado, los inferiores al tamaño de malla están afectados por el efecto probabilístico de pasar o no pasar y afectan al tamaño y dimensión de la criba, interviene de forma importante en el cálculo del tamaño de criba para el cálculo de la capacidad, y los tamaños entre 1·# y 1,5·# producen o tienen tendencia a la obstrucción de la malla por cegamiento por lo que se deben prever métodos que faciliten el desatasco, (vibraciones y oscilaciones de la criba, trabajo en húmedo si es posible, diseños específicos, etc.).

Los movimientos de la criba, oscilaciones, provocan una cierta segregación de los granos de tal forma que los granos gruesos tienen tendencia a subir a la superficie y los granos finos se cuelan más fácilmente por los huecos dejados (intersticios) y acceden a la criba mientras que los mayores circulan por la parte superior de la carga.

Los granos en el entorno de 0,5·# y 1,5·# se denominan tamaños críticos, inferiores y superiores respectivamente, y afectan de forma importante al cribado y al tamaño de la criba necesaria, por los efectos ya indicados.

Al disminuir el tamaño de corte el diámetro del hilo adquiere importancia en tanto que disminuye la probabilidad de ser cribado correctamente un determinado grano y este efecto aumenta rápidamente a medida que disminuye el tamaño de corte. Esta característica, limitada por la necesidad resistente de los hilos que forman la malla, hace prohibitiva la efectividad de las cribas para tamaños inferiores a las 200 micras.

En el cribado por vía directa se tratan, tanto en seco como en húmedo, tamaños hasta 0,5 mm (0,1 ó 0,2 mm en casos particulares) y en el cribado por vía indirecta⁵ (clasificación) se tratan tamaños entre 1 ó 2 mm y algunas micras.

9.1.4.1. Forma de las aberturas

La malla de referencia habitual es la malla cuadrada de lado “a”, y se relacionan otras formas utilizadas con la capacidad y calidad de cribado correspondiente a este diseño y así se puede dar la referencia indicada en la tabla siguiente.

| Forma de la malla | Longitud principal mm/μm | Relación # | Tamaño de corte # | Calidad de cribado |
|-------------------|--------------------------|---------------|-------------------|--|
| Cuadrada | a (lado) | a = a | a | Normal |
| Circular | d (diámetro) | d = 1,25·a | a | Buena |
| Rectangular | b (lado menor) c > b | b = a | 1,1·a | Calidad menor Menor cegamiento |
| Rectangular | b = a c = 6·a | | 1,1·a | Caudal tratado doble |
| Criba inclinada | Lado a Ángulo α | a' = a·cos(α) | a·cos(α) | Menor obturación de malla (cegamiento) |

Tabla 9.5. Relación de formas de malla que dan una separación equivalente.

La capacidad de las cribas, tal como ya se ha indicado, disminuye muy rápidamente con el tamaño de malla y así para tamaños inferiores a 0,5 mm aparecen problemas aunque existen mallas comerciales hasta el tamaño de 0,1-0,2 mm (150 μm).

Las diferentes formas de las mallas modifican el tamaño de corte con respecto a la abertura pero aportan otras propiedades al cribado como puede ser la mayor dificultad para el cegamiento de los pasos que se da en las mallas rectangulares, o la mayor precisión en el cribado de las mallas circulares o el aumento de caudal tratado para las mallas de aberturas alargadas en una de las direcciones.

⁵ En el cribado por vía indirecta intervienen, además del tamaño, otras propiedades como la densidad y la forma de los granos.

9.1.5. Clasificación directa, cribas fijas y móviles

Las cribas producen la clasificación de los granos por tamaño en base a una limitación geométrica del tamaño de malla y a la dimensión del grano que puede pasar o no por la abertura de paso.

La probabilidad de paso de un grano determinado por una abertura mayor que la dimensión del grano se puede estudiar en diferentes supuestos, mediante la teoría de probabilidades y así considerar que esta probabilidad de ser cribado como menor depende de las dimensiones relativas del grano con luz de malla, del número de granos por unidad de superficie, del área útil de la superficie de la criba, del número de oportunidades que un grano tenga a lo largo de la criba, etc., y del estudio riguroso se desprende conclusiones de interés para las instalaciones y los equipos entre las que se pueden resaltar:

- La probabilidad de ser cribado correctamente aumenta rápidamente con el número de oportunidades repetitivas que tenga un grano para pasar por la malla.
- La probabilidad disminuye con la aproximación del tamaño del grano a la luz de malla.
- La forma de los granos, cúbica, alargado, puntiforme, etc., afecta a la probabilidad de ser cribado ya que todas las dimensiones no ofrecen la misma oportunidad de paso.
- La sobrealimentación o alimentación en una capa de grosor varias veces el tamaño de grano a cribar, disminuye la probabilidad de ser cribado para un grano colocado en la parte superior ya que hasta avanzada la criba y disminuido este espesor por el cribado de los granos menores no están otros granos en condición de ser cribado, disminuye el número de oportunidades por rebote que tienen algunos granos dentro del conjunto.
- La humedad de los granos para valores entre 3% y 10% hace que los materiales sean cribados con dificultad, especialmente si existen arcillas o elementos con capacidad adherente. Para materiales con humedad alta hay que considerar el cribado en húmedo ya que de lo contrario se obstruyen las mallas fácilmente. La cantidad de agua a utilizar, el número de boquillas y su disposición se debe calcular y adaptar a cada uso. La disposición de mallas alargadas facilita el cribado de materiales húmedos hasta un nivel limitado de humedad.

De las premisas anteriores se pueden deducir consecuencias prácticas tales como:

- Hay que dar muchas oportunidades a un grano para que pase por un orificio de tamaño mayor que su propia dimensión. Luego las cribas de agitación o vibrantes que hacen saltar los granos y que caigan una y otra vez sobre la criba son más eficientes, tienen mejor perfección de corte, que los equipos de tipo estático.
- Los granos de dimensiones próximas al tamaño de corte, entre 0,5 y la luz de malla (tamaños críticos inferiores) son difíciles de cribar. Estos granos de alguna forma, van a controlar el cribado ya que los granos pequeños con relación a la dimensión de cribado pasarán con facilidad bien entre los granos mayores, bien por los orificios.
- La capacidad de carga o el número de filas superpuestas de grano que existan en la alimentación será también importante ya que hasta que un grano no entre en contacto con la criba no tiene posibilidad de ser cribado. El número de veces que el flujo de la alimentación contenga al grano medio a cribar será, igualmente un parámetro de importancia a controlar. Sobre este punto se recomienda que al menos en salida de criba el tamaño en altura del caudal no rebase el tamaño medio del grano a cribar.
- Igualmente, los tamaños superiores pero en el rango de la luz de malla y 1,5 veces la luz de malla (tamaños críticos superiores), y según la forma preferente (alargados, planos, cúbicos, etc.), tienen tendencia a taponar, encajarse en los orificios de la criba, disminuyendo la sección útil de paso y restando oportunidades de paso para los granos de tamaños inferiores.

- La vibración favorece igualmente el desatascado de los orificios, bien forzando el paso de los granos críticos, bien por desatascado por efecto de las vibraciones, saltos y golpes entre los granos. En determinadas operaciones de cribado se puede disponer, normalmente en la parte inferior de la criba, de elementos o lechos de bolas que por el efecto de la vibración (saltos) golpean a los granos atascados produciendo su salida del orificio.
- En las cribas no vibratorias, para disminuir el efecto de atascamiento se disponen los elementos de la criba o parrilla de forma adecuadas (Aumentando la sección de paso en el sentido de la dirección del flujo).
- La sobrealimentación, o alimentación en capa gruesa, de grosor varias veces el tamaño de grano, disminuye la de paso para un grano dado y en consecuencia empeora la eficiencia de la criba.
- La subalimentación, por un efecto de rebote excesivo, avance en cada salto de una longitud excesiva, produce igualmente un cribado ineficiente.

De lo anterior se deduce la multiplicidad de factores y parámetros que afectan a la operación de cribado y que han de considerarse en el cálculo de las cribas. Los equipos se dividen formalmente en cribas fijas y cribas móviles y los sistemas del cálculo de la capacidad de cribado contemplan un número importante de parámetros dentro de los descritos anteriormente.

9.1.5.1. Clasificación directa con cribas fijas

1. **Parrillas.** Se emplean en clasificaciones gruesas y muy gruesas, de más de 60 mm. La clasificación realizada es inexacta pero suficiente normalmente. Suelen estar formadas por barrotes divergentes en el sentido de la marcha de la carga, para evitar que se encajen las partículas y el sentido vertical suele ser de abertura creciente para facilitar la descarga de los pasantes. Se les suele dotar de una cierta inclinación para el avance del material.

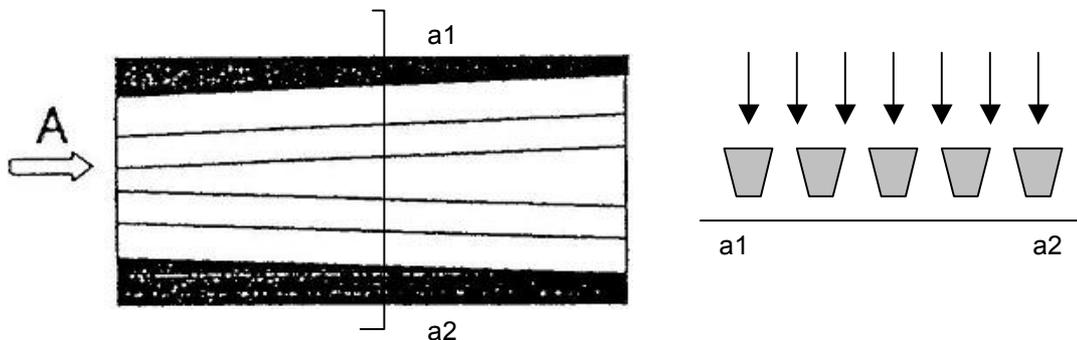


Figura 9.3. Criba de barrotes longitudinales.

Las barras, normalmente, son de acero aunque para tamaños muy gruesos y abrasivos se pueden construir de fundición de acero al manganeso. En ocasiones y según disponibilidad se pueden usar carriles de vía en posición invertida.

Una variante lo constituye la disposición de cuerdas de acero resistente de 1 mm de diámetro dispuestas en forma de “cuerdas de piano” y que se utilizan para tamaños de 1,5 mm a 3 mm. La vibración de los alambres durante el trabajo constituye un sistema efectivo antiatasco.



Figura 9.4. Disposición de parrilla fija tipo Grizzly, previa a trituradora, en la mina de Potosí.

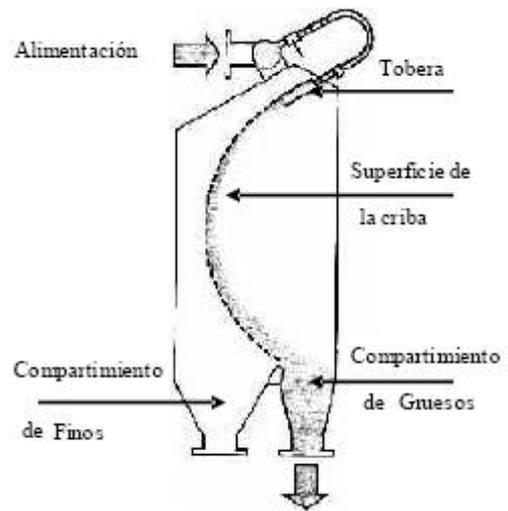


Figura 9.5. Rejilla circular para tratamiento de pulpa.

2. **Rejillas.** Se emplean para clasificaciones entre 1 y 4 mm (pueden diseñarse para 0,1 mm) y trabajan normalmente en húmedo. La rejilla puede ser curva o plana.

Las *rejillas curvas* tienen forma cilíndrica y se cuelan las partículas menores que la mitad de la luz, espacio entre barrotes. Los barrotes se disponen transversales al flujo de la alimentación y suelen diseñarse con forma de tronco de pirámide para evitar el atoramiento. Por la forma de trabajo el barrote sufre un desgaste mayor en la arista que se opone directamente al flujo por lo que se diseñan de tipo reversible, para trabajar por las dos caras. Los barrotes pueden ser cambiados de posición y girados 180° para oponer la arista contraria.

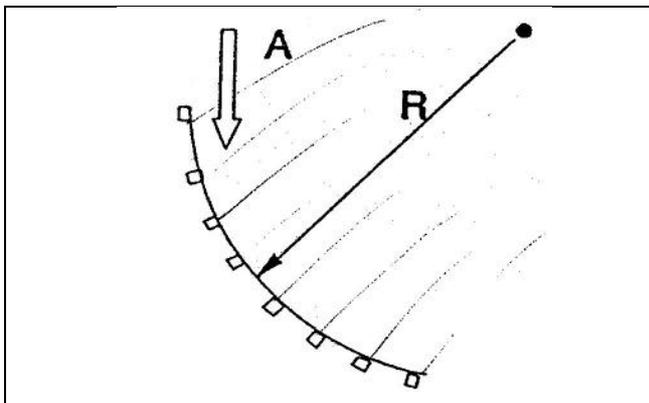


Figura 9.6. Principio de funcionamiento. La alimentación, por la parte superior, sigue la curvatura de la rejilla y las partículas tienen una componente centrífuga contra la misma. El corte depende del radio de curvatura.

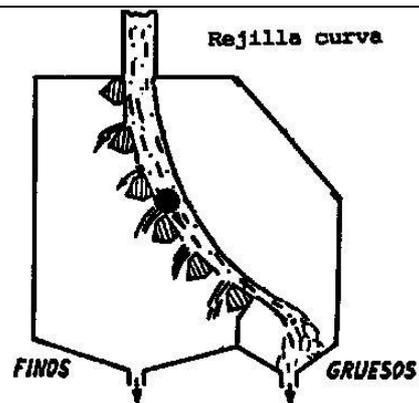


Figura 9.7. La forma de trabajo es en húmedo y se considera, normalmente, que clasifican al 50% de la luz entre barrotes.

Las *rejillas planas* trabajan con una cierta inclinación y el tamaño de paso depende de esta inclinación. La abertura es proporcional a la distancia entre barrotes multiplicada por el coseno del ángulo de inclinación de la criba.

3. Chapa perforada. Se consideran una variante de los barrotes cuando se clasifican tamaños menores. Están constituidas por una chapa perforada unida a un marco y se montan con una cierta inclinación. Tienen un límite en el tamaño de corte ya que por ser estáticas, faltas de movimiento que favorece el desatascado, se ciegan con cierta facilidad en tamaños pequeños. Son de uso ocasional y están sometidas las chapas a cierto desgaste por el deslizamiento del material. La precisión del corte es mala.

9.1.5.2. Clasificación directa, Cribas móviles

Dentro de este grupo se pueden considerar los subgrupos siguientes:

1. Cribas de movimiento lento. Formadas por barrotes, cadenas o discos, son poco utilizadas como cribado propiamente dicho pero tiene una utilidad de alimentación a los equipos eliminando del circuito aquellos tamaños que ya cumplen determinado criterio de tamaño, son menores que un tamaño dado (ya están fragmentados al tamaño adecuado y no interesa sobrefragmentar por coste) o bien rebasa el tamaño admisible en el equipo que debe recibirlos y no deben entrar, para evitar atascos y paradas de la máquina.

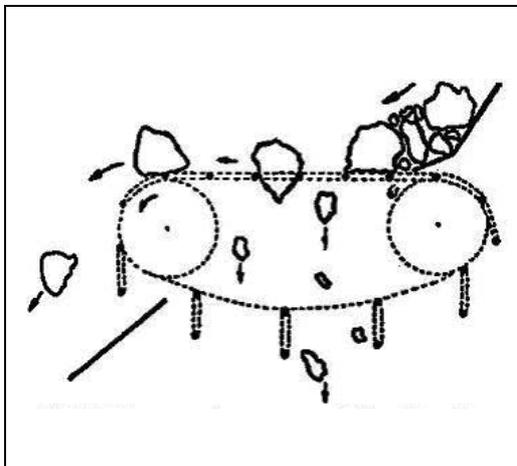


Figura 9.8. Parrilla tipo Ross (barrotes).

