



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN Y PROSPECCIÓN DE MINAS

MASTER INTERUNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS

TRABAJO FIN DE MASTER

Título

“DISEÑO DE PROYECTOS DE MOLIENDA Y CLASIFICACIÓN MICRONIZADA POR VÍA SECA”

Autor: José Antonio Bilbao Echaurren
Directora: Nieves Roqueñi Gutiérrez

Oviedo, julio de 2014

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
2	OBJETO DEL TRABAJO.....	5
3	ETAPAS Y ELEMENTOS PRINCIPALES EN UNA PLANTA DE MOLIENDA MICRONIZADA.....	7
4	CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE MOLINOS.....	12
4.1	MOLINOS TIPO TRÓMELES.....	12
4.2	MOLINOS DE IMPACTOS.....	20
4.2.1	MOLINOS DE IMPACTOS DE DOS EJES CON ZAPATAS.....	20
4.2.2	MOLINOS DE IMPACTOS DE DOS EJES CON PIVOTES.....	22
4.2.3	MOLINO DE IMPACTOS DE EJE VERTICAL CON PLATO.	23
	25
4.2.4	MOLINO DE IMPACTOS CON EJE VERTICAL LARGO	25
4.3	MOLINOS DE PRESIÓN.....	27
4.3.1	MOLINOS DE PRESIÓN CON CILINDROS.....	27
4.3.2	MOLINO DE PRESIÓN CON PÉNDULOS.....	29
4.3.3	MOLINOS DE PRESIÓN CON RODILLOS.	31
4.4	MOLINOS ESPECIALES	32
4.4.1	MOLINOS ESPECIALES “AGITADORES”	32
4.4.2	MOLINOS ESPECIALES “VIBRANTES”.....	34
4.4.3	MOLINOS ESPECIALES DE “INYECCIÓN”.....	36
4.4.4	MOLINOS ESPECIALES “PLANETARIOS”	38
4.4.5	MOLINOS ESPECIALES “POR SU CONTROL” EN HUMEDAD, TEMPERATURA Y ATMÓSFERA.....	40
5	VALORACIÓN DE LOS MOLINOS SEGÚN TIPO Y APLICACIÓN	42
5.1	MOLINOS PARA LABORATORIO.....	42
5.2	MOLINOS SEGÚN LA DUREZA DEL MATERIAL.....	42
5.3	MOLINOS SEGÚN LA FINURA A OBTENER.....	42
5.4	MOLINOS SEGÚN LAS CONDICIONES DE CONTROL.....	42
5.5	MOLINOS SEGÚN RENDIMIENTO.....	42
5.6	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS MOLINOS.....	43
6	TIPOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE CLASIFICADORES.....	45
6.1	CLASIFICACIÓN POR TAMIZADO.....	45
6.1.1	“TORRE DE TAMICES”.....	45

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

6.1.2 TAMIZADO “POR BARRIDO” (método Alpine).....	45
6.1.3 TAMIZADO “CIRCULAR” (método Allgaier).....	46
6.1.4 CRIBA MOGENSEN (sin calor en el tamiz).....	47
6.1.5 CRIBA MOGENSEN (con calor en los tamices).....	49
6.2 CLASIFICADORES NEUMÁTICOS.....	50
6.2.1 CLASIFICADORES “DE JAULA DE ARDILLA”.....	50
6.2.2 CLASIFICADORES NEUMÁTICOS CON CIRCULACIÓN DE AIRE INTERNO DE “DISCO Y PALETAS”.....	52
6.2.3 CLASIFICADOR CON DISCO Y JAULA DE ARDILLA.....	53
7 VALORACIÓN DE LOS CLASIFICADORES SEGÚN TIPO Y APLICACIÓN.....	57
7.1 Para LABORATORIO.....	57
7.2 Según FINURA.....	57
7.3 Según DUREZA.....	57
7.4 Según HUMEDAD.....	57
7.5 Según RENDIMIENTO.....	57
8 OTROS ELEMENTOS QUE FORMAN PARTE DE LAS INSTALACIONES DE MOLIENDA.....	59
8.1 CICLONES (en “captación y filtrado”).....	59
8.2 FILTROS (en “captación y filtrado”).....	62
8.3 VENTILADORES (en “captación y filtrado”).....	70
8.4 CONDUCCIONES (uniones entre etapas).....	73
8.5 TOLVA DE ACOPIO Y ALIMENTADORES (“... en alimentación”).....	75
8.6 SILOS (etapa de almacenaje de productos terminados).....	77
8.7 INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y DE CONTROL (equipos auxiliares).....	78
8.8 SISTEMAS DE CONTROL GRANULOMÉTRICO.....	82
8.8.1 TAMIZADO POR BARRIDO CON CORRIENTE DE AIRE (AIR JET).....	82
8.8.2.- MÉTODO DE DIFRACCIÓN LÁSER.....	84
8.8.3 MÉTODO COULTER.....	86
8.8.4 MÉTODO SERIGRAPH.....	87
8.8.5 MICROSCOPIA ÓPTICA Y ELECTRÓNICA.....	88
8.9 COLORÍMETROS.....	91
8.10 ANÁLISIS QUIMICO.....	95
9 CONCLUSIONES.....	97
10 REFERENCIAS.....	98

1 INTRODUCCIÓN

La molienda micronizada, suele recibir los nombres de: Molienda “Fina” y Molienda para la obtención de impalpables.

Normalmente se entiende por molienda micronizada; la utilizada en la obtención de un producto cuya granulometría es toda ella inferior a 70 micras, (0,07 mm.). También se suele aplicar este término, para aquella con la que se obtienen los productos inferiores a 67 micras; pero en este caso se suele admitir que el 97% es inferior a 67 micras y que el 3% es superior sin indicar cuál es el tamaño de la partícula máxima, a lo que se le denomina “colas”. En este caso lleva el prefijo “d97”. Dependiendo de la aplicación del producto obtenido, es muy importante saber el tamaño de la partícula máxima.

Aplicaciones de la norma son por ejemplo el cemento, que normalmente tiene una granulometría $d_{97} < 67$ micras; pero la partícula máxima no ha de ser superior a 100 micras. O el caso del talco; que para algunas aplicaciones en cosmética el 100% ha de ser inferior a 5 micras.

Dentro de la molienda micronizada hay que distinguir dos tipos: la temporizada y la continua.

En la molienda temporizada: Se introduce dentro del molino, una cantidad predeterminada de material, se cierra el molino y se pone en marcha durante un tiempo predeterminado. La cantidad y el tiempo hacen que el producto final sea el deseado y la determinación de esas variables ha requerido de pruebas previas. Este tipo de molienda es empleado siempre en laboratorio, para la obtención de muestras que posteriormente han de ser analizadas o probadas para su aplicación como un componente de un producto final.

En la industria también se aplica la molienda temporizada ya con molinos a tamaño acorde a la cantidad que se desea obtener. En la industria farmacéutica es normal este tipo de molienda, cuando es ella misma la que obtiene el producto que posteriormente

adicionarán a sus fabricados. También se aplica en otras industrias; pero no este tipo de molienda no va a ser contemplado en este trabajo sino, solo mencionado. Igualmente se hará con los molinos que específicamente se utilizan en este tipo de molienda, que son: Los molinos en “V”, los vibrantes y los cilíndricos (trómeles). Los molinos en “V” son específicos de la molienda temporizada, los vibrantes y los trómeles se aplican también en la molienda continua por lo que posteriormente se verán.

La molienda continua se define como: Aquella por el cual se obtiene el producto deseado con una producción constante. Puede efectuarse por vía seca o húmeda.