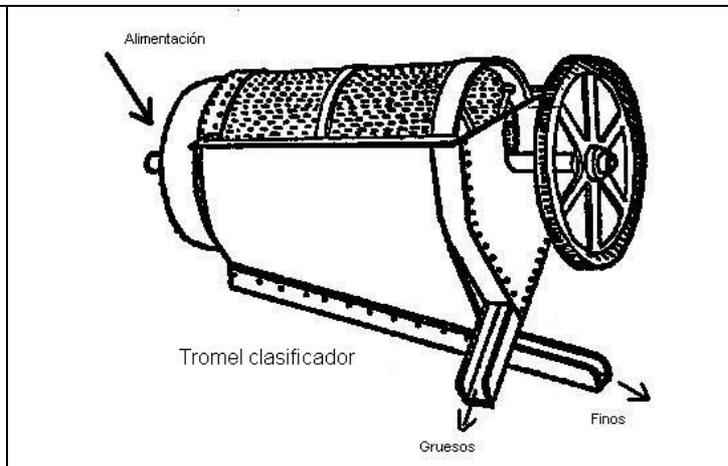


Figura 9.9. Trómel clasificador, $v \approx 0,3 \cdot v_{crítica}$ (giratorio).

La *parrilla tipo Ross* se utiliza en el precibado y alimentación a trituradoras que trabajan con tamaños grandes. Es un transportador de cadenas que realiza una misión de transporte y alimentación a una trituradora a la vez que realiza una eliminación de los tamaños menores, que ya tienen un tamaño adecuado. Tiene un sistema de barras montadas por parejas, con uno de los lados pivotantes, de tal forma que retienen encima los tamaños mayores y dejan pasar entre ellas los menores. Estos tamaños menores pasan con facilidad por la parte inferior ya que las barras pivotan y dejan un espacio doble del superior. El sistema es robusto y facilita el desatascado en su movimiento.

Los sistemas tipo *rodillos de disco* disponen de una serie de rodillos, provistos de resaltes regularmente espaciados, y que giran todos los rodillos en el mismo sentido. Desplazan el material sobre ellos. Los materiales que son capaces de pasar entre los rodillos y los resaltes son "cribados" y el resto transportados al triturador. El efecto de movimiento hace de eficaz desatascador.

- 2) Trómeles. Tienen un movimiento giratorio. Están constituidas por un cilindro cuya envolvente está perforada. Se alimentan por un extremo y por la parte cilíndrica, cuerpo del cilindro perforado, salen los finos y por el otro extremo los gruesos o rechazo. Existen modelos con tamaños de perforación diferente a medida que se avanza en el sentido de la descarga y clasifican en más de dos tamaños.

No es una máquina muy perfecta y se producen atascos de las perforaciones. Por su colocación geométrica pueden ser del tipo troncocónico o estar montados en posición inclinada para favorecer el avance del material a cribar. No dan cortes muy perfectos.

Son equipos, normalmente, económicos pero son voluminosos y de poca capacidad. Se utilizan por ejemplo para la clasificación de arenas de fundición.

Estos equipos en su movimiento criban el mineral y los elementos atascados, por el efecto de vibración que acompaña a todo elemento giratorio y por la fuerza de la gravedad cuando esta en la parte superior, se desatascan.

Una aplicación de este tipo de equipo es su acoplamiento a la salida de un molino para retener los elementos molturadores o piezas desgastadas de los elementos metálicos. Normalmente van acoplados solidariamente con el molino o constituyen una pieza del mismo.

3) Cribas de sacudidas o cribas de choque. Actualmente con baja utilización, las hay de dos tipos principales, de resonancia y tipo Raetter.

Las *cribas de sacudidas* trabajan a baja frecuencia, de 500 a 1.000 r.p.m. El cajón, normalmente suspendido, apoyado en muelles o ballestas se acciona por un mecanismo de biela manivela y la dirección del movimiento es inclinada con respecto a la superficie de cribado. Este tipo de elemento transmite las vibraciones de esta frecuencia a la estructura del edificio.

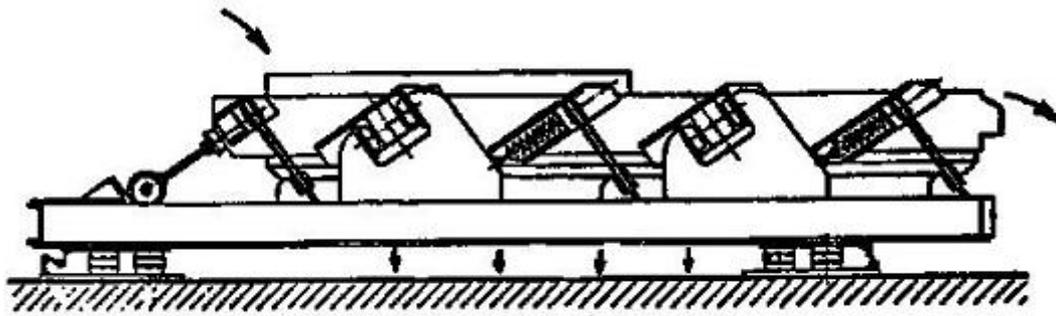


Figura 9.10. Esquema de una criba de resonancia.

Las *cribas de resonancia* son una variante moderna de las de sacudidas que evita la transmisión de vibraciones y tiene menor consumo. La criba está unida al bastidor mediante un sistema elástico (placas de flexión con muelles o ballestas) y está accionada mediante una excéntrica unida entre bastidor y criba. El bastidor está anclado al suelo a través de un sistema elástico, soportes de muelle o de caucho.

El principio de funcionamiento consiste en una criba y un bastidor diseñados de tal forma que la criba más su carga tiene la misma frecuencia de resonancia que el bastidor, pero se modifica el desplazamiento posible de cada elemento haciendo que el bastidor sea más pesado y de menor movimiento y la criba más ligera y mayor desplazamiento. Se utiliza el principio del momento activo igual al momento reactivo para su funcionamiento y regulación.

Estas cribas tienen la dificultad de su descompensación ya que con carga no regular, aumento de la masa, se descompensan y pueden salir de la condición de resonancia, pierden su movimiento y cesa su acción de cribar. Son equipos de uso frecuente en la tecnología del carbón ya que su consumo energético es muy reducido.

4) Cribas de movimiento circular. En estos equipos, la criba gira en forma de círculo con respecto a un punto y hace que las partículas describan un movimiento de espiral (tipo muelle). El movimiento facilita el avance y produce, aumenta, la posibilidad de que un grano menor, por el aumento de los saltos, sea cribado favorablemente.

Estos modelos se montan, normalmente, inclinadas ya que el movimiento circular no facilita en principio el avance, y se instalan con muelles para evitar la transmisión de vibraciones a la estructura. Admiten por su funcionamiento trabajar con más de una superficie de cribado, multipisos, por lo que producen varios cortes.

Las cribas de pisos múltiples tienen un aprovechamiento de las telas que disminuye a medida que el piso es inferior por lo que las sucesivas telas deben afectarse durante el cálculo de un coeficiente reductor del espacio útil. El material del piso dos debe pasar previamente por el uno por lo que existe por diseño una pérdida de superficie útil que según los diferentes métodos de cálculo se identifica con valores tipo de 1 - 0,9 - 0,8 - 0,7.

Existen dos tecnologías para producir el movimiento que se denominan:

- *Cribas de dos cojinetes ó criba de masas descompensadas.* Constan de un cajón de criba atravesado por un eje montado sobre cojinetes (dos, uno a cada lado) al que va unido un volante con masas descompensadas que al girar producen un movimiento vibratorio circular con una frecuencia igual a la velocidad de giro y una amplitud proporcional a las masas. Normalmente, no siempre, el eje pasa por el centro de la criba. Estas cribas son regulables fácilmente por lo que se ajustan bien a las condiciones necesarias de cribado.
 - *Inclinación*, normalmente entre 15° y 20°.
 - *Frecuencia de vibración*, entre 800 - 1.000 r.p.m. Se modifica variando la velocidad del motor o la polea de accionamiento para un mismo motor.
 - *Amplitud*, Mediante la adición o supresión de masas en el volante.
 - *Sentido de rotación*, Modificando el sentido de rotación del eje por variación del sentido de rotación del motor⁶. Normalmente se usa el sentido de giro en la misma dirección del movimiento sobre la criba, pero modificando esto, sentido inverso, se mejora la eficacia o rendimiento de cribado, sistema contrarrotación, que retrasa el desplazamiento del material sobre la criba.
 - *La acumulación de material sobre la criba*, material pegajoso, aumenta la masa y se descompensa el movimiento, se reduce la amplitud de la vibración y esto aumenta a su vez el cegamiento de la malla. Se produce una baja eficiencia de cribado.
 - *Por su funcionamiento tiene un punto débil*, en la unión mecánica del elemento oscilante a la criba que debe ser reforzado mecánicamente y de alguna manera limitar su tamaño al entorno de los 2 metros de ancho.
 - *Los cribados gruesos precisan baja velocidad y amplitud grande y los finos requieren pequeña amplitud y alta frecuencia.*

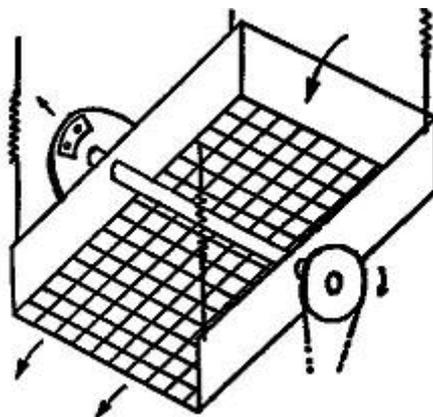


Figura 9.11. Criba de 2 cojinetes.

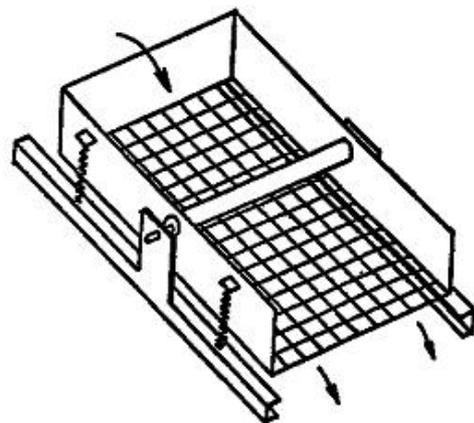
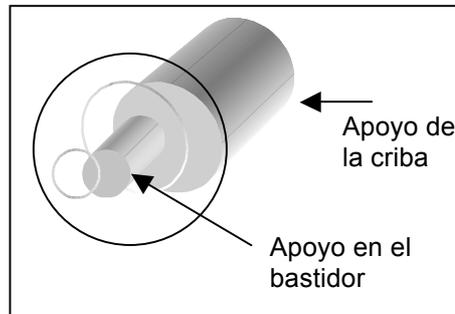


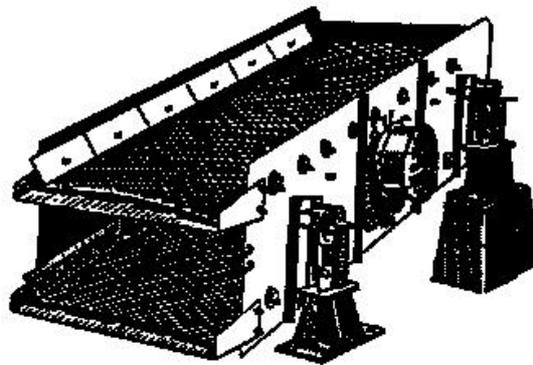
Figura 9.12. Criba de 4 cojinetes.

⁶ En un motor trifásico cambiando la conexión de dos fase se cambia el sentido de rotación del motor. Normalmente R, S, T, da giro directo y R, T, S ó S, R, T da gira inverso.

- *Cribas de cuatro cojinetes.* El elemento base lo constituye un eje excéntrico sobre el que va montado la criba. El eje, excéntrico para la criba, gira sobre dos cojinetes centrado que van en el bastidor externo o de apoyo. El conjunto criba bastidor se monta sobre apoyos elásticos, de caucho normalmente o de muelles. Este sistema tiene ventajas e inconvenientes frente al anterior entre los que podemos enumerar.
 - *La amplitud no se puede modificar fácilmente.* Modificar la amplitud supone cambiar el eje que es el elemento que en su giro produce la vibración por la excéntrica que incorpora.



- *Tiene la ventaja* de que la amplitud es constante y no está influenciada por la carga ni por la acumulación posible de elementos adherentes.
- Una *variante* de las cribas de cuatro cojinetes lo constituyen las cribas con un mecanismo de actuación doble, normalmente montado encima de la criba. Cada mecanismo actúa sobre un lado de la criba, con motor independiente pero sincronizado mediante un eje de sincronización. Esta disposición permite hacer cribas más anchas de 3 metros o incluso mayores.
 - Este tipo de cribas trabaja con inclinaciones de unos 20° y pueden ser muy largas de hasta 20 ó 30 metros cuadrados por piso.



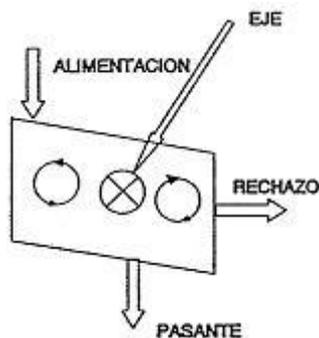
- 5) *Cribas vibrantes.* Son los equipos de mayor importancia en el cribado y han sustituido a otros modelos y sistemas, ofrecen las ventajas siguientes:
- Gran capacidad por metro cuadrado.
 - Mayor eficiencia. Cada movimiento o vibración es una oportunidad que tiene un grano de pasar o no por la malla calibrada.
 - Menor espacio ocupado.
 - Mayor ampo de aplicación, (de 0,5 m a 40 mm).
 - Los tamaños comprendidos entre $0,5 \cdot D_m$ (D_m : tamaño de malla o tamaño de corte) y $1,5 \cdot D_m$ se denominan tamaños críticos inferiores y superiores respectivamente. Estos tamaños son los que producen problemas en el cribado bien por que no pasan siendo menores que el tamaño de paso o por atasco de los huecos por atranque de granos algo mayores pero no claramente mayores.

Este tipo de cribas, según el tipo de movimiento, se pueden clasificar en los grupos siguientes:

- a) De choque, descritas anteriormente.
- b) De movimiento circular, ya descritas.
- c) De movimiento rectilíneo o elíptico.

Los dos últimos grupos, de movimiento circular y de movimiento rectilíneo o elíptico se denominan vibrotamices (cribas de movimiento vibrante rápido) con la forma del movimiento indicado.

El movimiento de vibración se produce mediante sistemas o dispositivos mecánicos o electromagnéticos. Cuando la dirección de la vibración es inclinada y en el sentido del avance del material, existe una componente del movimiento que favorece el desplazamiento de la carga, pero si la dirección es perpendicular a la superficie de cribado o con muy poco ángulo, se debe disponer la criba inclinada para favorecer el desplazamiento.



Las *cribas de movimiento circular* (b) están compuestas por un solo eje. El movimiento circular es perpendicular al plano de la criba y puede ser de tipo:

F = Flow (en contra de las agujas del reloj): a favor de la dirección del material.

C = Counter flow (a favor de las agujas del reloj): en sentido contrario de la marcha del material.

Las *cribas de movimiento rectilíneo o elíptico* (c) son horizontales y tienen dos ejes rotando. Los ejes están dotados de una masa excéntrica. Cada eje tiene una masa excéntrica y cuando dichas masas están desfasadas 45° dan un movimiento de la criba de tipo elíptico. Si las masas excéntricas están desfasadas 180° , el movimiento que se produce es lineal (rectilíneo).

El plano del movimiento es perpendicular al plano de la criba. El recorrido que hace el cajón de la criba se denomina carrera (s) y la mitad de la carrera se denomina amplitud del movimiento (a). La carrera suele estar comprendida entre 2 y 12 m (más normalmente entre 8 y 10 mm) según las aplicaciones o funciones de la criba.

El sistema más utilizado para cribas de cierto tamaño, mediana o grande, es un dispositivo mecánico de dos ejes con masas compensadas entre ejes pero descompensadas en el movimiento de giro en su propio eje, y que giran en sentidos opuestos. El desequilibrio se compensa en todas las direcciones menos en una y entonces se produce una vibración rectilínea, si el movimiento es descompensado en más de una dirección se producen movimientos en forma de diente de sierra o elípticos.

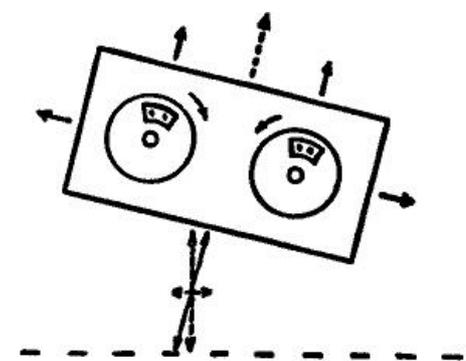
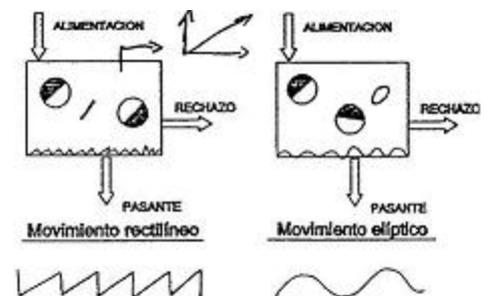


Figura 9.13. Esquema de un vibrador mecánico lineal.

Cuando el mecanismo se utiliza para ambos efectos, cribado y transporte, las cribas deben estar inclinadas o en caso contrario disponer un mecanismo con un coeficiente de vibración elevado, de 6 veces la gravitación para lograr el efecto de transporte. La inclinación dada a la vibración (no a la criba) es de unos 40° ó 45° con respecto a la superficie de cribado.

Estas cribas no pierden altura por lo mencionado anteriormente y permiten su disposición en serie de tal forma que la descarga de una alimenta a la siguiente y permite disposiciones como la de la figura, en forma de línea casi continua.

Esta disposición horizontal, además de favorecer un cribado más eficiente, es favorable para aplicaciones del tipo agotado, eliminación del agua que acompaña al minera como consecuencia de los lavados y ayudas al cribado en los procesos anteriores.

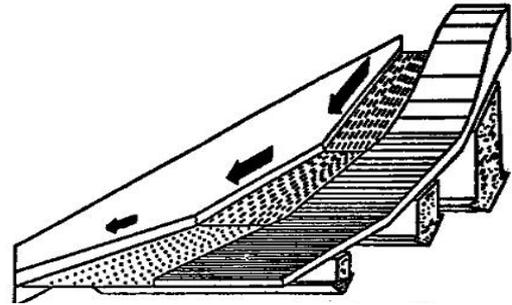


Figura 9.14. Esquema de una criba tipo "banana".

Una variante de la antes indicado lo constituye las cribas de tres tramos denominadas "banana" ya que cada tramo tiene una inclinación diferente. En esta disposición en continuo, en el extremo de la alimentación el ángulo de la criba es de unos 25° a 40° y el material avanza a unos 3-4 m/s; En la zona central la inclinación es de unos 15° a 20° y el material avanza a unos 1-1,5 m/s y en la zona final de descarga, que puede ser de 15° a horizontal, el material avanza a unos 0,5-0,8 m/s. Esta disposición permite al principio un avance rápido del cribado y al final, para mejorar la eficiencia y permitir el paso de los tamaños críticos se disminuye la velocidad de paso.

Las cribas vibrantes son de uso generalizado en minería y actualmente en la fabricación de áridos. Para tamaños grandes (que pueden llegar hasta los 5 metros de ancho y 10 ó 12 m de largo) se usan vibradores mecánicos y para tamaños pequeños se utilizan vibradores eléctricos con pequeños motores en cada lado de la criba que hacen el mismo efecto.

Para aplicaciones típicas de agotado, eliminar la mayor cantidad posible de agua, se dispone la criba con inclinación contraria al desplazamiento y así el avance es muy lento y permite el efecto deseado de eliminar el máximo de agua posible.

Los accionamientos de tipo electromecánico, para cribas de tamaño contenido, pequeñas, son de dos tipos, aquellos que vibran directamente el tamiz, modelo "Hummer" y los que actúa directamente sobre la estructura de la criba.

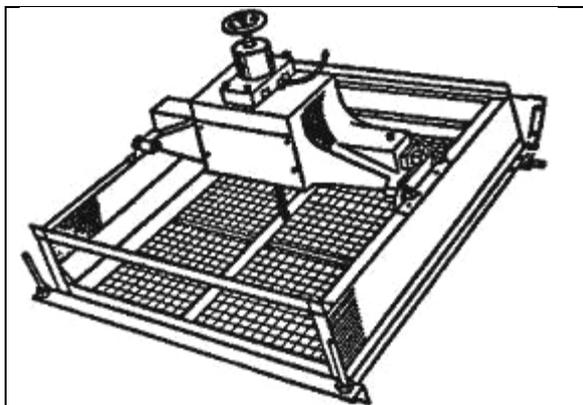


Figura 9.15. Accionamiento sobre el tamiz, Tipo Hummer.

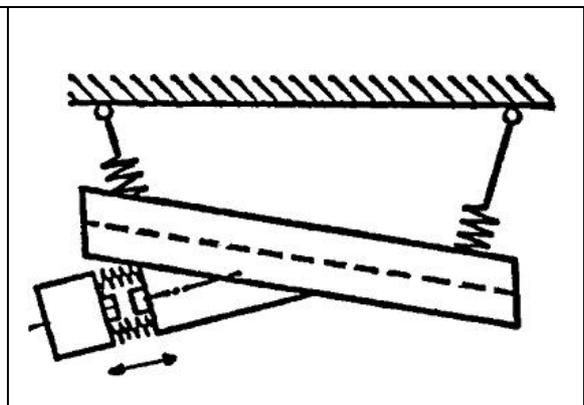
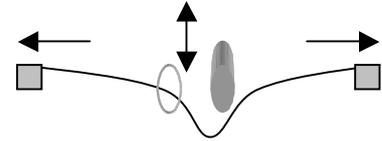


Figura 9.16. Accionamiento electromagnético sobre estructura.

Estos elementos pueden trabajar con altas frecuencias de vibración, 3000 rpm y permiten variaciones, por modificación de la frecuencia del mecanismo, con facilidad. Son fáciles de mantenimiento ya que no existen mecanismos rotantes ni elementos (masas) en movimiento para producir la vibración, la estructura es menor.

- 6) *Criba de fuelle*. Compuesta por una tela de poliuretano flexible, en la cual los barrotes se separan y se juntan haciendo un manteo de las partículas. Se utiliza para cribados en seco con humedades críticas del 8% al 12%. El principio es el indicado en la figura.



- 7) *Criba Morgensen*. Está formada por varios pisos, 5 ó 6 pisos cortos con aberturas diferentes. Su clasificación no es buena pero es muy rápida. Igual que las anteriores de fuelle, se utilizan para cribados en seco con humedad crítica del 8% al 12%.

Artículo técnico⁷. Morgensen desarrolló una fórmula para determinar la probabilidad de que una partícula pase a través de la malla de una criba. Esta probabilidad dependía del tamaño de la partícula, de la apertura de mallas y del diámetro de hilo de las mallas, la cual mostró que las partículas críticas, con tamaños próximos a la apertura de las mallas, estorbaban el proceso de cribado considerablemente. Sin embargo, no fue sino hasta varios años más tarde que se dio cuenta que, a pesar de que las partículas fueran más pequeñas que la apertura de malla, la probabilidad de su paso a través de la malla podría ser la base de la determinación de la apertura de mallas en función del tamaño de las partículas y del diámetro de los hilos de mallas.

La criba MOGENSEN fue concebida como una consecuencia lógica de esta probabilidad aplicada a cada piso de las cribas con varias mallas superpuestas. En la fase inicial, con el fin de lograr suficiente precisión de cribado, estas diferencias en la probabilidad de paso tuvieron que ser estudiada sistemáticamente por lo que se desarrollaron máquinas de varios pisos donde las influencias de parámetros como la longitud de la tela, el número de pisos, la inclinación de la criba, etc. fueron estudiadas. Formadas por 5 ó 6 pisos con inclinaciones progresivas y un ancho de 0,33 ó 0,5 m. Para obtener una vibración lineal se usaron vibradores magnéticos o conjuntos de 2 masas excéntricas rotativas. La adopción de una criba con varios pisos de mallas con apertura relativamente importante permitió solucionar ciertos problemas hasta entonces absolutamente imposibles de resolver tales como el cribado de arcilla húmeda a 0,45 mm (0,018 in) sin cegamiento.

Principio de funcionamiento de la criba Mogensen. El proceso de separación en una criba convencional es más o menos horizontal y relativamente lento, y al principio del cribado las partículas más pequeñas (con la más alta probabilidad de pasar) son eliminadas. Sobre la malla de la criba se forma un lecho de partículas, el cual se hace gradualmente más rico en partículas gruesas a medida que se prolonga el tiempo de permanencia encima de la malla. En la criba MOGENSEN, sin embargo, el proceso de separación es vertical y rápido y las partículas mayores son eliminadas al principio del proceso.

Todas las partículas se mueven aisladamente en el proceso y son separadas de acuerdo con su posibilidad de pasar, es decir, en función de la relación entre la dimensión geométrica de la partícula y la apertura de mallas puede ser más de dos veces el tamaño de separación deseada. La capacidad de cribado es mayor y las posibilidades de cegamiento son muy reducidas. Además, la criba MOGENSEN también tiene otras características como su diseño compacto, alto rendimiento específico, bajo consumo de energía y mantenimiento reducido. Estas son las razones por las cuales las cribas de varios pisos que aplican el principio de probabilidades de paso de partículas a través de malla ancha tienen éxito en la práctica.

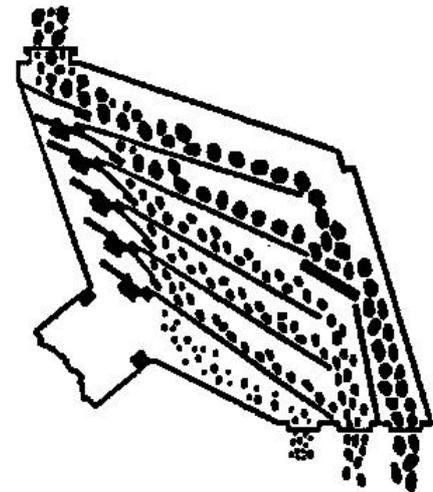
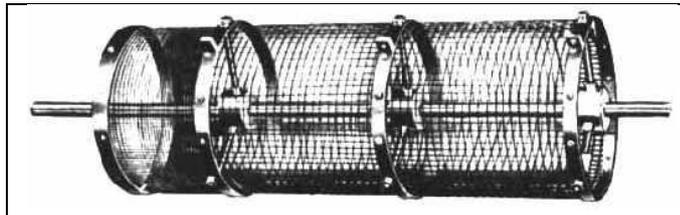
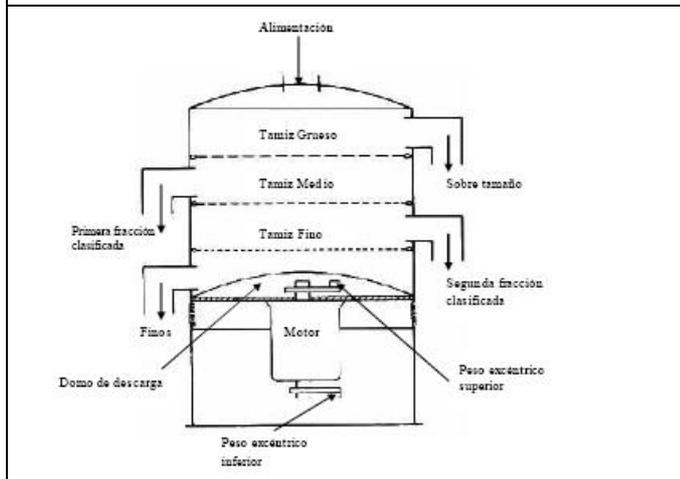


Figura 9.17. Criba tipo Mogensen.

⁷ Revista Rocas y Minerales, gentileza de GOSAG. D. Frederik MOGENSEN (1904-1978). Doctorado en Tecnología Mineral (1939). Profesor de sistemas de preparación de minerales en la Universidad Técnica de Helsinki-Finlandia.



Tromel giratorio horizontal, trabaja en seco o húmedo y puede clasificar, normalmente, hasta 40 micras.



Tromel giratorio vertical. Dispone de platos horizontales giratorios que retienen por tamaño y desplazan las partículas radialmente, por la fuerza centrífuga, a la salida. Puede tener un efecto de vibración por la disposición de masas excéntricas.



Criba vibratoria de barrotos sobre soportes elásticos de caucho.



Criba, marca Rhewum, de tamiz vibratorio, agitación directa de las mallas. La estructura es fija. Se puede adaptar estancia 100% al polvo.

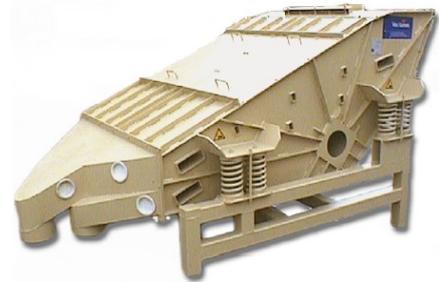
Información del fabricante

Tamizador Van Aarsen produce tres cortes, cuatro elementos clasificados. Tiene una capacidad máxima de 30 t/h. Montado sobre resortes helicoidales. Dos motores vibrantes excéntricos, montados en una estructura transversal situada debajo de la placa de alimentación, generan las vibraciones necesarias para el proceso de tamizado.

El movimiento horizontal del producto en el tamizador queda garantizado por la disposición inclinada de los tejidos de criba y por el movimiento vertical del tamizador.

Dentro del equipo hay montados, uno encima de otro, dos tejidos de criba y en la salida hay situado un tercero.

El tamizador Van Aarsen no produce emisiones de polvo, garantizando así un entorno exento de polvo.



| | | VZ800x2000 | TRZ1500-1 | TRZ1500-2 | TRZ1500-3 |
|-----------------------------|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Peso | Kg | 500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| Potencia del motor | Kw | 1,1 | 2 x 1,8 | 2 x 1,8 | 2 x 1,8 |
| Velocidad a 50 Hz. | r.p.m. | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| Velocidad a 60 Hz. | r.p.m. | 1.800 | 1.800 | 1.800 | 1.800 |
| Capacidad | t/h | 1-15 | 10-30 | 10-30 | 10-30 |
| Perforación de criba | | | | | |
| Gránulos Ø 3-5 mm. | mm | 2,5 x 60 | | | |
| Gránulos Ø 6-7 mm. | mm | 5,0 x 20 | | | |

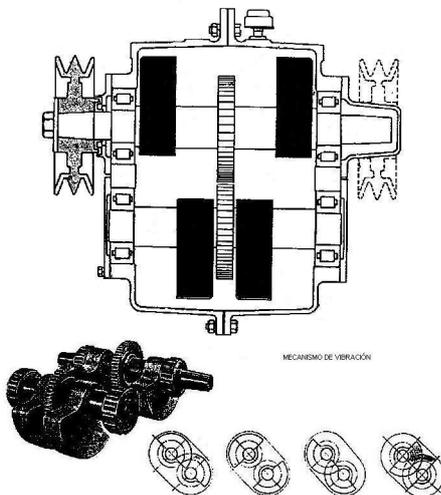
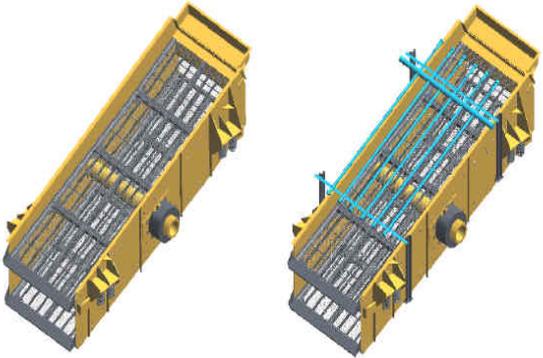
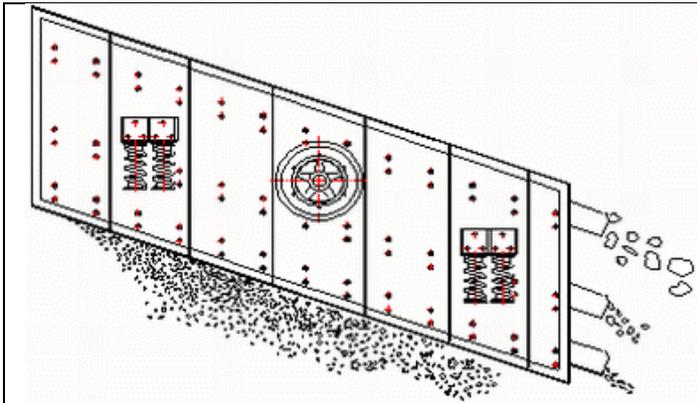


Figura 9.18. Mecanismo de vibración, admite el montaje de las correas del motor a ambos lados, incluso acoplamiento directo sustituyendo la polea por engranaje.

Dispone de dos masas excéntricas que se pueden regular los ángulos de desfase para modificar el tipo de movimiento de la criba, circular (ambas masas giran en el mismo ángulo) o vibratorio oscilante sobre un eje predeterminado (las masas se oponen 180°) y se monta en la criba con el ángulo determinado.