Las aplicaciones son muy numerosas, dado que pueden ser aptas para tratar minerales como: Dióxido de titanio, baritas, calcitas, fluoritas, cuarzos, talco, yesos, feldespato, magnesita, caolín y otras arcillas, óxidos de hierro y de zinc, magnetita, piritas, azufre, rutilo, óxido de circonio, todos los tipos de carbones, etc. Metales como: Aluminio, cobre, plomo, cromo, molibdeno, manganeso, níquel, Wolframio, etc. Fabricados como: Clinker, carburo de silíceo, cristal, chamotas, etc. Vegetales como: Cereales, gran variedad de frutas, hortalizas, flores y algas, etc.

El destino de este material pulverulento es diverso, entre sus aplicaciones se encuentran las siguientes: pigmentos, esmaltes, cementos, morteros, cerámica, refractarios, cosmética, esencias, farmacia, alimentación, esmeriles, metalurgia, siderurgia, explosivos, pirotecnia, papel y otros.

2 OBJETO DEL TRABAJO.

El objetivo de este trabajo de fin de master es la definición y selección de los criterios de diseño más apropiados para proyectos de molienda y clasificación micronizada por vía seca.

Como se verá, los elementos críticos en este tipo de proyectos son los que realizan la molienda y posterior clasificación, por lo que el trabajo se ha centrado en la elección del molino y del clasificador. Se pretende definir los criterios de selección que hay que tener en cuenta para conseguir un proyecto exitoso y acertar con las características de cada uno de los elementos necesarios para una instalación de molienda micronizada para elegir los más idóneos. Para ello se clasificarán y se describirán cada uno de los tipos existentes, especificando las cualidades para moler o clasificar.

Algunos de los aspectos a estudiar están relacionados con las aplicaciones para las que pueden ser aptos, por destino o por los materiales a tratar, con su dureza, en qué gama de finura son óptimos, en qué diversas condiciones de trabajo pueden actuar o cuál es su rendimiento en producción por energía consumida.

Una vez seleccionados el molino y el clasificador, se analiza su integración en diversos modelos de instalación, definiendo los elementos que en las distintas etapas pueden componer una instalación. Con medios y métodos de control granulométrico, de color, químico y seguimiento de los productos molidos durante y al final del proceso.

El objetivo final del trabajo es optimizar el proceso de diseño de proyectos para conseguir instalaciones más acordes a los productos a tratar y con buenos rendimientos por ahorro de energía y mínimos gastos de mantenimiento. Dando como resultado, productos finales de calidad óptima para luchar en un mercado de gran competencia.

3 ETAPAS Y ELEMENTOS PRINCIPALES EN UNA PLANTA DE MOLIENDA MICRONIZADA

Los elementos principales de una planta de molienda micronizada son el molino y el clasificador, el método de selección de los tipos más apropiados, se verá en los apartados posteriores. Pero también forma parte importante otros elementos y todo el conjunto, da lugar a las etapas o fases del proceso. “Alimentación” con tolva de acopio y medios de alimentación. “Molienda” con molino y medios de evacuación. “Clasificación” con el clasificador, medios de entrada y de evacuación del clasificado y del rechazado. “Captación y filtrado” con, ciclones y filtros, ventiladores. “Almacén de productos terminados”. “Equipos auxiliares” como instalaciones eléctricas y de control.

Las características que en conjunto han de reunir las instalaciones de una molienda micronizada por vía seca; han de cumplir con los requisitos en que se ha fundamentado la selección del molino y el clasificador, esto es: Vienen fijadas por los condicionantes que fija el material a tratar: Si es abrasivo; las conducciones serán revestidas. Si es húmedo; tendrá medio para calentar el aire de circulación. Si le afecta el calor; tendrá medios para refrigerar el aire y de aislar conducciones y nave de instalación. Si le afecta el oxígeno; el aire será sustituido por un gas inerte, normalmente por nitrógeno.

Han de cumplir con las normativa de Seguridad e Higiene del trabajo y las Mediambientales. Por lo cual las instalaciones han de ser: Espaciosas, cerradas, bien iluminadas, con ruidos dentro de los límites permitidos, libres de polvo, con todos los dispositivos de prevención y sin emisiones de polvo, ruido y olores al exterior.

La instalación ha de tener; con buena capacidad en la tolva de alimentación y en los silos de almacén (como mínimo para una jornada de trabajo), que tenga puntos de toma de muestras al inicio, intermedios y final para control del proceso, que tenga dispositivos de control; de llenado de tolva y silos, de movimiento de cintas, de

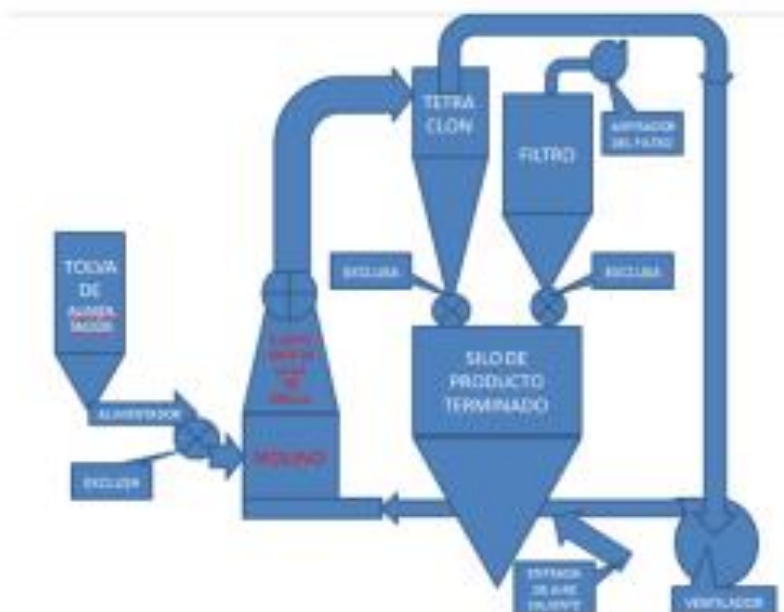
giro de molino y clasificador de presión en conducciones y filtro y en general; que estén bien construidas.

Se muestran seguidamente cuatro modelos de esquemas de instalaciones normalmente utilizadas, dos son “abiertas” y dos “cerradas”.

En las “abiertas” el aire utilizado es totalmente renovado y los rechaces aprovechados como subproductos. En las “cerradas” el aire o gas es recirculado total o parcialmente y los rechaces remolidos.

En primer esquema; “cerrado” porque se recircula la mayor parte del aire y los rechaces son remolidos. En ella falta la entrada al filtro desde un punto de la conducción, de la parte del aire que se destina a éste para ser renovada, para de esta forma poder añadir esa misma cantidad de aire limpio o de aire caliente, si es conveniente para controlar el contenido de humedad del material a moler. Si esta humedad es superior al 3 o 4% es conveniente renovar la totalidad del aire de circulación, para eliminar esa humedad que pasa al aire. Esta instalación, es la más sencilla y útil sin humedad en el material y con recirculación total, para el uso de gas inerte.

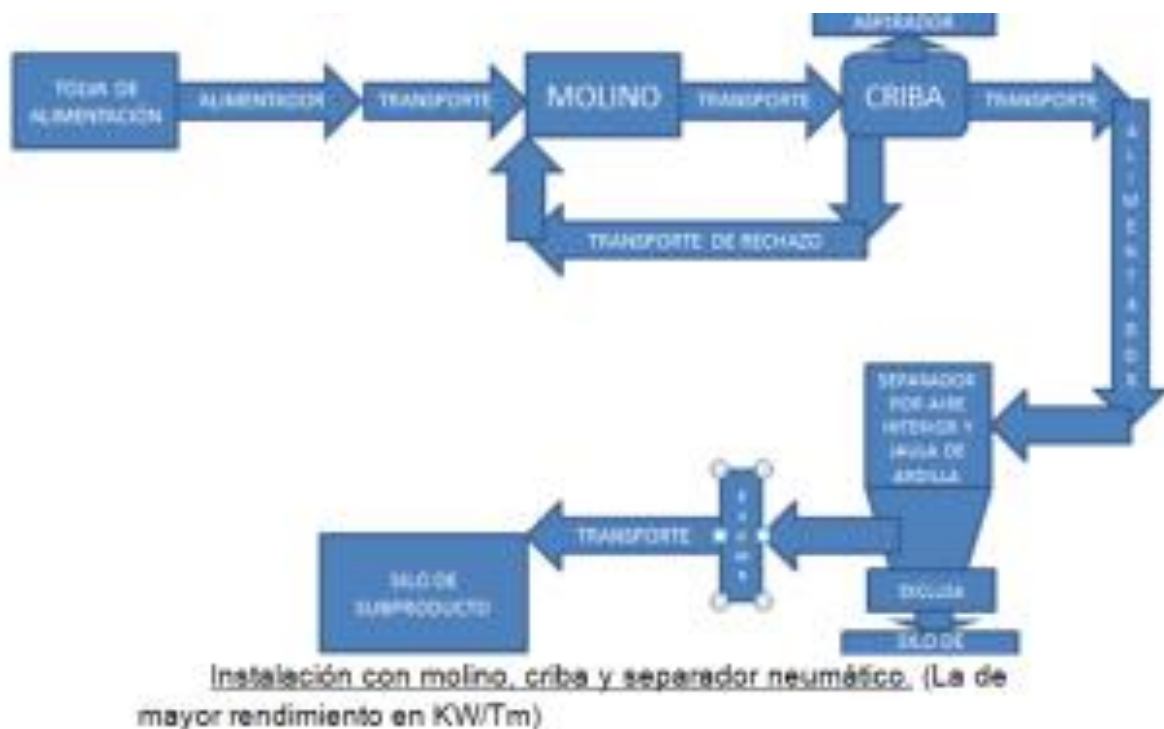
Esquema de instalación “cerrada” de molino con clasificador incorporado.



TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

En el segundo esquema “abierto” porque el aire aspirado de la criba y del molino para evitar emisiones es totalmente filtrado y emitido al exterior y el rechace del clasificador es aprovechado como subproducto ya que tenemos un corte anterior, realizado por el último tamiz de la criba.

En este caso el molino apropiado es del tipo de presión por cilindros, que se describe en el siguiente apartado y es la instalación de mayor rendimiento en kW/Tm tratada; debido a que no es necesario el uso de un gran caudal de aire, por lo que se ahorra en consumo eléctrico y en inversión, al ser aspirador y filtro



de pequeño tamaño y los medios de transporte entre elementos son económicos en inversión, mantenimiento y consumo eléctrico.

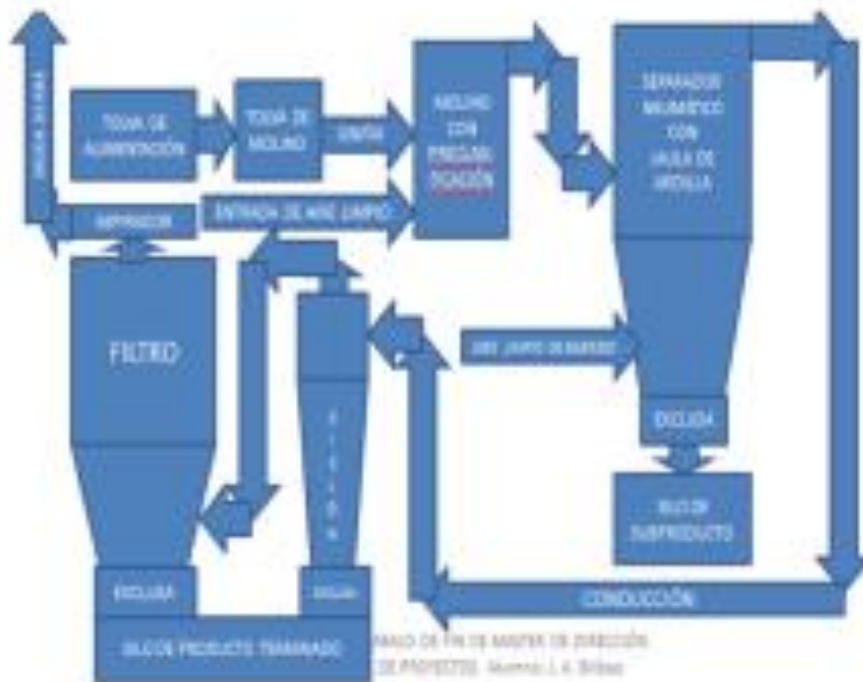
En el tercer esquema es también “abierto” ya que la totalidad del aire usado en el circuito es filtrado y expulsado al exterior, por lo

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

se trabaja con aire limpio, que da mayor capacidad de captación del producto molturado en el molino que además al estar dotado de un preclasificador, que da un corte granulométrico, se obtiene un subproducto.

El rendimiento en kW/Tm es menor que en el esquema anterior, debido al consumo eléctrico de un gran ventilador y la inversión también es mayor, por el tamaño del filtro; pero teniendo en cuenta la obtención de un subproducto vendible, puede obtenerse un resultado económico muy interesante.

Instalación de molino con preclasificador, clasificador neumático con circulación de aire exterior, tetración y filtro.



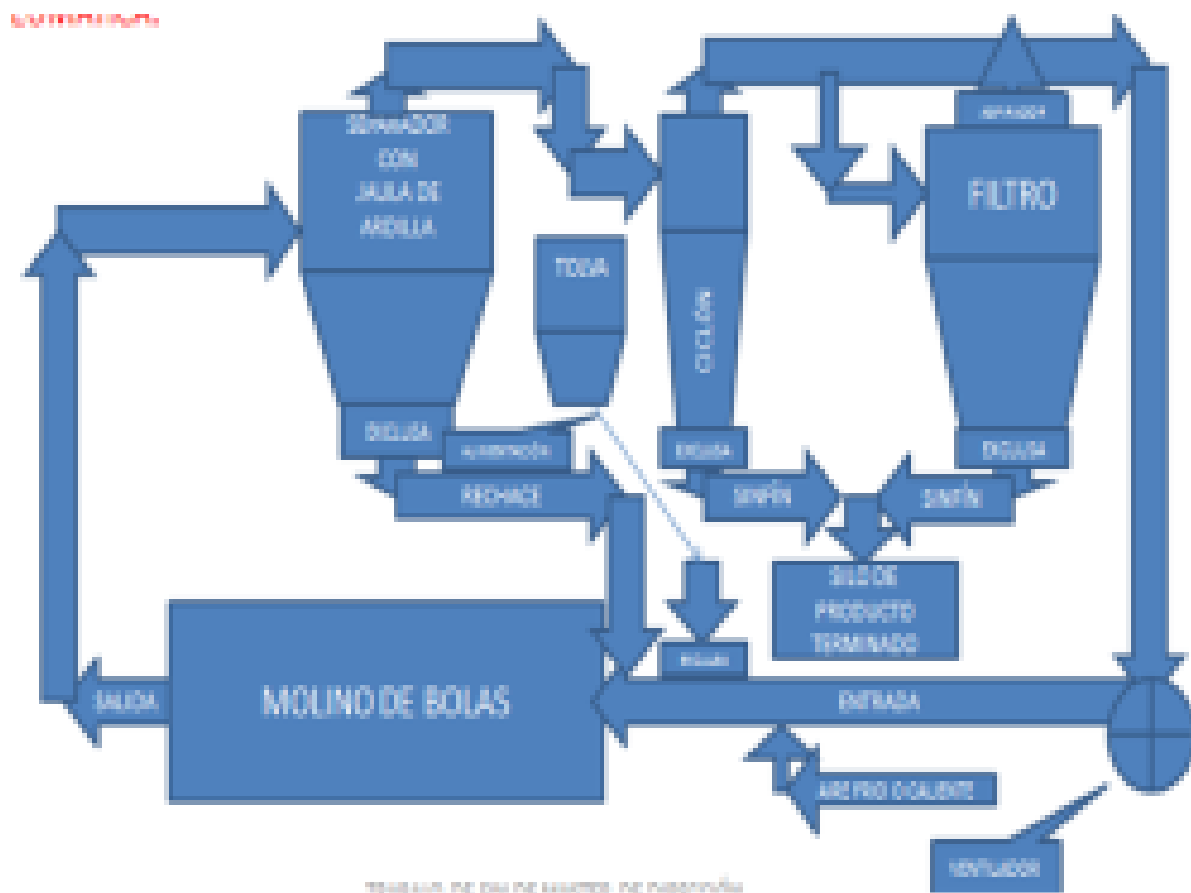
El esquema cuarto es “cerrado” ya que se recircula la mayor parte del aire y el rechace del clasificador se retorna al molino, que este caso es del tipo trómel, que se describe en el siguiente apartado.