Con dos ejes rotores desbalanceados, separados en ambos lados de la criba, se consigue movimiento elíptico o lineal tipo diente de sierra.

| | |
|---|---|
|  | <p>Cribas vibratorias de dos telas con y sin sistema de riego. Sistema de 4 apoyos y excéntrica central.</p> |
|  | <p>Criba de vibraciones, con sistema de vibración superior mediante masas desbalanceadas. Se observan las masas excéntricas en la parte superior. Las masas actúan sobre cada lado de la criba y dispone de un eje de sincronización.</p> |
|  | <p>Criba vibratoria, mediante sistemas de frecuencia variable, fácil de modificar en carga. Se observan los refuerzos laterales de protección antidesgaste y los refuerzos para aumentar la resistencia mecánica del conjunto.</p> |



Esquema tipo de una criba de tres escalones, cuatro productos. Cuatro soportes, disposición inclinada y sistema de vibración central.



Criba para finos de dos mallas, tres clasificados, y con disposición de riego de agua.



Criba vibratoria para trabajo severo de dos cortes. Barrotes y malla inferior.

9.1.6. Superficies o telas de cribado

Las superficies de cribado se pueden diferenciar por los concepto siguientes:

A) Por material del que están fabricadas:

- a1. Acero. De acero de diferentes clases, incluso inoxidables para aplicaciones anticorrosión. Los materiales normales en minería son aceros aleados al manganeso o del tipo Ni-Hard⁸.
- a2. Goma (caucho). Estas superficies orgánicas, abocardadas de formas varias, tienen aplicación, fundamentalmente, en tamizados finos ya que tienen poca resistencia al desgaste (abrasión). Tiene la ventaja de que los orificios son elásticos luego tienen facilidad para el desatascado por la elasticidad.
- a3. Poliuretano, etc.

B) Por la forma de las aberturas:

- b1. Cuadrada (tipo normal).
- b2. Rectangular.
- b3. Olas en contrafase, etc.

C) Por el diseño:

- c1. Chapa perforada. Por su disposición de huecos y elementos resistentes, tiene mejor resistencia al desgaste, más material, pero menos superficie útil. El área útil es menor que la correspondiente a las mallas. Son más indicadas para trabajos más duros que las mallas de tela trenzada o soldada.
- c2. Tela metálica. Constituidas por hilos de alambre, debidamente aleados para el desgaste por abrasión. Son, normalmente, más caras que las chapas perforadas y su cambio o reparación es más costosa. Con este tipo de sistema se puede clasificar hasta 40 μm , pero lo normal es utilizarlos, fuera del laboratorio, entre 0,5 mm y 75 mm. El entrelazado de los hilos y la colocación en forma superpuesta o de onda alternada puede ayudar a la distribución de la carga.
- c3. Rejilla de barrotes. De utilización en trabajos duros de clasificación, efectúan una clasificación más tosca, menos eficiente.

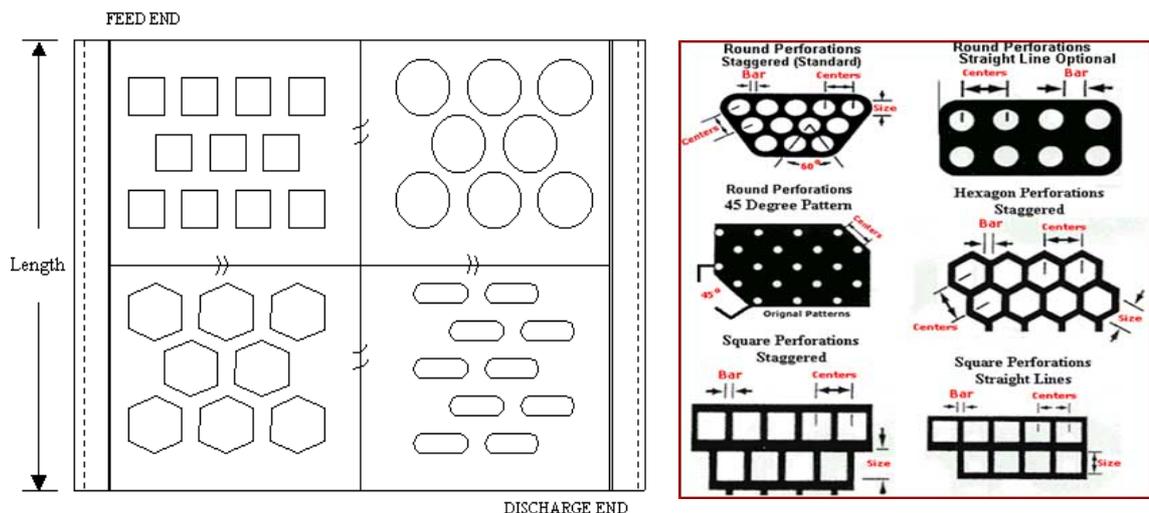


Figura 9.19. Forma de las aberturas. Tipos habituales de orificios de chapa perforada.

⁸ Fundiciones (carbono superior al 2%) y aleados con manganeso en menor proporción que los denominados aceros al manganeso, pero con Ni y Cr que les da mayor resistencia a la abrasión.

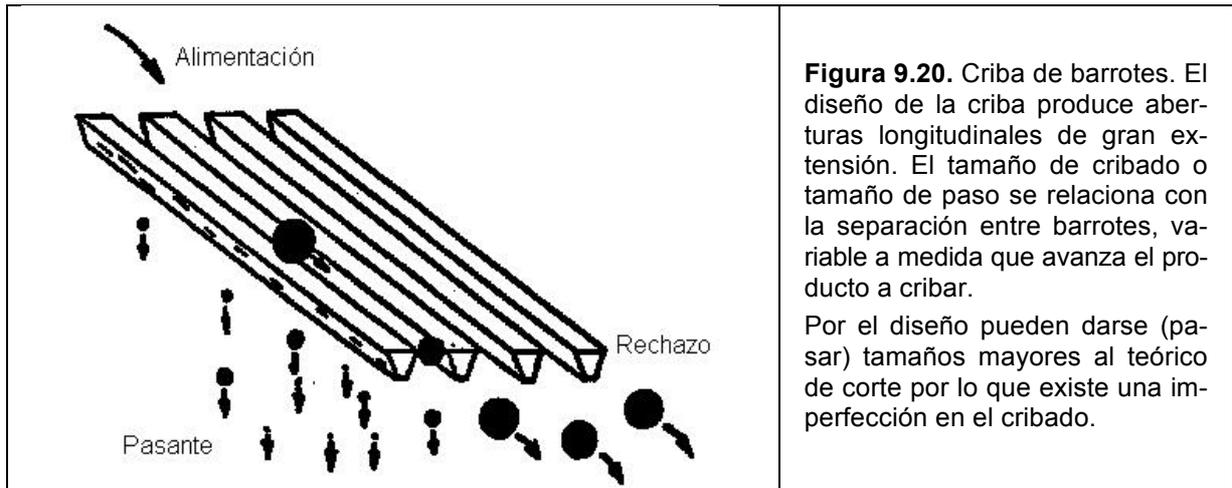


Figura 9.20. Criba de barrotes. El diseño de la criba produce aberturas longitudinales de gran extensión. El tamaño de cribado o tamaño de paso se relaciona con la separación entre barrotes, variable a medida que avanza el producto a cribar.

Por el diseño pueden darse (pasar) tamaños mayores al teórico de corte por lo que existe una imperfección en el cribado.

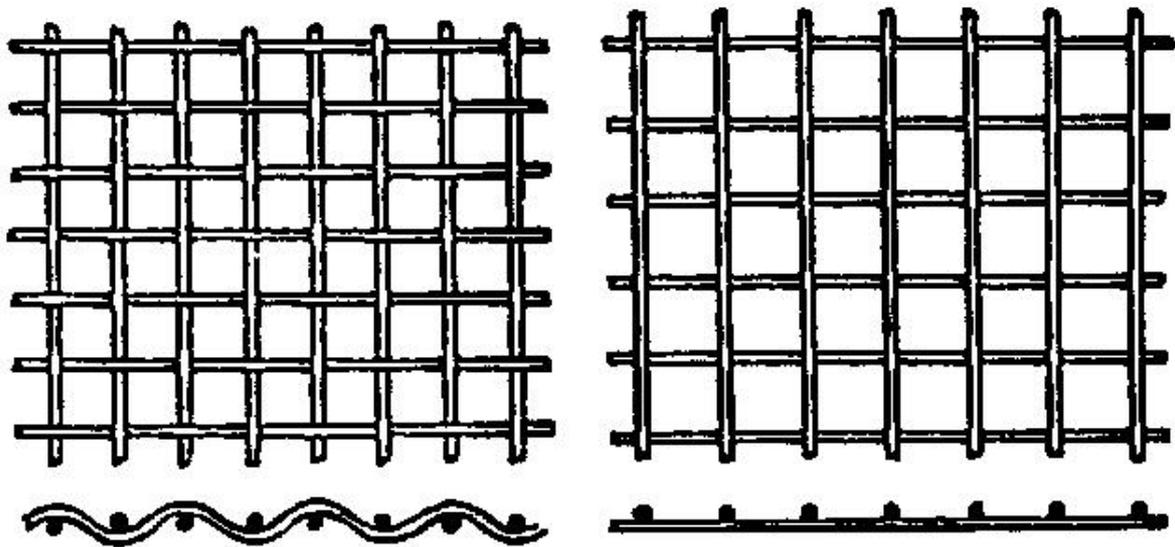


Figura. 9.21. Tipos de trenzado, diseño y formación de las mallas. Existen mallas tejidas y mallas soldadas.



Figura 9.22. Esquema de una malla tipo "cuerda de arpa".

9.1.7. Cribas vibrantes, coeficiente de intensidad de vibración: K

El coeficiente de intensidad de vibración, característico de las cribas vibrantes, es un coeficiente adimensional que se define por la relación entre la fuerza centrífuga de las masas excéntricas y el peso de la parte móvil de la criba.

$$K = F_c / G ;$$

K: Coeficiente de intensidad de vibración.

F_c : Fuerza centrífuga de las masas excéntricas.

G: Peso de la parte móvil de la criba.

Para el cálculo de este coeficiente se plantea la ecuación fundamental de la criba. Se plantea la igualdad de los momentos producidos por las masas y pesos respecto al eje de giro de la criba (del conjunto), que deben ser iguales; se definen:

- *Momento activo*: Correspondiente al momento de las masas excéntricas. Peso de las masas excéntricas (P) por la distancia del Cg (Centro de gravedad de las mismas) respecto al centro de giro y de valor: $P \cdot d$; d: distancia del centro de gravedad de las masas al centro de giro.
- *Momento reactivo*: Peso de la parte móvil de la criba (G), por la amplitud del movimiento, (a) de valor: $G \cdot a$.

La ecuación fundamental de la criba⁹ en su funcionamiento es la igualdad:

$$P \cdot d = G \cdot a \quad (I)$$

La fuerza centrífuga de las masas activas (masas excéntricas generadoras de la vibración) es:

$$F_c = M \cdot v^2 / r$$

Como $r = d$; $v = \omega \cdot r$; y $M = P/g$; obtenemos la ecuación equivalente dada por:

$$K = F_c / G ; \quad F_c = M \cdot (v^2 / d) ; \quad M = P/g ; \quad v^2 = \omega^2 \cdot d^2$$

$$K = \{M \cdot (v^2 / d)\} / G = \{(P/g) \cdot (\omega^2 \cdot d^2 / d)\} / G = (P \cdot d / g) \cdot (\omega^2 / G)$$

Despejando de la ecuación fundamental de la criba (I) el valor de $d = G \cdot a / P$ y sustituyendo, se obtiene:

$$K = (P \cdot \omega^2 / g) \cdot (G a / G P) = ; \quad K = a \cdot \omega^2 / g$$

El coeficiente de intensidad de vibración depende de la amplitud de la vibración y de la velocidad de rotación que se transforman así en dos variables básicas para el estudio del proceso de cribado cuando se utilizan cribas vibrantes o de movimientos cíclicos periódicos.

Sustituyendo ω por su equivalente en r.p.m. se tiene: $\omega = \pi \cdot n / 30$; luego:

$$K = \pi^2 \cdot n^2 \cdot a / (900 \cdot g)$$

Utilizando como unidad el metro y el segundo, y usando la aproximación de $\pi^2 \approx g$ se obtiene la fórmula de utilidad práctica:

$$K = n^2 \cdot a / 900$$

El valor de K está comprendido entre $2 < K < 10$ normalmente. Para valores pequeños de K las cribas tienen poca capacidad y el tamizado no es bueno.

Valores altos de K, las cribas tienen mayor capacidad, el tamizado es mejor, pero la brusquedad rompe más fácilmente las telas por vibración y por el mayor esfuerzo que soportan, son sometidas a mayor número de impactos y de mayor intensidad, más bruscos.

Los valores más normales están entre 3 y 7.

Para los valores de n (velocidad de giro en r.p.m.) y la amplitud (a), están en relación inversa, si aumentan la velocidad hay que reducir la amplitud y viceversa.

⁹ Corresponde a la aplicación del principio físico de conservación de la cantidad de movimiento que en su formulación sencilla, $M \cdot v = m \cdot V$, sustituyendo $M = P/g$ y $m = p/g$ y considerando el movimiento lineal, la velocidad, igual al angular por el radio se tiene $(P/g) \cdot \omega \cdot d = (p/g) \cdot \omega \cdot a \Rightarrow P \cdot d = p \cdot a$; que justifica la expresión anterior de la igualdad del momento activo con el momento reactivo.

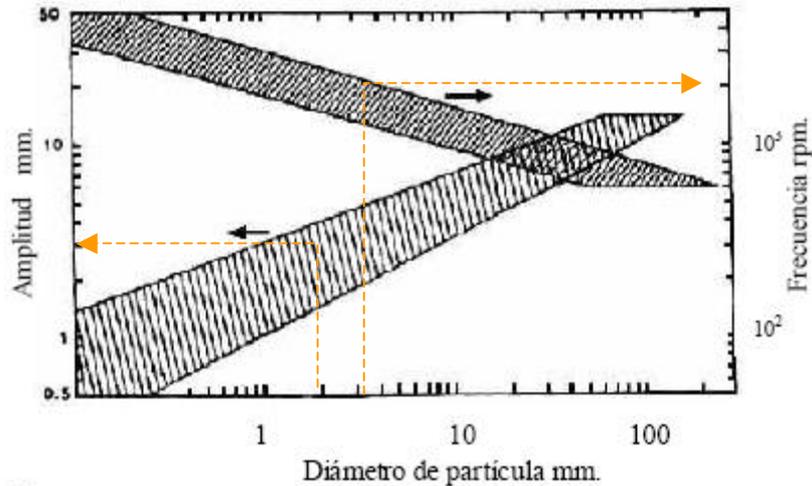


Figura 9.23. Frecuencias y amplitudes recomendadas para el trabajo de cernidores.

El cribado o cernido de partículas grandes requiere amplitud grande y frecuencia baja, mientras que partículas pequeñas requieren amplitud pequeña y frecuencia alta. Valores prácticos de amplitud y frecuencia para diferentes tamaños, se muestran en la figura anterior. Las amplitudes menores originan bloqueos y una reducción de la capacidad así como de la eficiencia. En toda operación debe existir una adecuada relación entre la amplitud (gráfico entre 0,5 mm y 50 mm) y la frecuencia en rpm (variable entre 100 y 1.500 r.p.m.).

9.1.8. Cálculo de la potencia de una criba

La potencia necesaria en el motor de una criba se obtiene por aplicación de la fórmula de Potencia igual a par· ω , y así se obtiene:

$$P_t = \text{par} \cdot \omega = (G \cdot g) \cdot a \cdot \omega = G \cdot g \cdot a \cdot n \cdot \pi / 30 ;$$

G : Peso de la parte móvil en kg.
 a : Amplitud del movimiento en m.
 ω : Radianes por segundo.
 n : r.p.m. ; g : 9,81 m/s.
 P_t : Potencia en unidades adecuadas.

$$P_t(\text{kW}) = (G \cdot g) \cdot a \cdot n \cdot \pi / 30 / 1.000 = G \cdot a \cdot n \cdot g \cdot \pi / 30 / 1.000 ; \text{ sustituyendo } g \cdot \pi / 30 \approx 1,0273$$

$$P_t(\text{kW}) = 1,0273 \cdot G \cdot a \cdot n / 1.000 , \quad P_t(\text{kW}) = G \cdot a \cdot n / 973,4 ;$$

Expresada en C.V. será: $P_t(\text{CV}) = G \cdot a \cdot n / 716$

9.1.9. Clasificación de las cribas según la función

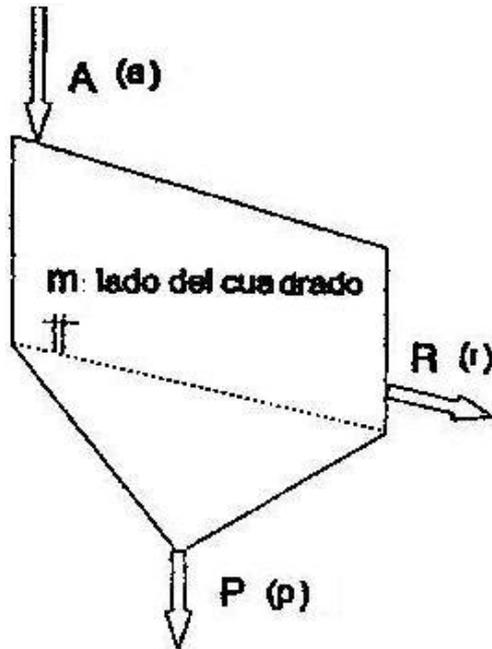
Según la función que realizan, las cribas se pueden clasificar con la denominación que se adjunta y los parámetros para cada o rango de trabajo son, de manera generalizada.

| Clasificación según la función | | |
|--------------------------------|--------------------------|--|
| A | Escalpadoras | Clasificación gruesa previa a la concentración. Se pretende eliminar una pequeña proporción de sobretamaños (+ – 5%) en una alimentación más fina. |
| B | Tamizado o clasificación | Clasificación por tamaños propiamente. Se pretende el fraccionamiento en uno o más tamaños. En ocasiones se distingue de mayor a menor tamaño por las denominaciones de calibrado, cribado y tamizado. |
| C | Tamizado agotamiento | Tamizado fino y para quitar el agua libre (desaguado) que acompaña al material, normalmente después de un tratamiento en húmedo. |
| D | Criba agotadora | Eliminación del agua principalmente. |
| E | Deslamado | Se pretende eliminar las partículas extremadamente finas de una pulpa, principalmente arcillas. |
| F | Desempolvado | Se pretende eliminar las partículas extremadamente finas para operaciones en seco. |

- A. Escalpadoras.** Normalmente se regulan los parámetros con mucha amplitud y poca velocidad.
- B. Tamizado.** Efectúan el cribado, tamizado, y si se quiere disminuir el tamaño de la criba por espacio, normalmente, hay que aumentar la velocidad y disminuir la amplitud.
- C. Agotamiento.** Se efectúa un tamizado fino a la vez que se elimina el agua. Se recomiendan cribas horizontales de movimiento rectilíneo.
- D. Agotadoras.** Su función principal y casi única es la eliminación del agua. Se suelen utilizar cribas horizontales con amplitud muy pequeña y alta velocidad, o cribas inclinadas en dirección contraria al flujo (hacia arriba).

9.1.10. Parámetros indicadores del funcionamiento de una criba

En el tratamiento de una alimentación "A" por una criba, cuyo funcionamiento es el principio de paso o no paso por un número determinado de orificios calibrados de tamaño representativo "m", se definen los parámetros básicos siguientes:



- m:** Abertura de los orificios o abertura de malla expresada, según el tamaño a cribar, en cm, mm ó μm . Identifica el lado de un cuadrilátero igual al tamaño de paso del orificio de la criba.
- A:** Alimentación formada por una masa de partículas de diferentes tamaños y expresada en (t ó t/h) valor absoluto o caudal tratado.
- P:** Pasante, fracción de la alimentación cuyo tamaño es identificado por la criba con un tamaño menor que el de corte, expresado en unidades adecuadas.
- R:** Rechazo, fracción de la alimentación cuyo tamaño es identificado por la criba con un tamaño mayor que el de corte, expresado en unidades adecuadas.
- a:** Fracción de la alimentación cuyo tamaño es menor que el de corte. La parte mayor que el tamaño de corte será $(1 - a)$. También se suele expresar en porcentaje (%).
- p:** Fracción del producto cuyo tamaño es menor que el tamaño de corte. Mayor que $(1 - p)$. También se suele expresar en porcentaje (%).
- r:** Fracción del rechazo cuyo tamaño es menor que el de corte. Mayor que $(1 - r)$. También se suele expresar en porcentaje (%).

9.1.10.1 Tamaños críticos

Con la denominación de tamaños críticos se identifica un conjunto de partículas dentro del conjunto a clasificar que están en márgenes próximos a la luz de paso. Se denominan tamaños críticos a los tamaños comprendidos entre 0,5 veces la luz de malla y 1,5 veces la luz de malla o luz de paso.

El conjunto de granos de tamaño 0,5 y 1 veces la luz de malla son los *tamaños críticos inferiores*, que deben ser clasificados en el pasante pero que la probabilidad de paso disminuye a medida que este conjunto aumenta, siendo un parámetro a considerar en el cribado.

El conjunto de tamaños entre 1 y 1,5 veces la luz de malla se denominan *tamaños críticos superiores* y son los causantes de los atascos y cegados de las mallas, disminuyendo por este concepto la superficie de paso útil.

Se utilizan diversos parámetros para definir la calidad de un cribado entre los que podemos citar los siguientes:

9.1.10.2. Rendimiento en pasante, rendimiento de cribado o eficiencia

Se define el rendimiento en pasante como la proporción entre el producto que realmente a pasado a través de la criba, de tamaño menor que "m", con el producto que debería haber pasado conforme a su granulometría.

El tamaño que ha pasado, de tamaño menor que m es: $P \cdot p$.

El que realmente debería haber pasado es: $A \cdot a$.

Y el parámetro, rendimiento en pasante, se define por: $\eta = Pp / Aa$.

El valor de este parámetro está, normalmente, entre 0,75 y 0,95; el valor 1 indica un cribado perfecto.

El parámetro de “*rendimiento en pasante*” es posible definirle en función de las fracciones a , p , y r definidos anteriormente. Es más sencillo y económico obtener estos valores que los tonelajes tratados. Para ello se parte de las ecuaciones aplicadas a la criba sobre la base del mantenimiento de las masas involucradas en el proceso de cribado y así se tienen las igualdades siguientes:

$A = P + R$; lo que entra es igual a lo que sale.

$A \cdot a = P \cdot p + R \cdot r$; igualdad de las masas para los tamaños inferiores a la malla de corte.

De la solución del sistema se obtiene la relación: $P/A = (a - r) / (p - r)$, y sustituyendo en la expresión de la definición del parámetro se deduce:

$$\eta = Pp / Aa \quad \Rightarrow \quad \eta = \frac{p \cdot (a - r)}{a \cdot (p - r)} \quad (1)$$

Asumiendo un funcionamiento correcto de la criba, sin averías, se puede considerar que todo el producto que ha pasado es de tamaño inferior al tamaño de corte, luego $p = 1$. Valores de p inferiores a la unidad indican un funcionamiento anormal de la criba y esta debe ser revisada por roturas de la tela de cribado aunque un cierto valor, pequeño, de imperfección debe ser esperado cuando la tela tiene orificos con una dimensión mayor al nominal de corte. En este supuesto se considera $p = 1$ y se tiene la expresión:

$$\eta = \frac{(a - r)}{a \cdot (1 - r)} \quad \text{Utilizando \% para los valores de } a, p \text{ y } r \text{ será: } \eta = 10.000(a - r) / a \cdot (100 - r)$$

En determinadas publicaciones a los valores menores del tamaño de criba en el rechazo se les denomina desclasificados (D) y al rendimiento eficiencia (E) dando fórmulas iguales pero con la expresión:

$$E = \frac{(a - D)}{a \cdot (1 - D)} \quad \longrightarrow \quad D = \frac{a \cdot (1 - E)}{(1 - a \cdot E)}$$

El valor del parámetro depende del producto a cribar “ A ” ó “ a ” según la expresión utilizada luego el parámetro no indica el buen o mal funcionamiento de la criba, no identifica una característica propia de la criba, sino que es un parámetro propio de una operación de cribado (conjunto criba-producto).

Un valor del parámetro de rendimiento de cribado o de eficiencia de cribado bajo determina problemas, además del propio de cribado incompleto, debido a la aparición de productos que no deberían estar en el rechazo, del tipo siguiente:

- Sobrecarga en un circuito cerrado. Un cernidor operando con baja eficiencia genera más caga circulante, una parte de material que debería pasar por el cedazo retorna al circuito, reduce el rendimiento del triturador y sobrecarga a las cintas transportadoras y otros equipos auxiliares.
- Productos que no cumplen especificaciones. Un cernidor final que opera a baja eficiencia puede generar productos que no estén de acuerdo con las especificaciones.

9.1.10.3. Eficacia de cribado

Se define por la expresión sencilla:

$$e = 1 - r \quad ; \quad e(\%) = 100 - r(\%)$$

Define la calidad del cribado identificando el producto mayor que la malla “m” que se encuentra en el rechazo. Indica también la cantidad de producto menor (r) que la malla “m” que se encuentra en el rechazo y por la tanto nos define la calidad del cribado.

Este parámetro depende de la granulometría del material en la alimentación y está muy afectado por las fracciones denominadas “tamaños críticos” inferiores y superiores que se identifican por:

- Tamaños críticos inferiores: la fracción comprendida entre $0,5 \cdot m$ y $1 \cdot m$.
- Tamaños críticos superiores: la fracción comprendida entre $1 \cdot m$ y $1,5 \cdot m$.

9.1.10.4. Curvas de partición

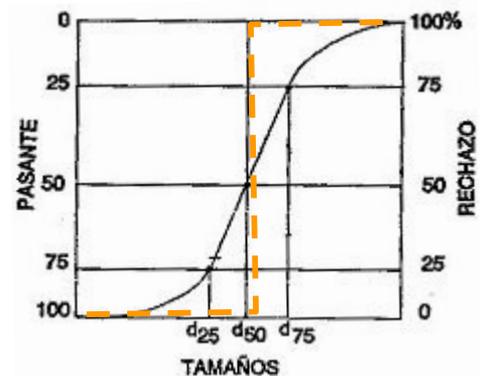
Estas curvas indican la probabilidad de que un grano vaya al rechazo o al pasante, su determinación tiene cierta complejidad.

La línea de puntos representa el funcionamiento ideal.

d_{50} : Representa el tamaño de grano que tiene un 50% de probabilidad de ir al rechazo o al pasante y se le denomina tamaño de corte.

d_{25} : Representa el tamaño de grano que tiene un 25% de probabilidad de ir al rechazo y un 75% de probabilidad de ir al pasante.

d_{75} : Representa el tamaño de grano que tiene un 75% de probabilidad de ir al rechazo y un 25% de probabilidad de ir al pasante.



Se definen otros parámetros para controlar la calidad del cribado como el desvío probable y la imperfección, parámetros que definen mejor la calidad de cribado, por las expresiones:

a) **Desvío probable:** Es independiente del material de alimentación y nos indica que cuanto más pequeño es el segmento, mejor es el funcionamiento de la criba y por tanto la calidad del cribado es mejor:

$$Dp = (d_{75} - d_{25})/2$$

b) **Imperfección:** Es un parámetro que define bastante bien la calidad de cribado. Es independiente del material de alimentación y se define por:

$$I = \frac{1}{2 \cdot d_{50}} \cdot (d_{75} - d_{25})$$

9.1.10.5. Eficiencia total combinada, E1

Cuando los equipos son teóricamente más complejos en su funcionamiento, admiten por diseño la posibilidad de finos en el rechazo y de gruesos en el pasante, la simplificación de hacer $p = 1$ (100%) deja de ser correcta y se recurre a una definición algo más compleja que considera el producto de dos rendimientos.

- Recuperación de material fino en el pasante: $F(Rp) = Pp / Aa$.
- Recuperación de material grueso en el rebose: $F[R(1 - r)] = R(1 - r) / A(1 - a)$.

Su producto, que depende del tipo de alimentación “a” nos da la eficiencia ó eficacia combinada del cribado:

$$E_1 = F(Rp) \times F[R(1 - r)] \quad (1)$$

$$E_1 (\%) = \frac{p \cdot (a - r) \cdot (a - p) \cdot (1 - r)}{a \cdot (p - r) \cdot (r - p) \cdot (1 - a)} \times 100 \quad (2)$$

Como ejemplo de equipos a los que la simplificación anterior ($p = 1$) no es aplicable se puede citar las cribas circulares, criba Mogensen, cribas inclinadas, y en general los equipos en los que la abertura de malla para producir un determinado tamaño de corte es superior físicamente al tamaño de corte deseado y utilizan una determinada tecnología combinada con una determinada sección de paso, normalmente mayor que el tamaño de corte.

Lo anterior es también aplicable a los clasificadores que utilizan en su funcionamiento de clasificación o de concentración el concepto de isodromía¹⁰ o de clasificación indirecta.

Calculo: en un proceso de cribado general podemos plantear las igualdades correspondientes al equilibrio de masas siguientes, siendo “m” el tamaño de corte del sistema de cribado, A, P y R los valores de alimentación, pasaste y rechazo; a, p y r las fracciones de tamaño menor que “m”:

$$\text{Balance general de masas del sistema: } A = P + R \quad \text{todo} \quad (3)$$

$$\text{Balance de masas para tamaños } < m: A \cdot a = P \cdot p + R \cdot r \quad \text{finos} \quad (4)$$

$$\text{Balance de masas para tamaños } > m: A \cdot (1 - a) = P \cdot (1 - p) + R \cdot (1 - r) \quad \text{gruesos} \quad (5)$$

De las ecuaciones (3) y (4) se obtiene el factor P/A mediante el procedimiento:

$$(3) \quad A \cdot r = P \cdot r + R \cdot r$$

$$(4) \quad A \cdot a = P \cdot p + R \cdot r \quad \rightarrow \quad A \cdot (a - r) = P \cdot (p - r) \quad \rightarrow \quad P/A = (a - r) / (p - r)$$

De las ecuaciones anteriores también se puede obtener el factor R/A:

$$(3) \quad A \cdot p = P \cdot p + R \cdot p$$

$$(4) \quad A \cdot a = P \cdot p + R \cdot r \quad \rightarrow \quad A \cdot (a - p) = R \cdot (r - p) \quad \rightarrow \quad R/A = (a - p) / (r - p)$$

La recuperación de material fino en la descarga, el factor de recuperación es:

$$F(Rp) = Pp/Aa = p \cdot (a - r) / a \cdot (p - r)$$

La recuperación de material grueso en el rechazo, el factor de recuperación es:

$$F[R(1 - r)] = R(1 - r) / A(1 - a) = \{(a - p) / (r - p)\} \cdot \{(1 - r) / (1 - a)\}$$

Y la eficiencia total combinada como producto de las dos anteriores corresponde a la expresión (2) indicada anteriormente:

$$E_1 = \frac{p \cdot (a - r) \cdot (a - p) \cdot (1 - r)}{a \cdot (p - r) \cdot (r - p) \cdot (1 - a)} \quad E_1(\%) = E_1 \cdot 100$$

Caso particular: Cuando existe una barrera física calibrada al tamaño de corte (malla) y no hay aberturas deformadas o quebradas el material grueso en el pasante es prácticamente nulo y en este caso se admite la simplificación siguiente:

$$1 - p = 0; \quad \rightarrow \quad p = 1, \text{ que sustituida en (2) y operada:}$$

$$E_1 = \frac{(p = 1) \cdot (a - r) \cdot (a - 1) \cdot (1 - r)}{a \cdot (1 - r) \cdot (r - 1) \cdot (1 - a)} = \frac{(a - r) \cdot (a - 1) \cdot (-1)}{a \cdot (r - 1) \cdot (1 - a) \cdot (-1)} = \frac{(a - r)}{a \cdot (1 - r)} = E \quad (6)$$

que es la expresión del rendimiento de cribado o eficacia de una criba indicada en apartados anteriores.

¹⁰ Estos equipos utilizan para la clasificación por tamaños un principio diferente al volumétrico usado en las cribas.

La expresión anterior para la eficacia de una criba (E) cuando se utilizan los valores en % adquiere la forma ($p = 100$) siguiente:

$$E(\%) = 10.000 \cdot (a - r) / a \cdot (100 - r)$$

Como conclusiones de las expresiones para medir el rendimiento de cribado y la eficacia se puede considerar lo siguiente:

- A)** Las expresiones para medir el rendimiento de cribado, la eficiencia, etc., dependen del proceso y del tipo de alimentación que se está tratando, el equipo está unido al producto a cribar en la formulación utilizada.
- B)** El parámetro de eficiencia de cribado, resultado de multiplicar dos fracciones de rendimiento siempre menores que la unidad, tiene un margen de variación mayor que el rendimiento de cribado para un mismo proceso. La escala de variación para un mismo proceso es mayor y permite identificar modificaciones producidas en dicho proceso con mayor facilidad. Ejemplo: Si un proceso modifica su rendimiento de 80 a 75 ha variado 5 puntos. Si suponemos igual variación para las fracciones que participan en la eficacia la variación total será de 0,64 a 0,56, una variación de 8 puntos lo que facilita la identificación de modificaciones en el proceso.
- C)** Siempre, por formulación, el rendimiento de cribado es mayor o igual que la eficacia de los clasificadores.
- D)** El rendimiento de cribado está comprendido, normalmente, entre 70% y 95%.
- E)** La eficacia de la clasificación está comprendida, normalmente, entre el 40% y el 65%.