Es la instalación más polivalente y por lo tanto la de mayor aplicación y su principal causa es la variedad de revestimientos y elementos de molienda que permite el trómel.

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

El rendimiento en kW/Tm obtenida, depende del material a tratar y a la finura a conseguir, pero como en la mayoría de las ocasiones se opta por esta instalación al tener que tratar productos abrasivos, el alto valor añadido de ellos, compensa el coste de producción, la inversión y el mantenimiento.

Instalación con molino de bolas y clasificador neumático.



4 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE MOLINOS.

Existen diversos tipos de molinos para molienda micronizada, se van a dividir en cuatro tipos y cada uno de ellos a su vez en unos subtipos:

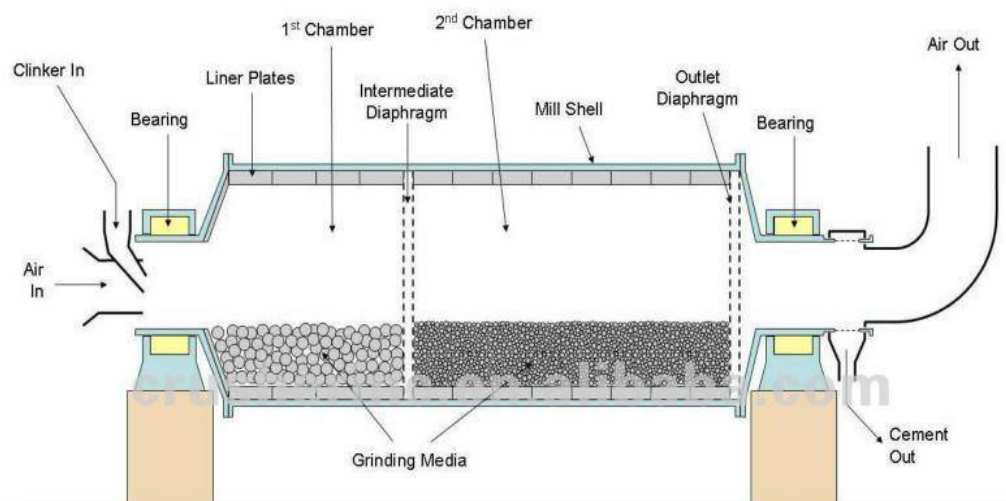
- Molinos tipo TRÓMELES. Subdivisión en función de su revestimiento y elementos de molienda sean de los materiales siguientes: A) de acero. B) de alúmina. C) de sílex o cerámico.
- Molinos tipo DE IMPACTOS. Subdivisión en función de sus ejes o eje: A) Dos ejes con zapatas. B) Dos ejes con pivotes. C) Un eje vertical con plato. D) Un eje vertical largo.
- Molinos tipo DE PRESIÓN. Subdivisión en función de los elementos de aplicación: A) Cilindros. B) Pendulos. C) Rodillos.
- Molinos tipo ESPECIALES. Subdivisión en función de la forma de molienda: A) Agitadores. B) Vibrantes. C) Inyección. D) Planetarios. E) Por su control en humedad, temperatura y atmosfera.

4.1 MOLINOS TIPO TRÓMELES.

Los molinos cilíndricos, normalmente denominados trómeles de molienda y en el caso que nos ocupa; por vía seca, son los de uso más generalizado en la industria, principalmente porque admiten gran diversidad de tamaños, con diversos revestimientos y de elementos de molienda, así como de formas de accionamiento, de alimentación y evacuación. Pero para la molienda micronizada nos centraremos en los de alimentación por un extremo, evacuación por el opuesto, con accionamiento por piñón y corona.

El material del revestimiento interior y de los elementos de molienda depende de la dureza, de la tonalidad y composición química a mantener; del producto a moler y la finura a obtener del tamaño de los elementos de molienda.

Estos revestimientos y elementos de molienda pueden ser de: A) de acero. B) de alúmina. C) de sílex o cerámico.



Esquema de molino de Clinker para cemento de dos cámaras.

El accionamiento por piñón y corona, es normal para cualquier capacidad del molino. El piñón está acoplado directamente al eje del motor en los molinos pequeños (menores de 50 KW) y a través de un acoplamiento en los mayores, en este caso el piñón tiene su eje propio y soportes propios. La corona va fijada a la parte exterior del tromel. Piñón y corona están protegidos y llevan un dispositivo de lubricación.

El nº RPM del tromel; se consiguen a través de la relación entre el nº de dientes del piñón y la corona, la relación del reductor y de las rpm del motor. Este nº de RPM idóneo para conseguir una óptima molienda, que en este tipo de molinos; es una conjunción del choque de los bolas entre sí, en la caída después de ser elevada la carga por la rotación del molino, la fricción de las bolas entre sí y con el revestimiento del molino. Se estima en el 75% de las rpm crítica; a las cuales la fuerza centrífuga mantiene las bolas pegadas a la periferia interior del molino. Por ejemplo esto hace que para un molino de dos metros de diámetro, tengamos 23 RPM como óptimas. 75% de las 30 rpm críticas.

El tamaño de los molinos, depende de la producción que deseemos obtener, tanto en cantidad como en finura, variando en diámetro de uno a tres metros y el largo de cuatro a más de veinte.

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Dependiendo del diámetro, longitud y peso total del molino (peso propio, más revestimiento, más elementos de molienda, más material a moler) se establecerá el tamaño de los medios de sustentación, que para los molinos de tamaño pequeño y mediano se localiza en las cabezas del molino que cierran el cilindro. Tienen éstas; forma de trompeta muy corta, la parte abierta va atornillada al cilindro y la cerrada; que es hueca, va mecanizada por el exterior donde se alojan rodamientos o casquillos de antifricción dentro de sus soportes, con lubricación, refrigeración y control térmico que aseguran el buen giro del molino.



Molino de bolas de 750 kW.