9.1.11. Factores que influyen en una operación de cribado

Los factores son múltiples y se pueden estructurar en bloque del tipo.

A) Dependientes del material a cribar:

- a1.** Granulometría, tamaños críticos.
- a2.** Características físicas del material (densidad, forma de los granos, humedad, contenido en arcillas, etc.).
- a3.** Producción, cantidad de material por unidad de tiempo tratado.

B) Dependiente de la operación de cribado:

- b1.** Tamaño de corte (malla de clasificación).
- b2.** Tipo de superficie de cribado a utilizar (forma de las aberturas, calidad de la malla, metálica, de goma –caucho–, poliuretano, superficie útil).
- b3.** Rendimiento en pasante y eficacia a obtener.
- b4.** Cribado en seco o en húmedo; cribado con o sin riego de agua.

C) Dependiendo del tipo de criba a utilizar:

- c1.** Altura disponible.
- c2.** Mecanismo y tipo de criba: de 1 eje (inclinada), de dos ejes (horizontal).
- c3.** Forma de circulación: a favor o contracorriente.
- c4.** Diseño de la criba, utilización del espacio con un distribuidor ($A < B < C$).

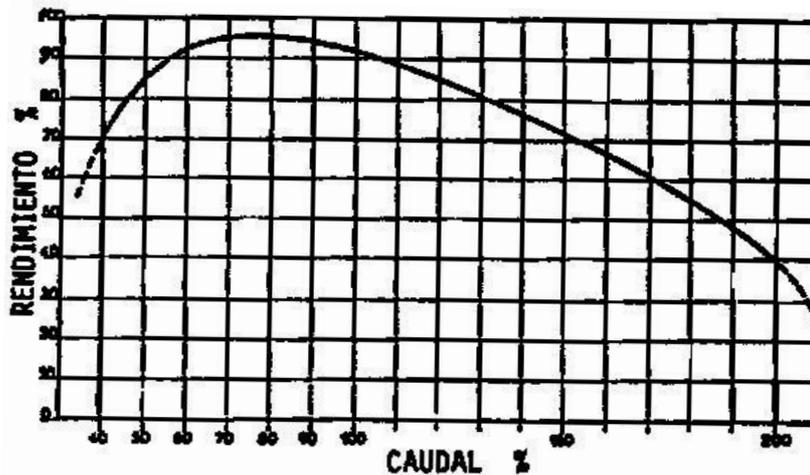


9.1.11.1. Capacidad de una criba. Variación con la carga

La capacidad de una criba, está ligada al tipo de trabajo que realiza y a la exigencia de caudal tratado para un tamaño de criba determinado. Dado que la posibilidad de paso por una malla calibrada depende del tamaño relativo de la partícula y del orificio y del número de oportunidades que se tenga para acertar en un hueco o en la parte sólida, la cantidad de producto a tratar, sus dimensiones con relación al tamaño de corte (tamaños críticos), el tipo de alimentación etc. hacen que sea muy variable la calidad y la capacidad de cribado.

En todo cribado industrial trabajando de forma continua, la eficiencia o rendimiento de cribado es siempre menor de la unidad (menor del 100%). Para el cálculo de la capacidad de una criba es necesario fijar un valor a este parámetro que dependerá, normalmente, de la operación realizada o de la aplicación¹¹ a la que se destine el producto.

Siempre existe un compromiso entre calidad y caudal tratado con una relación. En la figura que se adjunta se da una relación entre la variación de la capacidad de una criba con la eficiencia exigida a la operación. Esta gráfica está calculada sobre la base de suponer una eficiencia de un 90% y para ello le corresponde en abcisas el 100% de la capacidad nominal.



Se observa en la curva que si se fuerza el funcionamiento de la criba el rendimiento disminuye de forma notable y por el contrario con caudales del 70% u 80% del considerado nominal se obtienen rendimientos altos en pasantes.

• **Tipo de aparato.**

• **Capacidad**, que depende de:

- El tamaño de la malla.
- El % de huecos de la superficie empleada.
- La densidad del material.
- La forma de los granos.
- Si es criba horizontal o inclinada.
- El número de pisos de la criba.
- Si hay, o no, riego de agua.
- La relación entre rechazo y pasante.
- La eficiencia deseada.
- El % de tamaños críticos.
- La humedad del producto.

En el cálculo de la capacidad de una criba hay que tener en cuenta multitud de factores entre los que podemos citar, entre otros, los indicados en el cuadro.

¹¹ En el escalpado de la alimentación a una trituradora, eliminación de tamaños que pueden atascarla, se considera aceptable un 85%. En una operación de cribado definitivo para áridos el valor puede ser del 90% o del 95%.

9.1.12. Cálculo de la capacidad de una criba

Existen diversos métodos para el cálculo de las capacidades, algunos ligados al fabricante, pero se pueden dar reglas o fórmulas sencillas de tipo general para la estimación, que con la práctica han ido adoptando coeficientes de corrección o bien aplicar métodos que consideran diversidad de parámetros con lo que se ajusta el modelo a la realidad.

Dentro de los métodos con multitud de parámetros, normalmente más ajustados a la realidad, existen dos modelos básicos, aquellos que consideran el *cálculo de la alimentación* (CA: basado en la masa sólida por unidad de tiempo que puede alimentarse a una superficie) y aquellos que consideran el *cálculo del pasante* (CP: basado en la masa sólida por unidad de tiempo que pasa por una superficie específica de malla de una luz de paso determinada).

El primer método (CA) da valores mayores que el segundo (CP), pero aunque los parámetros se puedan denominar de forma parecida o similar, incluso igual, **NO ES POSIBLE UTILIZAR VALORES O TABLAS DE UN SISTEMA EN OTRO MODELO**¹², ya que los sistemas, fórmulas intermedias y valores de tablas están equilibrados y ponderados con el método específico y de forma conjunta.

A. Fórmula de Testut

La fórmula de Testud, útil para una estimación de la capacidad, se aplica para cribas vibrantes de malla cuadrada de buena calidad. Tiene las condiciones base siguiente: Material seco; rendimiento de cribado del 90% calculado sobre los granos críticos inferiores; utilización de malla cuadrada con un 50% de huecos; para un porcentaje de tamaños críticos superior al 15%; y para aberturas de malla entre 0,5 mm y 250 mm. Tiene la expresión:

$$T = 1,4 \cdot \frac{\rho_s}{\gamma} a^{0,6}$$

Siendo:

T: Capacidad en t/h por m² de superficie útil.

ρ_s : Peso específico real del producto a cribar (peso específico del mineral).

γ : Proporción de granos de dimensiones críticas. Este valor varía entre 0,3 y 0,4. Cuando baja de 0,15 la fórmula deja de ser interesante por el efecto que tiene en el cálculo.

a: Abertura de malla en mm.

Se puede modificar, si el rendimiento de cribado es otro diferente del considerado, mediante los valores dados en la gráfica “*variación de la capacidad con la eficiencia de cribado exigida*”. Para minerales con mucha arcilla, humedad entre el 8% y el 10% se multiplica la capacidad unitaria por 0,8 y si es regado abundante se multiplica por 1,25.

La fórmula da resultados aceptables aunque interesa mayorarla de un 30% a un 40% para obtener resultados adecuados o más prácticos.

La superficie de cribado necesaria se obtiene mediante la expresión:

$$S(m^2) = 1,35 \cdot (Q/T) \quad Q: \text{Caudal a procesar en t/h.}$$

A.1. Fórmulas de proporción directa con la superficie de cribado

Son de utilización para las cribas de barros o cribas de tratamiento de tamaños medianos y grandes, donde la capacidad se considera proporcional a la superficie de la criba con algún coeficiente ligado a la experiencia. Son expresiones sencillas del tipo:

$$Q(t/h/m^2) = k \cdot S(m^2)$$

¹² Se pueden tomar de un modelo referencias del sentido de variación ante un parámetro, pero no es admisible utilizar valores de un modelo de forma directa en otro modelo distinto por la ponderación que hacen los diferentes autores para equilibrar técnicamente cada modelo y que responda a la realidad del cribado.

B. Capacidad de las cribas (Método Blanc)

El cálculo es un método empírico basado en capacidades base para un producto, considerado en unas condiciones preestablecidas, y adaptado mediante coeficientes a la operación deseada. Hay parámetros ligados al equipo (H , F_2 , F_3), parámetros ligados al material (ρ_a , F_1 , F_7 , F_8) y parámetros ligados al proceso (F_4 , F_5 , F_6) y responde a la fórmula:

$$C(t/m^2 \cdot h) = Q \cdot \frac{H}{H_0} \cdot \frac{\rho_a}{1,5} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6 \cdot F_7 \cdot F_8$$

Donde los coeficientes se definen y calculan con el método siguiente:

- C:** Capacidad de la criba en toneladas por metro cuadrado de superficie cribante y hora.
- Q:** Capacidad base dada en la Tabla 9.1 para productos de forma regular, tales como arenas o cantos rodados, con una densidad aparente de 1,5; que van a dar un 50% de rechazo y otro tanto de paso y que además un 40% de la alimentación sea inferior a la mitad de la malla y que la eficiencia sea de un 92% con una humedad superficial entre el 1% y 4%. La inclinación de la criba está comprendida entre 18° y 22°.
- H:** Porcentaje en huecos de la superficie cribante que se utiliza y **H₀** el correspondiente a la capacidad base que se utiliza y tabulado junto a ella. Tabla 9.1.
- ρ_a :** Densidad aparente del material y corrige por su desviación del valor tipo de 1,5.
- F₁:** Factor que corrige por la desviación de la forma de los granos. Se toma el valor 1 para cantos rodados o arenas; 0,85 para rocas trituradas normales; 0,70 para formas muy irregulares.
- F₂:** Toma el valor 1 para cribas inclinadas entre 18° y 22° y 0,80 para cribas horizontales.
- F₃:** Aplicable a las cribas con varios pisos y toma el valor 1 para el superior, 0,9 para el segundo, 0,8 para el tercero y 0,7 para el cuarto.
- F₄:** Factor que corrige por el empleo de riego de agua en los tamizados en húmedo y toma los valores dados en la Tabla 9.2.
- F₅:** Factor que corrige por la desviación del porcentaje de rechazo del valor tipo del 50% y se da en la Tabla 9.3.
- F₆:** Factor que tiene en cuenta la eficiencia deseada en el cribado y también se muestra en la Tabla 9.3.
- F₇:** Factor que corrige por la proporción de material inferior a la dimensión mitad de la malla. Tabla 9.3.
- F₈:** Factor que corrige según el contenido en humedad superficial del producto y que también está dado en la Tabla 9.3.

Cálculo de la superficie de cribado necesaria

Obtenido el valor del caudal unitario “C”, se obtiene la superficie de criba necesaria mediante la expresión:

$$S(m^2) = (T/C) \cdot fs \quad ; \quad \text{siendo:} \quad \begin{array}{l} T: \text{Caudal tratado en (t/h).} \\ C: \text{Capacidad unitaria en (t/m}^2\text{/h).} \\ fs: \text{Factor de seguridad, valor entre 1,2 y 1,3 (1,25).} \end{array}$$

Las dimensiones geométricas, para una malla rectangular, deben contemplar un largo superior en varias veces al ancho para un óptimo aprovechamiento de la criba. Este valor dependiendo del fabricante oscila, normalmente, entre 2 y 4 veces. Se debe contemplar la necesidad de un espacio previo para descarga y distribución uniforme del material en la criba y descontar (mayorar para el cálculo de la superficie total) las superficies no útiles como los anclajes o sujeciones laterales, barras intermedias de sujeción de las telas, etc.).

| Malla (mm) | Ho (% Huecos) | Q (t/m ² ·h) |
|------------|---------------|-------------------------|
| 100 | 70 | 110 |
| 80 | 70 | 100 |
| 70 | 72 | 95 |
| 60 | 70 | 85 |
| 50 | 70 | 80 |
| 45 | 68 | 78 |
| 40 | 68 | 75 |
| 35 | 72 | 72 |
| 30 | 70 | 70 |
| 25 | 67 | 66 |
| 20 | 69 | 60 |
| 15 | 62 | 55 |
| 12 | 56 | 50 |
| 8 | 56 | 40 |
| 5 | 48 | 36 |
| 4 | 44 | 18 |
| 3 | 43 | 16 |
| 2 | 38 | 14 |
| 1,5 | 36 | 9 |
| 1,0 | 30 | 6 |
| 0,75 | 30 | 4 |
| 0,60 | 30 | 2 |
| 0,50 | 30 | 1,2 |
| 0,40 | 28 | 0,5 |
| 0,30 | 29 | 0,25 |
| 0,20 | 32 | 0,16 |
| 0,15 | 30 | 0,10 |

Tabla 9.1. Capacidades base.

| Luz de malla (mm) | F ₄ |
|-------------------|----------------|
| 5 | 3,50 |
| 4 u 8 | 3,00 |
| 3 ó 10 | 2,50 |
| 2 ó 15 | 1,75 |
| 20 | 1,50 |
| 30 | 1,25 |
| < 1 ó > 30 | 1,00 |

Tabla 9.2. Factor F₄.

Algunos autores disminuyen el efecto del agua de riego limitando el valor máximo (de 3,5 en el método Blanc) a 2,5 (método de J.L. Bouso). El valor 3,5 también se recoge en “*selection guidelines for vibrating screens*” (SME Mineral Processing Handbook; N.L. Weiss).

| % | F ₅ | F ₆ | F ₇ | F ₈ |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1-4 | | | | 1,0 |
| 5 | | | | 0,8 |
| 6 | | | | 0,5 |
| 8 | | | | 0,4 |
| 9 | | | | 0,3 |
| 10 | 1,4 | | 0,4 | 0,2 |
| 20 | 1,3 | | 0,6 | 0,0 |
| 30 | 1,2 | | 0,8 | 0,0 |
| 40 | 1,1 | | 1,0 | 1,0 |
| 50 | 1,0 | 2,0 | 1,2 | 1,1 |
| 60 | 0,9 | 1,8 | 1,4 | 1,2 |
| 70 | 0,8 | 1,6 | 1,6 | 1,25 |
| 80 | 0,7 | 1,4 | 1,8 | |
| 90 | 0,6 | 1,2 | 2,0 | |
| 92 | 0,5 | 1,0 | | |
| 94 | 0,44 | 0,8 | | |
| 96 | 0,35 | 0,7 | | |
| 98 | 0,20 | 0,6 | | |

Tabla 9.3. Factores F₅, F₆, F₇, F₈.

Capacidad de transporte

Además de la capacidad de cribado por metro cuadrado, es preciso tener en cuenta la capacidad de transporte de la criba que está muy relacionada con las proporciones entre anchura y longitud. Tan perjudicial es subalimentar como sobrealimentar.

Con respecto a la subalimentación existen diversos criterios según los autores, pero se puede considerar una buena aproximación el que en el extremo de descarga de la criba exista una altura de lecho, medida en unidades de tamaño medio del rechazo, dada por la Tabla 9.4 en función de la longitud de la criba.

| Longitud de la criba (m) | Altura del lecho |
|----------------------------|------------------|
| 1,8-3,6 | 1,5-2,0 |
| 3,6-4,8 | 2,0-2,5 |
| 4,8-7,2 | 2,5-3,0 |

Tabla 9.4. Altura mínima de capa en la descarga.

En cuanto a la capacidad de transporte existen también diversas opiniones y Blanc recomienda no sobrepasar los caudales máximos dados en la Tabla 9.6 para los diversos anchos de criba.

| Ancho de criba (mm) | Caudal máx. (m ³ /h) |
|---------------------|----------------------------------|
| 500 | 50 |
| 750 | 90 |
| 1.000 | 135 |
| 1.250 | 190 |
| 1.500 | 250 |
| 1.750 | 320 |
| 2.000 | 400 |
| 2.500 | 600 |

Tabla 9.6. Caudal máximo en relación con el ancho de criba.