En los molinos de gran longitud, es necesario pares de rodillos giratorios (llamados “cunas”) que ayudan a soportan el conjunto, en ellos posan los anillos circulares lisos, sujetos en la parte exterior de manera similar a la corona dentada de accionamiento. Estos anillos también soportan cargas longitudinales al incidir por los sus lados otros rodillos giratorios. Estos molinos de gran longitud solo se utilizan en las cementeras, tienen interiormente una o dos rejillas que dividen el molino en dos o tres zonas; cada una tiene distinto tamaño de elementos de molienda, estando las de mayor medida a la entrada, donde el tamaño del producto a moler es mayor y va pasando por las siguientes cámaras, a medida que reduce su tamaño, lo mismo que los elementos de molienda, que se agregan con la medida superior y a medida que se desgastan, van pasando de una cámara a la siguiente. Se menciona aquí esta variante de

los molinos cilíndricos, porque en la introducción se ha mencionado el cemento como un producto que se obtienen por molienda micronizada, pero no son usados estos molinos de cámaras para otros productos.



Molino de bolas de gran longitud, para molienda de Clinker.

La potencia de los motores oscila entre los 50 a más de 1.000 KW. Las grandes potencias suelen tener alimentación de hasta 5.000 V. con dispositivos electrónicos de arranque suave, que a la vez sirven para tener unas RPM de molino variable; muy útil si se muelen distintos productos con el mismo molino.

La carga de los elementos de molienda que se considera óptima: es la que ocupa el 40% del volumen interior del molino, debiéndose de añadir carga en la medida del desgaste de ella. Su forma en la molienda micronizada; es la esférica. Para algunos casos dan buen rendimiento los de forma de barriletes (llamados "ciples"). Bolas o ciples; son normalmente metálicos de una aleación de acero al manganeso con cromo, níquel y molibdeno. Son preferidos los forjados a los fundidos. Su tamaño depende de la medida de la mayor partícula de alimentación y de la granulometría final a obtener.

En la molienda micronizada, es fundamental para obtener un buen rendimiento; medido en KW consumidos por Tm de producto

final obtenido. En el rendimiento intervienen: La granulometría de alimentación, de la cual depende el tamaño de los elementos de molienda y la longitud del molino. Es de común aceptación; que el producto conseguido en la salida del molino ha de contener el 50% del producto final a obtener, esto es: Si se desea obtener un producto final < 20 micras, el 50% a la salida del molino ha de ser < 20 micras. Es la forma de obtener un rendimiento óptimo. Si ya se dispone de molino, ha de probarse con distintas granulometrías de alimentación para conseguir este fin. También ha de tenerse en cuenta, que cuanto menor sea el tamaño de los elementos de molienda, mayor cantidad de choques y roces se producirán entre ellos, por lo que habrá más capacidad de molienda. Por norma; el tamaño mínimo de los elementos de molienda es de 20 mm, en una molienda micronizada con la que se puede obtener un producto < 20 micras o inferior. El producto a moler no debe cubrir en manto de bolas o lo que es lo mismo: Han de verse las bolas.

El revestimiento del molino cilíndrico en la molienda micronizada, es de un material de similar calidad a los elementos de molienda, para que no se produzca desgaste entre ellos. Suelen ser placas metálicas fundidas, atornilladas a la carcasa cilíndrica y a las cabezas que lo cierran. Para su colocación; en la carcasa existe una boca por la que se puede acceder al interior, con su correspondiente tapa también revestida, que se coloca una vez terminado el revestimiento y la carga de bolas primaria.

El tipo de material del revestimiento y de los elementos de molienda; con dos ejemplos se ve mejor la cuestión. 1º Se trata de moler un cuarzo y el producto final, no permite la contaminación con hierro, se tendrá en cuenta el dicho que dice: “La mejor molienda es la de un material contra sí mismo”. Con el cuarzo se cumple y a la vez se evita la contaminación; si se reviste el molino con adoquines de sílex y como elementos de molienda se usa canto rodado de cuarzo. 2º Se ha de conseguir un talco o un dióxido de titanio con la mayor blancura posible. Aquí no podemos revestir, ni las bolas pueden ser de talco o de dióxido de titanio por lo que se usa; alúmina endurecida para ambos, la cual tiene una blancura similar a ellos. En la mayoría de los molinos que siguen, no se pueden dar

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

estas alternativas, por lo que es un condicionante a tenerse en cuenta en ellos, según el material a moler.

Queda por definir como se efectúa la alimentación y la evacuación. Se ha indicado que las cabeceras del molino tienen forma de trompetas cortas y su parte estrecha es hueca, esto es; las cabeceras tienen una entrada a un lado y una salida en el opuesto. En la molienda micronizada a $<$ de 40 micras; toda clasificación posterior a la molienda, se efectúa dentro de una circulación de aire, por lo que se usa esa corriente de aire para la evacuación del producto del molido, ya que dada su finura se encuentra en suspensión en el interior del molino, este aire movido

Bolas de acero y alúmina

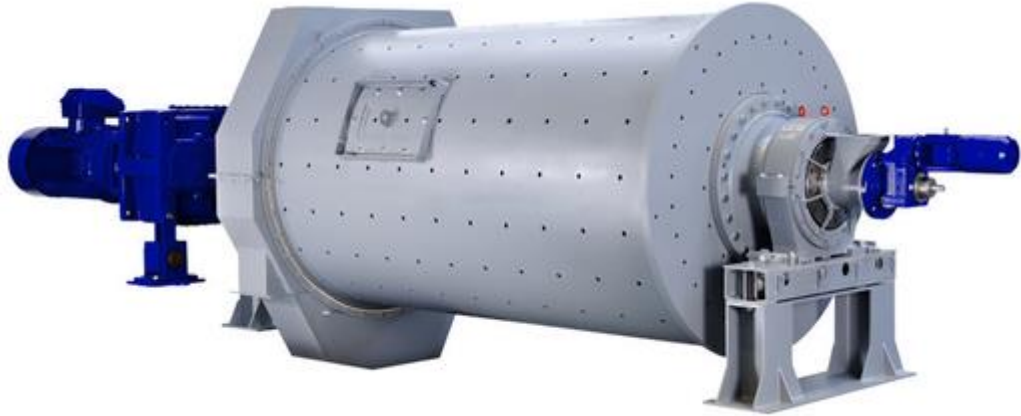


por un ventilador o aspirador, va de la entrada a la salida. La boca de entrada da paso a éste aire, que arrastra al material de alimentación y al rechace de los elementos de clasificación, ambos son introducidos en el conducto del aire, a través de un mecanismo del tipo exclusiva alveolar, sin-fin o similar y caen sobre los elementos de molienda, al perder velocidad el aire a la entrada en el molido, por la diferencia del diámetro de la boca de entrada y del molino.



Molino ANIVI cilíndrico de bolas con evacuación neumática

En la molienda micronizada < 70 y > 40 micras. La evacuación, puede efectuarse por la periferia de la carcasa cilíndrica, en el extremo opuesto a la alimentación a través de unos orificios. Para evitar que los elementos de molienda accedan a ellos, interiormente existe un escudo perforado (rejilla), que separa la zona de molienda de la de evacuación. Esta zona exterior perforada, está totalmente cubierta; pero con una boca de salida del material molido en la parte inferior, que conecta con un medio de transporte, que lo conduce a la clasificación. Como no se dispone de una corriente de aire como medio para introducir, el material a moler y el rechace de la clasificación; un sin-fin la efectúa. Para evitar emisiones de polvo del interior del molino, hay una pequeña aspiración conectada a la parte superior que cubre los orificios de salida de material.



Molino de bola Hosokawa-Alpine con descarga periférica, alimentación por tornillo sin-fin y accionamiento axial.

Los trómeles, debido a la variedad de dimensiones que pueden tener, a los distintos tipos de revestimientos que se han mencionado, a sus formas de evacuación y al permitir controlar la temperatura del aire circulante, o poderlo sustituir por un gas inerte, son los molinos muy versátiles; incluso permiten que los datos obtenidos en una planta piloto, aplicándoles un índice, se pueda saber el rendimiento que pueda dar real.

Su aplicación en laboratorio, es muy normal, usando cilindros con tapas y elementos de molienda de los materiales y medidas que se deseen, y de este modo saber hasta que finura se puede conseguir y cuál es la contaminación que puede llegar a tener el producto a tratar. Aunque usan siempre el modo de molienda temporizada.

4.2. MOLINOS DE IMPACTOS.

4.2.1 MOLINOS DE IMPACTOS DE DOS EJES CON ZAPATAS.

Se pueden definir como dos molinos unidos, cuyos ejes están horizontales y son paralelos; montan crucetas con zapatas atornilladas, de acero resistente a la abrasión, por ser contra las que choca el material a moler y a la vez tenaz, ya que tienen que resistir una importante fuerza centrífuga. El giro de los ejes es en sentido contrario, por lo que en el punto de encuentro, el impacto sea el doble, al sumarse las dos velocidades periféricas.

La alimentación del material a moler, con un tamaño de grano < de 10 mm, se efectúa a través de una exclusiva alveolar de velocidad controlada, que hace caer la carga sobre uno de los rotores, lo lanza sobre el contrario y a la vez ambos contra la envolvente del molino; que es de placas dentadas para aumentar la eficacia del choque y de acero al manganeso.

La evacuación del producto, se efectúa por medio de una corriente de aire recirculado, que entra por la parte inferior de la alimentación, barre todo el molino y lo eleva por la parte superior y central hasta un clasificador, que deja pasar lo menor del tamaño de partícula deseado y lo mayor, cae de nuevo a la cámara de molienda.

Todo el aire no es recirculado, sino que una parte de él, es filtrado y ya limpio se elimina. El aire nuevo y fresco, entra por un espacio abierto en la carcasa alrededor de los extremos de los ejes, que refrigera estos y los soportes de rodamientos y barre toda la zona de molienda junto con el recirculado.

Un ejemplo de estos lo tenemos en el molino GRUBER MS-2 son: Dos motores de 30 KW a 3.000 rpm, con una alimentación < de 10 mm; produce unos 400 kg/h < 40 micras, de Carbonato cálcico. Los ejes montan dos crucetas cada uno, el ancho con las zapatas es de 500 mm. Y el diámetro de 600 mm.



Molino de dos ejes horizontales y paralelos, con giro opuesto.



Cruceta con zapatas.

Este tipo de molino, no admite otro tipo de material en las zapatas y placas de choque; pero debido a la calidad de los aceros empleados, el desgaste y la contaminación es asumible, en la

molturación de carbonato cálcico. Para materiales de más dureza es incompatible.

Su aplicación en laboratorios es casi nula.

4.2.2 MOLINOS DE IMPACTOS DE DOS EJES CON PIVOTES.

Se caracterizan, por un fuerte cuerpo exterior monobloc de fundición en forma de omega. En uno de los laterales se sujeta directamente el motor, cuyo eje penetra en el interior del molino y en el que se aloja el disco que monta los pivotes de acero con un alto contenido en wolframio. En el otro lateral está la fuerte tapa abisagrada y con elementos de cierre, que monta otro disco con pivotes fijo en el caso de un eje o móvil para este caso de dos ejes motrices, es similar al anterior; pero que los pivotes se entrelazan con los del disco opuesto.

La alimentación se efectúa por una boca en la parte superior de la tapa, que conduce el material a moler al centro del disco fijo por donde entra a la cámara de molienda. En este caso la evacuación del material molido se efectúa por la parte inferior del molino, para ser conducido a un clasificador, cuyo rechace vuelve al molino.

La tapa puede alojar también, un medio de clasificación. En este caso, la alimentación a la cámara de molienda es por la parte superior del disco fijo y por el centro se produce la evacuación por aspiración del material molido cuyo paso ha permitido el clasificador.

En este tipo de molino, la molturación se produce entre los pivotes, que tienen una gran resistencia al desgaste, pero no admite materiales más que levemente abrasivos, debido a que es un molino con el que se consiguen finuras < 5 micras por la velocidad de giro del disco y el choque entre pivotes.

La aplicación en laboratorio, de todos los molinos de impactos es casi nula.



Molino de impactos de pivotes o púas de Hosokawa-Alpine

4.2.3 MOLINO DE IMPACTOS DE EJE VERTICAL CON PLATO.

Los modelos más actuales de este tipo de molino, incorporan un gran disco horizontal, en cuyo borde se encuentra unas relativamente pequeñas zapatas firmemente sujetas y de una aleación similar a los pivotes del molino anterior. Cerca de las zapatas se encuentra un anillo fijo, de acero con gran resistencia al desgaste, con pequeños puntos de choque, en forma de dientes de sierra, que presenta su parte frontal al giro del disco. La razón del gran plato, es conseguir una gran velocidad periférica, que las zapatas imprimen a las partículas del material a moler y al salir despedidas, chocan con el frontal de los dientes de sierra del anillo y rebotan de nuevo contra las zapatas, produciéndose la molturación. El diámetro del disco es de 1.400 mm con velocidad periférica de 40 m/s, en el modelo de 100 KW a 3.000 rpm.

Con este tipo de molinos se consigue un buen rendimiento, para moliendas a < 40 micras (900 kg/h de CO_3Ca) y rendimientos aceptables a < 20 micras. Baja mucho el rendimiento si se desea conseguir más finura, al igual que en todos los molinos de impactos, debido que al disminuir la masa de la partícula, la energía cinética que se imprime disminuye y por muy cerca que se encuentre el punto de choque, la resistencia del aire, disminuye la velocidad y

siendo su influencia exponencial se explica la disminución del rendimiento.

El gran disco va atornillado a la brida en la que termina el eje vertical del molino, con lo que fácilmente se puede sustituir el disco, por otro con zapatas renovadas. El eje se aloja en los rodamientos montados en la carcasa del molino, normalmente lubricados por un circuito de aceite con una pequeña sobrepresión que aumenta la eficacia de los sellos de los rodamientos, con control de temperatura, dispositivo de refrigeración y filtrado.

En el extremo del eje va montada una polea de canales trapezoidales, a la cual transmiten el giro y la potencia unas correas desde una polea similar colocada en el eje del motor de potencias entre 50 a 150 KW.

La alimentación del material a moler, se efectúa por medio de un tornillo sin-fin situado en la carcasa del molino y cuya descarga se produce en el centro del disco, cuyo giro lo reparte e impulsa. El tamaño de alimentación ha de ser < 8 mm.

La evacuación se produce por medio de una corriente de aire, que entra tangencialmente por la parte inferior de la carcasa, barre toda la zona de molienda y eleva el material molido hasta la parte superior donde se encuentra un clasificador, que deja pasar las partículas a cuya medida se ha regulado y el resto, caen de nuevo a la zona de molienda.

La carcasa la componen: La entrada tangencial del aire, la parte inferior con el soporte de rodamientos, la virola en la que se ajusta el anillo de molienda en su parte baja, hacia la mitad tiene la entrada el tornillo sin-fin de alimentación y embrida en la parte superior, va la tapa que monta el equipo de clasificación. Dependiendo del fabricante; tiene un modo de apertura del molino que facilita su limpieza y mantenimiento.