Ejercicio práctico: *Cálculo de cribas*

Calcular la longitud de una criba horizontal, de un solo piso y 1,60 metros de ancho, equipada con una tela metálica de malla cuadrada de 10 mm de luz y 48% de superficie libre. Se alimentan 130 t/h de una roca caliza de densidad aparente 1,60 t/m³ procedente de una trituración previa. La humedad superficial de la roca es del 5,5% y la eficiencia deseada en la operación es del 90%. La granulometría de la alimentación a la criba es la siguiente:

| Tamaño mm | Rechazo entre mallas % | Rechazo acumulado % | Paso acumulado % | Verifi- cación % |
|--------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| + 100 | 4 | 4 | 96 | 100 |
| + 75 | 12 | 16 | 84 | 100 |
| + 50 | 8 | 24 | 76 | 100 |
| + 25 | 10 | 34 | 66 | 100 |
| + 12 | 10 | 44 | 56 | 100 |
| + 6 | 16 | 60 | 40 | 100 |
| + 2 | 15 | 75 | 25 | 100 |
| - 2 | 25 | 100 | 0 | 100 |

verificación 100

Solución (método de Blanc):

$$C(t/m^2 \cdot h) = Q \cdot \frac{H}{H_0} \cdot \rho_a \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6 \cdot F_7 \cdot F_8$$

| | | | | |
|-------------------------------|---|--|----------------------|--|
| Q (10 mm) = | 45 | Tabla 1, capacidades base, interpolar (dato del ejercicio) | | |
| H = | 48% | | | |
| Ho (10 mm) = | 56 | Tabla 1, capacidades base, interpolar (dato del ejercicio) | | |
| P _a = | 1,60 | Roca triturada | | |
| F ₁ = | 0,85 | Criba horizontal | | |
| F ₂ = | 0,8 | Un solo piso | | |
| F ₃ = | 1 | No hay riego | | |
| F ₄ = | 1,007 | Rechazo para 10 mm = 49,3 % | | |
| | | Tabla 3, factor F5, interpolar con relación al valor 50% | → | 1,007 |
| F ₆ = | 1,2 | Tabla 3, para la eficiencia deseada (90 %), interpolar | | |
| F ₇ = | 0,925 | Pasante a 1/2 de malla: 5 mm → 36,25 | → | 0,925 |
| F ₈ = | 0,65 | Corrige por humedad, Tabla 3, interpolar | | |
| C = | $45 \cdot \frac{48\%}{56} \cdot 1,60 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,007 \cdot 1,2 \cdot 0,925 \cdot 0,65 =$ | | | |
| | $6,398$ | | | |
| S (m ²) = (T/C) = | $\frac{130}{20,32} = 6,398 \text{ m}^2$ | ⇒ | Lc = (S / A) = | $\frac{6,398}{1,60} = 3,999 \text{ m}$ |
| f (factor de seguridad) = | 1,25 | Longitud real (L=f*Lc) = | $1,25 \cdot 3,999 =$ | $4,998 \text{ m}$ |
| La criba necesaria es de | 1,60 | por | 5,0 | = 8 m² |
| | | Relación (Largo/Ancho) = | | 3,125 |

Ejercicio práctico: *Cálculo de cribas*

Calcular la longitud de una criba horizontal, de un solo piso y 1,60 metros de ancho, equipada con una tela metálica de malla cuadrada de 10 mm de luz y 48% de superficie libre. Se alimentan 130 t/h de una roca caliza de densidad aparente 1,50 t/m³ procedente de una trituración previa.

La humedad superficial de la roca es del 5,5% y la eficiencia deseada en la operación es del 90%. La granulometría de la alimentación a la criba es la siguiente:

| Tamaño mm | Rechazo entre mallas % | Rechazo acumulado % | Paso acumulado % | Verifi- cación % |
|--------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| + 100 | 4 | 4 | 96 | 100 |
| + 75 | 12 | 16 | 84 | 100 |
| + 50 | 8 | 24 | 76 | 100 |
| + 25 | 10 | 34 | 66 | 100 |
| + 12 | 10 | 44 | 56 | 100 |
| + 6 | 16 | 60 | 40 | 100 |
| + 2 | 15 | 75 | 25 | 100 |
| - 2 | 25 | 100 | 0 | 100 |

verificación 100

Solución (fórmula de Testut):

$$T = 1,4 \cdot \frac{\rho_s}{\gamma} a^{0,6}$$

$r_s =$ Peso específico real del producto Densidad de la roca caliza
 $r_s =$ (densidad aparente / 0,6) = 2,5 valor medio: 2,4 - 2,6

$a:$ Abertura de malla en mm
 $a =$ 10 mm

$g:$ Proporción de granos de dimensiones críticas

Tamaño de malla: $a =$ 10 mm
 Pasantes a tamaño de malla
 12 mm 66 %
 6 mm 40 %

Pasantes a tamaño 10 mm 64 %
 Dimensión tamaño crítico: $0,5 \cdot a =$ 5 mm

Pasantes a tamaño de malla
 6 mm 40 %
 2 mm 25 %

Pasantes a tamaño 5 mm 39
 Proporción de tamaños críticos, factor: 0,25

Aplicación de la fórmula de Testut

$$T(\text{t/h/m}^2) = \text{coef. } r_s \cdot a^{0,6} / g = 1,4 \cdot 2,5 \cdot 3,981 / 0,25 = 55,74 \text{ t/h/m}^2$$

Superficie necesaria:

$$S(\text{m}^2) = 1,35 \cdot (Q/T) = 1,35 \cdot 130 / 55,74 = 3,15 \text{ m}^2$$

Dimensiones de la criba: Ancho: 1,60 m Largo: 1,97 m

| A. Calcular la criba necesaria, para el proceso que se indica, utilizando el método Blanc de factores | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--------|---------------------------|--|--|---------------------|------------------|--------------------|
| Concepto | | | Valor | Unidad | Concepto | | | Valor | Unidad | |
| Tipo de equipo: | | | Criba | | Número de pisos: | | | 2 | | |
| Ancho previo establecido | | | 1 | m | Equipada con malla | | | Metálica | | |
| Tipo de malla | | | Cuadrada | | Inclinación | | | inclinada | | |
| Tamaño de luz 1º corte | | | 20 | mm | Tamaño de luz 2º corte | | | 5 | mm | |
| Grados de inclinación | | | 20 | ° | Grados de inclinación | | | 20 | ° | |
| Superficie libre 1º malla | | | 59,0% | | Superficie libre 2º malla | | | 59,0% | | |
| Parámetros de funcionamiento | | | | | | | | | | |
| Eficiencia deseada | | | 90% | | Forma de trabajo | | | con riego abundante | | |
| Factor de seguridad | | | 1,25 | | Factor de seguridad | | | 1,25 | | |
| Tipo de alimentación | | | | | | | | | | |
| Alimentación | | | Caliza | | Densidad real | | | 2,71 | t/m ³ | |
| Caudal de alimentación | | | 245 | t/h | Densidad aparente | | | 1,63 | t/m ³ | |
| Tipo de alimentación o procedencia del material | | | | | Procedencia de: | | | | | trituration previa |
| Humedad superficial | | | 5,5% | | Granulometría | | | Ver tabla adjunta | | |

| UNE 7050 | Rechazo entre | Rechazo | Paso | Veri- | tamaño | rechazo | | | |
|--------------|---------------|---------|------|--------|--------|---------|--|--|--|
| Tamaño | mm | mallas | % | cación | 0,01 | 100 | | | |
| + 80,0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 0,1 | 100 | | | |
| + 40,0 | 2 | 2 | 98 | 100 | 0,1 | 99 | | | |
| + 20,0 | 18 | 20 | 80 | 100 | 2,5 | 79 | | | |
| + 10,0 | 18 | 38 | 62 | 100 | 5,0 | 60 | | | |
| + 5,0 | 22 | 60 | 40 | 100 | 10,0 | 38 | | | |
| + 2,5 | 19 | 79 | 21 | 100 | 20,0 | 20 | | | |
| + 0,1 | 20 | 99 | 1 | 100 | 40,0 | 2 | | | |
| - 0,1 | 1 | 100 | 0 | 100 | 80,0 | 0 | | | |
| verificación | | | 100 | | | | | | |

a1) Indicar si las proporciones de la criba están en rangos aconsejados. Definir, en su caso, el ancho máximo y mínimo aconsejable a partir de la superficie final necesaria.

| Malla 1 | 20 | mm | Malla 2 | 5 | mm |
|--|-------|----------------|--|--------|----------------|
| Caudal tratado | 245 | | Caudal tratado | 176,40 | t/h |
| Q = | 60,00 | | Q = | 36,00 | |
| Ho = | 69,00 | | Ho = | 48,00 | |
| Pa = | 1,63 | | Pa = | 1,63 | |
| F ₁ = | 0,85 | | F ₁ = | 0,85 | |
| F ₂ = | 1,00 | | F ₂ = | 1,00 | |
| F ₃ = | 1,00 | | F ₃ = | 0,90 | |
| F ₄ = | 1,50 | | F ₄ = | 3,50 | |
| F ₅ = | 1,30 | | F ₅ = | 1,00 | |
| F ₆ = | 1,20 | | F ₆ = | 1,20 | |
| F ₇ = | 1,44 | | F ₇ = | 0,73 | |
| F ₈ = | 1,00 | | F ₈ = | 1,00 | |
| F_seguridad: | 1,25 | | F_seguridad: | 1,25 | |
| C ₁ (t/h/m ²) = | 159,3 | | C ₂ (t/h/m ²) = | 111,7 | |
| S-malla= | 1,92 | m ² | S-malla= | 1,97 | m ² |

| Balance general de tonelaje en la criba | | |
|---|------------|-----------|
| 245 t/h | r(#): 20 | |
| | p(#): 80 | |
| | p(#/2): 62 | |
| 176,4 t/h | r(#): 50 | |
| | p(#): 50 | |
| | p(#/2): 26 | |
| 63,50 t/h | | |
| | | 68,6 t/h |
| | | 112,9 t/h |

| Pasante, p ₁ = p ₂ = 1 | → | 100% |
|--|-----------------------|----------|
| Material desclasificado | | Cantidad |
| r ₁ = d ₁ (%) = 28,6 | D ₁ (t/h): | 19,6 |
| r ₂ = d ₂ (%) = 6,3 | D ₂ (t/h): | 7,1 |

| Ancho | A(m) | L(m) | Ancho | A(m) | L(m) |
|-------|------|------|-------|------|------|
| mayor | 0,98 | 1,96 | mayor | 0,99 | 1,99 |
| menor | 0,69 | 2,77 | menor | 0,70 | 2,81 |

| | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------------|---|---------------|--|------------------------------------|--|----------------------|-------------------|-----------------------------|-------|
| B) Calcular la criba necesaria, para el proceso que se indica, utilizando el método Blanc de factores | | | | | | | | | | | |
| a) Obtener la longitud de una criba inclinada de | | | | | dos pisos y | 1,00 | metros de ancho, equipada con una tela metálica de malla cuadrada de | | | | |
| | | | | | 20 | mm de luz y | 59% | de superficie libre. | | | |
| Se alimentan | | 245 | t/h de una roca caliza de densidad real | | 2,71 | t/m ³ procedente de una | | | | | |
| trituration previa | | Inclinación (°)= 20 | | | pisos = 2 | | Ancho= 1,00 m | | | | |
| La humedad superficial de la roca es de | | | | 5,5% | y la eficiencia deseada en la operación es del | | | | 90% | | |
| Se trabaja en la criba con riego abundante y la granulometría de la alimentación a la criba es la siguiente: | | | | | | | | | | | |
| UNE 7050 | | Rechazo entre | | Rechazo | | Paso | | Veri- | | | |
| Tamaño | | mallas | | acumulado (%) | | acumulado (%) | | cación | | | |
| mm | | % | | | | | | Tabla_aux-ejer | | | |
| | | | | | | | | tamaño | | | |
| | | | | | | | | rechazo | | | |
| + | | 80,0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 0,01 | 100 | | | |
| + | | 40,0 | 2 | 2 | 98 | 100 | 0,1 | 100 | | | |
| + | | 20,0 | 18 | 20 | 80 | 100 | 0,1 | 99 | | | |
| + | | 10,0 | 18 | 38 | 62 | 100 | 2,5 | 79 | | | |
| + | | 5,0 | 22 | 60 | 40 | 100 | 5,0 | 60 | | | |
| + | | 2,5 | 19 | 79 | 21 | 100 | 10,0 | 38 | | | |
| + | | 0,1 | 20 | 99 | 1 | 100 | 20,0 | 20 | | | |
| - | | 0,1 | 1 | 100 | 0 | 100 | 40,0 | 2 | | | |
| verificación | | 100 | | | | | | 80,0 | | | |
| | | | | | | | | 0 | | | |
| b) Indicar si las proporciones de la criba están en rangos aconsejados. Definir, en su caso, el ancho máximo y mínimo aconsejable a partir de la superficie final necesaria. | | | | | | | | | | | |
| c) En la segunda malla se dispone un tamaño de corte de 5 mm e iguales valores de diseño | | | | | | | | | | | |
| a) Solución (método Blanc): | | | | | | | | | | | |
| $C(t / m^2 \cdot h) = Q \cdot \frac{H}{H_0} \cdot \frac{\rho_a}{1,5} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6 \cdot F_7 \cdot F_8$ | | | | | | | | | | | |
| | | | Q(#)+Inc | | # | (#+a) | f(#) | f(#+a) | Q(#) | Q(#+a) | Inc |
| Q para | 20 | mm = | 60,00 | f(tabla_1): | 20 | 25 | 20 | 25 | 60 | 66 | 0 |
| Ho para | 20 | mm = | 69,00 | f(tabla_1): | 20 | 25 | 20 | 25 | 69 | 67 | 0 |
| | $P_a =$ | 1,63 | Corregir densidad real por 0,6 para la densidad aparente: | | | | | | $P_a(E4) =$ | real | |
| | $F_1 =$ | 0,85 | trituration previa | | | | | | $F_1(B5) =$ | 0,85 \Rightarrow correcto | |
| | $F_2 =$ | 1,00 | criba inclinada | | | | | | $F_2(B2) =$ | 1 \Rightarrow correcto | |
| | $F_3 =$ | 1,00 | Cálculo primer corte (un solo piso o primer piso en cribas múltiples) | | | | | | | | |
| | $F_4 =$ | 1,50 | con riego | | # | #+a | f(#) | f(#+a) | F4(#) | F4(#+a) | Inc |
| | | | $F_4(B7):$ | si | 20 | 25 | 20 | 20 | 1,5 | 1,5 | 0 |
| | $F_5 =$ | 1,30 | $F(tabla_aux_ejer)$ | 20,0 | 20 | 40 | 20 | 40 | 20 | 2 | 0 |
| | | | $f_rechazo(1\#):$ | | 20,0 | 30 | 20 | 30 | 1,3 | 1,2 | 0 |
| | $F_6 =$ | 1,20 | $F_6(N6):$ | | 1,2 | 90 | 100 | 90 | 98 | 1,2 | 0,6 |
| | $F_7 =$ | 1,44 | pasante a 1/2 malla | | 10 | 20 | 10 | 20 | 38 | 20 | 0 |
| | | | $F(tabla_aux_ejer)$ | | 62,0 | 62,0 | 72,0 | 60 | 70 | 1,4 | 1,6 |
| | $F_8 =$ | 1,00 | si riego | $F_8(G6):$ | 0,65 | 5,5 | 6,5 | 5 | 6 | 0,8 | 0,5 |
| | | | | | | | | | | | -0,15 |
| C = | 60 | 59% | 1,63 | 0,85 | 1 | 1 | 1,5 | 1,30 | 1,2 | 1,44 | 1 |
| | | 69 | 1,5 | | | | | | | | = |
| | | | | | C = | 159,29 | t/h/m ² | | | | |
| | | | | | S (m ²) = (T / C) = | 245 | = | 1,538 | m ² | \Rightarrow | |
| | | | | | | 159,29 | | | | | |
| | | | | | | | | L = (S / A) = | 1,538 | = | 1,538 |
| | | | | | | | | | 1,00 | | m |
| | f = | 1,25 | factor de seguridad | | | | | | | | |
| | Longitud real | L(real) = | 1,25 | 1,538 | = | 1,923 | m | = | 1,9 | | |
| b) La proporción debe estar entre 2 y 4 veces según fabricantes, el ancho recomendado debe ser entonces: | | | | | | | | | | | |
| Scriba = | 1,923 | m ² | Ancho | A(m) | L(m) | S(m2) | | S(A)max=L·2·L | L=raiz(S(A)max/2) | | |
| | | | mayor | 0,98 | 1,96 | 1,923 | | S(A)min=L·4·L | idem | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------------------------|--------------------|---|-----------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|---------|-----|--|
| c) Cálculos para el segundo corte, piso | | | | DOS de la criba | nº de piso: | 2 | | | | | | |
| A1(t/h): 245 | Tamaño de corte deseado # | 5 | mm | | correcto | | | | | | | |
| Caudal a tratar A2(t/h) | 176,40 | Obtenido para una eficiencia del | 90% | en el primer piso | | | | | | | | |
| Material deslocalizado (mal clasificado) d(%) | 28,6% | para una eficiencia del | 90% | en el primer escalon | | | | | | | | |
| <i>Nota: Se supone la criba sin roturas de malla y el material deslocalizado corresponde a tamaños pequeños que se van con los gruesos</i> | | | | | | | | | | | | |
| Material en la alimentación menor que el tamaño de corte del escalon anterior: | a1(#): 0,8 | a2(#): 0,40 | | | | | | | | | | |
| Material desclasificado | r1(E=dato): 0,2857 | d1(%)= 28,6 | r2(E=dato): 0,0625 | d2(%)= 6,3 | | | | | | | | |
| Eficiencia necesaria para un desclasificado menor del 5% | E1(r=5%): 0,9868 | 99% | E2(r=5%): 0,9211 | | | | | | | | | |
| Caudal a tratar escalón (i), igual a pasante del escalón anterior (i-1) | A2(t/h)= 176,40 | A3(t/h)= 63,50 | | | | | | | | | | |
| $A2(t/h) = A1(t/h) \cdot (a-r)/(1-r)$ | | $E = (a-r)/a \cdot (1-r)$ | | $r = a \cdot (1-E)/(1-a \cdot E)$ | | | | | | | | |
| <i>Nota: Para esta malla 2 es obligado recalcular lo que representa el pasante, el rechazo y el pasante a media malla para aplicar el método de cálculo nuevamente. Se obtiene ponderando las fracciones granulométricas descontando el rechazo de la 1ª malla</i> | | | | | | | | | | | | |
| | Q(#)+Inc | | # | (#+a) | f(#) | f(#+a) | Q(#) | Q(#+a) | Inc | | | |
| Q (5 mm) = | 36,00 | f(tabla_1): | 5 | 9 | 5 | 8 | 36 | 40 | 0 | | | |
| Ho (5 mm) = | 48,00 | f(tabla_1): | 5 | 9 | 5 | 8 | 48 | 56 | 0 | | | |
| Pa= 1,63 | Corregir densidad real por 0,6 para la densidad aparente: | | | | | | Pa(E4)= real | | | | | |
| F1 = 0,85 | trituration previa | | | | F1(B5): 0,85 | correcto | | | | | | |
| F2 = 1,00 | criba inclinada | | | | F2(B2): 1 | correcto | correcto | | | | | |
| F3 = 0,90 | criba múltiple | | | | piso: 2 | F3(L55): 0,9 | | | | | | |
| F4 = 3,50 | con riego | | | | # | #+a | f(#) | f(#+a) | F4(#) | F4(#+a) | Inc | |
| | F4(B7): si | 5,0 | 8 | 5 | 8 | 3,5 | 3 | 0 | | | | |
| F5 = 1,00 | F(tabla_aux_ejer): 60,0 | 5,0 | 15 | 5 | 10 | 60 | 38 | 0 | | | | |
| | f_Rechazo(2#): 50,0 | 50,0 | 60,0 | 50 | 60 | 1 | 0,9 | 0 | | | | |
| F6 = 1,20 | F6(N6): 1,2 | 90 | 100 | 90 | 98 | 1,2 | 0,6 | 0 | | | | |
| F7 = 0,73 | F(tabla_aux_ejer): 21,0 | 2,5 | 5 | 2,5 | 5 | 79 | 60 | 0 | | | | |
| | f_pasante(2#): 26,3 | 26,3 | 36,3 | 20 | 30 | 0,6 | 0,8 | 0,125 | | | | |
| F8 = 1,00 | si riego F8(G6): 0,65 | 5,5 | 6,5 | 5 | 6 | 0,8 | 0,5 | -0,15 | | | | |
| C = 36,00 | 59% | 1,63 | 0,85 | 1 | 0,9 | 3,5 | 1 | 1,2 | 0,725 | 1 | = | |
| | 48 | 1,5 | | | | | | | | | | |
| | C = 111,7 t/h/m2 | | | | | | | | | | | |
| S (m2) = (T / C) = | 176,4 | 1,5787 | m2 | | | | | | | | | |
| | 111,7 | | | | | | | | | | | |
| | L = (S / A) = 1,5787 | | | | 0,3157 m | | | | | | | |
| f = 1,25 | factor de seguridad | | | | 5,00 | | | | | | | |
| Longitud real L(real) = | 1,25 | 0,3157 | = | 0,3947 m | = | 0,4 | | | | | | |
| b) La proporción debe estar entre 2 y 4 veces según fabricantes, el ancho recomendado debe ser entonces: | | | | | | | | | | | | |
| Scriba = 1,9734 m2 | Ancho | A(m) | L(m) | | | | | S(A)max=L·2·L | L=raiz(S(A)max/2) | | | |
| | mayor | 0,99 | 1,99 | | | | | S(A)min=L·4·L | | | | |
| | menor | 0,70 | 2,81 | Nota:Se debe unificar el ancho de la criba por diseño | | | | | | | | |
| d) Aclaraciones sobre el funcionamiento del programa: | | | | | | | | | | | | |
| # | Valor original del ejercicio | | | Ejemplo: 20 mm de malla de corte | | | | | | | | |
| (#+a) | Valor incrementado para facilitar la búsqueda en las tablas del segundo dato de interpolación. tiene, normalmente, varios rangos o posibilidades de incremento en concordancia con los valores de las tablas en las que debe buscar | | | | | | | | | | | |
| f(#) | Valor primero encontrado en las tablas, debe estar proximo al valor principal de búsqueda (dato del ejercicio) y normalmente algo inferior ya que las tablas se han ordenado de menor a mayor en la columna principal de búsqueda | | | | | | | | | | | |
| f(#+a) | Valor encontrado para la variable incrementada | | | | | | | | | | | |
| F4(#) | Valor de la fundión con el primer valor | | | | | | | | | | | |
| F4(#+a) | Valor de la fundión con el valor incrementado | | | | | | | | | | | |
| Inc | Valor del Incremento que se debe considerar | | | | | | | | | | | |
| F4: | El valor del parámetro que se está calculando será, normalmente, la suna de F4(#) y Inc | | | | | | | | | | | |
| | F4=F4(#)+Inc; Se debe verificar el signo (Para valores comprobados da correctamente) | | | | | | | | | | | |