Ejemplos de molinos de eje vertical con plato, uno con clasificador incorporado en la tapa y el otro con preclasificador en el mismo eje.

La carcasa que en su conjunto forma el molino en sí y el motor, van montados en una estructura metálica, que puede incorporar patas de apoyo y forma de anclaje.

4.2.4 MOLINO DE IMPACTOS CON EJE VERTICAL LARGO

Este tipo de molino es muy similar al anterior. La disposición en la estructura con patas es igual, el eje del molino es más largo, por lo que tiene soportes de rodamientos, abajo y arriba, también lubricados con circuito de aceite y la apertura es en forma de libro, lo que permite buen acceso al interior.

La alimentación, con tamaños de 4 a 8 mm, también es por tornillo sin-fin con control de rpm y descarga en la parte superior de la cámara de molienda, que está formada por cuatro discos montados en el eje; que portan tres pisos de barras moledoras de sección rectangular, que reciben el material que cae del disco superior y lo proyectan sobre la carcasa interior, que en la zona de molienda tiene pletinas intercambiables como elementos de choque, que hacen rebotar el material a las barras moledoras.

La parte inferior del eje, ya dentro del molino, monta un rodete aspirador, que hace penetrar el aire por la parte inferior de la carcasa, por una boca tangencialmente dispuesta, en el extremo opuesto, monta un rodete impulsor, forzando la salida del aire por la boca tangencial de la parte superior de la carcasa. Entre ambos rodetes forman la corriente de aire que barre la zona de molienda.

En su ascenso el aire arrastra las partículas molidas a la zona de clasificación que está montada también en el eje por encima de la boca de salida del tornillo sin-fin alimentador y se compone de dos platos que portan cada uno 12 barras clasificadoras de perfil cuadrado atornilladas, por lo que el número puede variarse según la finura que se desee obtener, hace las funciones de una jaula de ardilla plana, que deja pasar las partículas molidas y rechaza las mayores a la zona de molienda.

Toda la carcasa interior, los discos, pletinas de choque las barras moledoras y clasificadoras y rodetes; están formadas por acero laminado con una aleación que a la vez las hace resistentes a desgaste y las da tenacidad.

Este molino, tiene una carcasa exterior, de menor espesor que la interior, formando entre las dos una cámara, que permite la circulación de agua que refrigera el molino.

Estos molinos, con clasificador incorporado, fueron concebidos para evitar un clasificador posterior; pero la práctica ha demostrado; que si bien es cierto que lo consiguen, la curva granulométrica del material obtenido, tiene una cola de partículas, superiores a la mayor deseada, muy larga que la hace rechazable para gran mayoría de aplicaciones.

Pero esta clasificación, si es útil como preclasificación y evita que llegue al clasificador un exceso de carga, con lo que es capaz de dar un buen corte con mejor rendimiento y en ocasiones su rechace es un subproducto utilizable, que al no retornar al molino aumenta su rendimiento; pues esas partículas casi del tamaño deseado, al tener poco peso, son difíciles de reducir; más en este molino que en su modelo mayor, tiene un diámetro interior de 700

mm. las rpm son también 3.000. Con este método se consigue 700 kg/h < 40 micras más 700 kg/h < 100.



Modelo TH 50, con accionamiento hidráulico del sin-fin de alimentación.

4.3 MOLINOS DE PRESIÓN

4.3.1 MOLINOS DE PRESIÓN CON CILINDROS.

Este tipo de molinos puede no está concebido para una molienda micronizada; pero la práctica ha demostrado que se pueden conseguir rendimientos muy interesantes, para molturaciones < 70 micras.

En una instalación, compuesta por un molino de rodillos de dos motores de 30 kW, con rodillos de 600x600 mm (diámetro y longitud), una criba de varios tamices, en cascada y con el inferior de 0,07 mm y un clasificador Sturtevant, se consiguen 400 kg/h < 40 micras, más 500 kg/h < 70 micras. Producción muy óptima si consideramos que el total de la potencia instalada es de unos 100 kW y partiendo de un CO_3Ca < 8 mm.

Este tipo de molinos está compuesto por dos rodillos enfrentados como si fueran a laminar, el material que se introduce entre ellos. Los rodillos son fundidos en un acero al manganeso y posteriormente mecanizados. Uno de los rodillos permanece fijo y el otro dispone de un procedimiento de acercamiento al fijo, a la vez que dispone de un dispositivo (neumático o mecánico), para permitir

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

una separación inmediata entre ellos, en caso de entrar al molino un material no molturable.

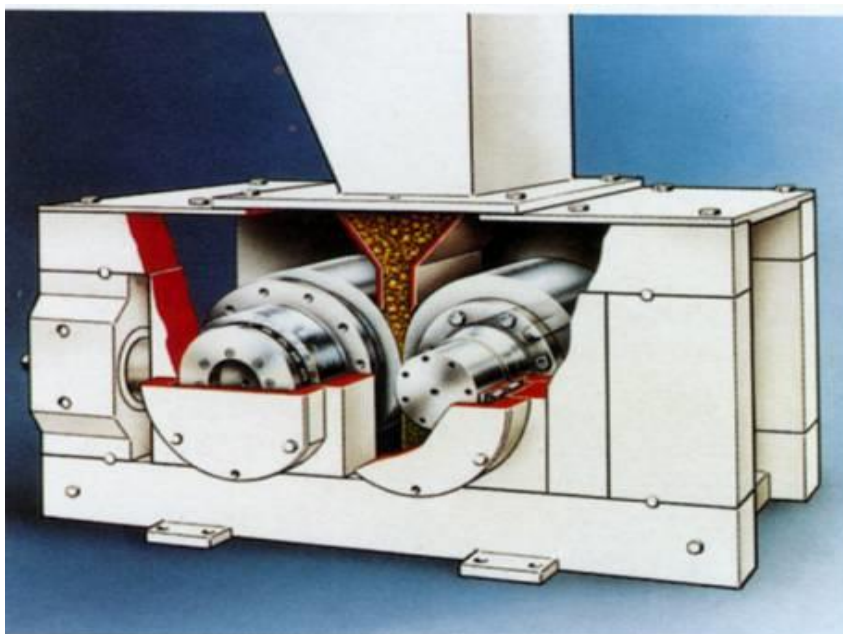
La alimentación se efectúa desde una tolva, por la parte superior, lo más repartida posible en la longitud de los rodillos y regulaba según el consumo de los motores.

La salida del producto molido se conduce al primer clasificador. El rechace se deposita en la tolva de alimentación, para que se mezcle con el existente.

Se consigue con este tipo de molino, una instalación muy sencilla, acompañada con el clasificador tipo Sturtevant, con el que no es necesaria una circulación de aire, con lo que se evitan; ciclones, filtro, ventilador y aspirador en filtro.

Con instalaciones más complicadas, en las que el rechace del primer clasificador, pasa a un segundo molino que tiene los rodillos más próximos y el pasante a otro con rodillos todavía más cercanos. Se llega a conseguir finuras < de 20 micras y más si se repite el proceso. Aunque no es un método de aplicación industrial, pero sí en instalaciones de pruebas para materiales que se resisten a otro tipo de molturación por condicionantes propios.