| Tabla nº 1. Capacidades base | | | Tabla nº 2. Factor F ₄ riego | | F ₂ Inclinación (escalonar) | | |
|---|-------------------|--|--|--------------------|--|----------------------------|----------------|
| Malla | Ho | Q | Luz de | F ₄ (*) | Grados | Factor F ₂ | |
| 0,15 | 30 | 0,1 | 0 | 1 | 0° - 10° | 0,8 | |
| 0,2 | 32 | 0,16 | 1 | 1 | 11° - 17° | 0,9 | |
| 0,3 | 29 | 0,25 | 2 | 1,75 | 18° - 22° | 1 | |
| 0,4 | 28 | 0,5 | 3 | 2,5 | > 23° | estudiar | |
| 0,5 | 30 | 1,2 | 4 | 3 | * Se opera por tramos | | |
| 0,6 | 30 | 2 | 5 | 3,5 | | | |
| 0,75 | 30 | 4 | 8 | 3 | F₃, nº de pisos | | |
| 1 | 30 | 6 | 10 | 2,5 | Piso | Valor F₃ | |
| 1,5 | 36 | 9 | 15 | 1,75 | 1 | 1 | |
| 2 | 38 | 14 | 20 | 1,5 | 2 | 0,9 | |
| 3 | 43 | 16 | 30 | 1,25 | 3 | 0,8 | |
| 4 | 44 | 18 | 40 | 1 | 4 | 0,7 | |
| 5 | 48 | 36 | (*) Con riego abundante, F ₈ (contenido de humedad) toma el valor unidad | | | | |
| 8 | 56 | 40 | Tabla nº 3. Factores F₅, F₆, F₇, F₈ | | | | |
| 12 | 56 | 50 | % | F ₅ | F ₆ | F ₇ | F ₈ |
| 15 | 62 | 55 | 1 | | | | 1 |
| 20 | 69 | 60 | 4 | | | | 1 |
| 25 | 67 | 66 | 5 | <u>1,4</u> | | <u>0,4</u> | 0,8 |
| 30 | 70 | 70 | 6 | <u>1,4</u> | | <u>0,4</u> | 0,5 |
| 35 | 72 | 72 | 7 | <u>1,4</u> | | <u>0,4</u> | 0,45 |
| 40 | 68 | 75 | 8 | <u>1,4</u> | | <u>0,4</u> | 0,4 |
| 45 | 68 | 78 | 9 | <u>1,4</u> | | <u>0,4</u> | 0,3 |
| 50 | 70 | 80 | 10 | 1,4 | | 0,4 | 0,2 |
| 60 | 70 | 85 | 20 | 1,3 | | 0,6 | 0 |
| 70 | 72 | 95 | 30 | 1,2 | | 0,8 | 0 |
| 80 | 70 | 100 | 40 | 1,1 | | 1 | 1 |
| 100 | 70 | 110 | 50 | 1 | 2 | 1,2 | 1,1 |
| | | | 60 | 0,9 | 1,8 | 1,4 | 1,2 |
| F₁; forma de los granos | | | 70 | 0,8 | 1,6 | 1,6 | 1,25 |
| Forma | | Valor | 80 | 0,7 | 1,4 | 1,8 | |
| cantos rodados | | 1 | 90 | 0,6 | 1,2 | 2 | |
| arenas | | 1 | 92 | 0,5 | 1 | <u>2</u> | |
| roca triturada | | 0,85 | 94 | 0,44 | 0,8 | <u>2</u> | |
| trituración previa | | 0,85 | 96 | 0,35 | 0,7 | <u>2</u> | |
| rocas trituradas normales | | 0,85 | 98 | 0,2 | 0,6 | | |
| formas muy irregulares | | 0,7 | * Para humedad (F ₈) entre el 10 y el 40 % no se puede cribar en seco | | | | |
| formas irregulares | | 0,7 | * Eficiencias (F ₆) menores del 50% no se consideran válidas | | | | |
| | | | * Los valores indicados con <u>s</u> aumentan el margen de trabajo del método | | | | |
| Tabla nº 4. Altura mínima de capa en la descarga | | | respetando el último valor (son márgenes admisibles en otros sistemas) | | | | |
| Longitud de | Altura del | Capacidad de transporte | | | | | |
| 1,8 - 3,6 | 1,5 - 2,0 | Además de la capacidad de cribado por metro cuadrado, es preciso tener en cuenta la capacidad de transporte de la criba que está muy relacionada con las proporciones entre anchura y longitud. Tan perjudicial es subalimentar como sobrealimentar. | | | | | |
| 3,6 - 4,8 | 2,0 - 2,5 | Con respecto a la subalimentación existen diversos criterios según los autores, pero se puede considerar una buena aproximación el que en el extremo de descarga de la criba exista una altura de lecho, medida en unidades de tamaño medio del rechazo, dada por la tabla nº 4 en función de la longitud de la criba. | | | | | |
| 4,8 - 7,2 | 2,5 - 3,0 | | | | | | |

Tabla nº 5. Caudal máximo en relación al ancho de criba

| Ancho de | Caudal máx. |
|----------|-------------|
| 500 | 50 |
| 750 | 90 |
| 1000 | 135 |
| 1250 | 190 |
| 1500 | 250 |
| 1750 | 320 |
| 2000 | 400 |
| 2500 | 600 |

En cuanto a la capacidad de transporte existen también diversas opiniones y Blanc recomienda no sobrepasar los caudales máximos dados en la tabla nº 5 para los diversos anchos de criba.

B. CAPACIDAD DE LAS CRIBAS (Método Blanc)

El cálculo es un método empírico basado en capacidades base para un producto, considerado en unas condiciones preestablecidas, y adaptado mediante coeficientes a la operación deseada. Hay parámetros ligados al equipo (H, F₂, F₃), parámetros ligados al material (ρ_a, F₁, F₇, F₈) y parámetros ligados al proceso (F₄, F₅, F₆) y responde a la fórmula:

$$C(t / m^2 \cdot h) = Q \cdot \frac{H}{H_0} \cdot \frac{\rho_a}{1,5} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6 \cdot F_7 \cdot F_8$$

Donde los coeficientes se definen y calculan con el método siguiente:

- **C**: Capacidad de la criba en toneladas por metro cuadrado de superficie cribante y hora.
- **Q**: Capacidad base dada en la tabla nº 1 para productos de forma regular, tales como arenas o cantos rodados, con una densidad aparente de 1,5; que van a dar un 50% de rechazo y otro tanto de paso y que además un 40% de la alimentación sea inferior a la mitad de la malla y que la eficiencia sea de un 92% con una humedad superficial entre el 1% y 4%. La inclinación de la criba está comprendida entre 18° y 22°.
- **H**: Porcentaje en huecos de la superficie cribante que se utiliza y **H₀** el correspondiente a la capacidad base que se utiliza y tabulado junto a ella. Tabla nº 1.
- **ρ_a**: Densidad aparente del material y corrige por su desviación del valor tipo de 1,5.
- **F₁**: Factor que corrige por la desviación de la forma de los granos. Se toma el valor 1 para cantos rodados o arenas; 0,85 para rocas trituradas normales; 0,70 para formas muy irregulares.
- **F₂**: Toma el valor 1 para cribas inclinadas entre 18° y 22° y 0,80 para cribas horizontales.
- **F₃**: Aplicable a las cribas con varios pisos y toma el valor 1 para el superior, 0,9 para el segundo, 0,8 para el tercero y 0,7 para el cuarto.
- **F₄**: Factor que corrige por el empleo de riego de agua en los tamizados en húmedo y toma los valores dados en la tabla nº 2.
- **F₅**: Factor que corrige por la desviación del porcentaje de rechazo del valor tipo del 50% y se da en la tabla nº 3.
- **F₆**: Factor que tiene en cuenta la eficiencia deseada en el cribado y también se muestra en la tabla nº 3.
- **F₇**: Factor que corrige por la proporción de material inferior a la dimensión mitad de la malla. Tabla nº 3.
- **F₈**: Factor que corrige según el contenido en humedad superficial del producto y que también está dado en la tabla nº 3.

Cálculo de la superficie de cribado necesaria

Obtenido el valor del caudal unitario "C", se obtiene la superficie de criba necesaria mediante la expresión:

$$S(m^2) = (T / C) \cdot fs ; \text{ siendo : } \quad T: \text{Caudal tratado en (t/h)} \quad C: \text{Capacidad unitaria en (t/m}^2\text{/h)}$$

fs: Factor de seguridad, valor entre 1,2 y 1,3 (1,25)

Las dimensiones geométricas, para una malla rectangular, deben contemplar un largo superior en varias veces al ancho para un óptimo aprovechamiento de la criba. Este valor dependiendo del fabricante oscila, normalmente, entre 2 y 4 veces. Se debe contemplar la necesidad de un espacio previo para descarga y distribución uniforme del material en la criba y descontar (mayorar para el cálculo de la superficie total) las superficies no útiles como los anclajes o sujeciones laterales, barras intermedias de sujeción de las telas, etc).

Catálogo del fabricante

La criba Vibrosieve ha sido especialmente diseñada para clasificaciones finas entre 0,25 mm. y 2,0 mm. Sus principales aplicaciones son:

- Clasificación de arena silíceas para fabricación de vidrio, fundición, filtros, etc.
- Clasificación de arenas para hormigón de alta resistencia y prefabricados.
- Clasificación de minerales en procesos de concentración gravimétrica o separación magnética.
- Como rejillas de pre-escurrido en industrias de alimentación y químicas, como complemento o no de escurridores.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Artesa construida en chapa de acero mecano-soldada, formando un conjunto sumamente rígido e indeformable.

Mallas de poliuretano de configuración modular, de sección transversal de paso trapecial que evitan la obstrucción. Por efecto de la vibración y debido a su elasticidad se produce un efecto autolimpiante. Luces entre 0,3 mm y 2,5 mm. Accionamiento mediante vibrador(es) con posibilidad de regulación de la amplitud y el ángulo de ataque. La vibración, de alta frecuencia, puede ser lineal o elíptica, según las necesidades de clasificación.



| TIPO | ANCHO (mm.) | PESO (Kg) | POTENCIA (Kw.) | CAPACIDAD (t/h) a diferentes cortes (mm.) | | |
|------------------|--------------|--------------|----------------|---|-----------|-----------|
| | | | | 0,3 | 0,6 | 1,2 |
| VS - 500 | 500 | 800 | 1.1-2.2 | 5 | 8 | 12 |
| VS - 1000 | 1.000 | 1.100 | 1,5-3,0 | 10 | 16 | 24 |
| VS - 1500 | 1.500 | 1.600 | 2.8-5.6 | 15 | 24 | 36 |

(*) Los valores de capacidad se indican a título orientativo para arena silícea de 2,65 t/m³, 0,2 mm.