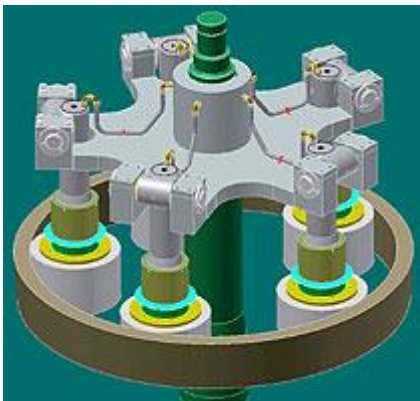
Molino de cilindros



4.3.2 MOLINO DE PRESIÓN CON PÉNDULOS.

Ejecutan una molturación por presión, método clásico en todos los procesos de reducción del tamaño de un material con la condición de que sea frágil. En la molienda micronizada se ha de añadir la condición de dureza media, ya que los elementos que intervienen en la molienda, son necesariamente metálicos, por lo tanto se puede producir una contaminación o un desgaste excesivo no asumibles.

Los molinos pendulares son molinos con aplicación industrial muy destacada, por su gran uso en la actualidad y ya se utilizaban ampliamente en los años 50 del siglo pasado, con el mismo concepto que los actuales, aunque no con la tecnología que ahora tienen. Su método de molienda, se aprecia en la figura. El eje

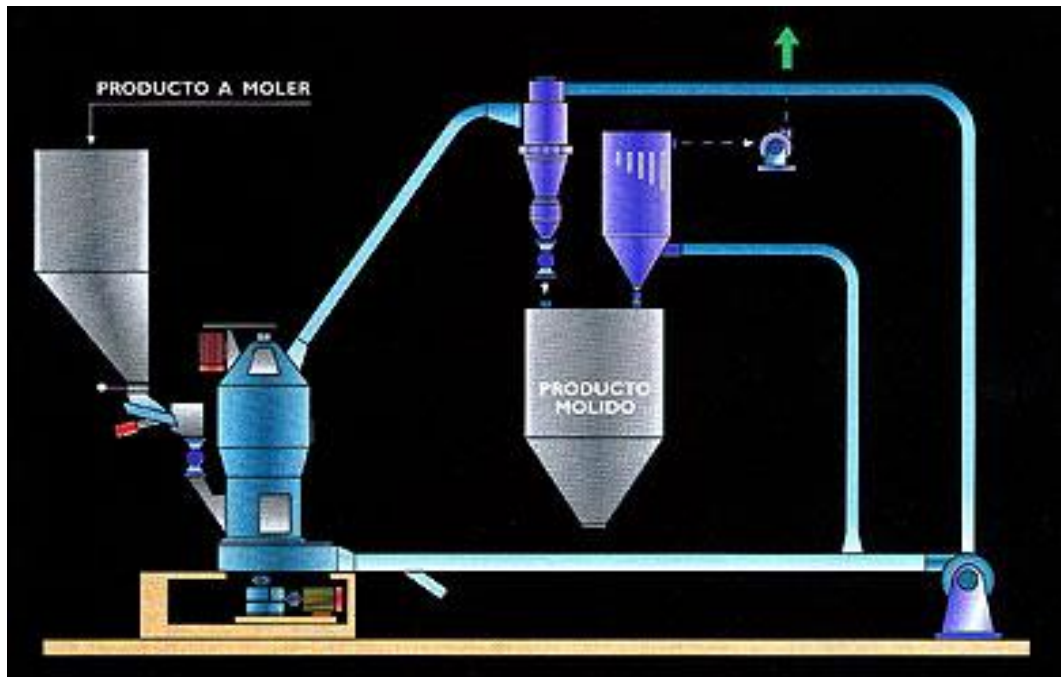


central es accionado a través de un reductor de salida vertical y entrada horizontal, acoplada a un motor. En el eje se aloja la estrella porta-péndulos. Por la acción del giro la fuerza centrífuga hace presionar los péndulos sobre el anillo de molienda.

En la figura en la parte baja, se ve la puerta de acceso a los péndulos, que para ser sustituidos para su mantenimiento. En la parte inferior se encuentra la entrada de aire que se realiza tangencialmente y que barre la zona de molienda y eleva el producto molido al separador que se encuentra en la parte



superior. A la izquierda se ve la exclusiva alveolar que introduce el material en el molino, hasta ella lo transporta un dosificador, de tornillo sin-fin, bandeja vibrante o cinta desde la tolva o silo de almacenamiento.



Esquema de la instalación de del molino pendular de ANIVI.

La alimentación cuyo tamaño depende del modelo de molino, no será mayor de 20 mm, para el modelo superior, cae sobre un disco sujeto a eje del molino, situado por debajo del anillo de molienda que dispone de unas paletas que lo distribuye sobre el anillo de molienda, que se encuentra fijo a la carcasa y es de acero al manganeso forjado.

Los péndulos, llevan un dispositivo de engrase centralizado, que se ve en la figura, para lubricar los rodamientos. La pista que incide sobre el anillo de molienda de material igual a él y es sustituida cuando su desgaste lo pide.

	Tamaño del molino						
	1	3	5	8	12	15	18
Motor molino (Kw.)	11	37	55	75	110	160	250
Motor ventilador principal (Kw.)	11	37	55	75	110	160	250
Motor clasificador (Kw.)	2.2	5.5	7.5	11	15	18.5	30
Número de péndulos	3	3	4	4	4	4	6

Gama de modelos de los molinos pendulares de ANIVI.

4.3.3 MOLINOS DE PRESIÓN CON RODILLOS.

Este tipo exteriormente tiene una gran semejanza con el anterior, pero en el interior está la diferencia. Los péndulos son rodillos, no existe la estrella porta-péndulos, la fuerza de incidencia entre rodillos y pista de molienda, no es inercial, sino ejercida por una presión externa. El conjunto que forma los rodillos están fijados a la carcasa del molino. La pista de molienda no es un anillo fijo, sino una mesa giratoria, por la acción del eje del molino, acoplado a la salida vertical de la reductora.



En la figura del molino de rodillos de Hosokawa-Alpine, se aprecia la disposición de los rodillos sujetos a las tapas, con los elementos de presión hidráulicos, al igual que la apertura de las puertas, el medio de alivio de presión ante un elemento extraño, el motor, la entrada del aire de barrido con rejilla y oculto está la reductora que accionan el eje con su mesa de molienda. Se ve arriba el motor del clasificador y la salida hacia ciclones y filtro.

La alimentación se produce de igual modo que en el tipo anterior. Cae sobre la mesa que su propio giro lo distribuye bajo los rodillos.

El principio de este tipo de molinos no es otro que el molino de ruedas de piedra girando sobre una mesa, también de piedra, por la

acción de un animal. Molino muy primitivo usado para moler cereales.

Existen variantes de este tipo de molino, en los que en lugar de rodillos, se usan bolas de un tamaño menor que los rodillos, la mesa de molienda también móvil aloja a las bolas y la presión sobre ellas, la ejerce un anillo superior.

La molturación por presión, tiene su rendimiento óptimo en la obtención de finuras < 70 micras (en el límite de la micronizada). A < 40 micras el rendimiento es aceptable y no es adecuado para la obtención de mayores finuras.

De los molinos que actúan por presión, solo el de cilindros tiene aplicación en laboratorio y no suele ser usado para molienda micronizada.

4.4. MOLINOS ESPECIALES

4.4.1 MOLINOS ESPECIALES “AGITADORES”.

Los tres tipos siguientes, son modernos de nueva concepción y su aplicación industrial, no es anterior a los años 60 del siglo XX.

Los agitadores, también se conocen como molinos de atrición por ser un tipo de molinos usados en la molienda húmeda, que cuando se usan para la obtención de una pulpa en la que el tamaño de las partículas sólidas es inferior a una micra, reciben el nombre de molinos coloidales.

Los molinos agitadores por vía seca, tienen el mismo principio que los de atrición de vía húmeda y básicamente son iguales; solamente que el lecho de molienda en lugar de agua, contiene



micro bolas, llamadas así porque su tamaño no suelen superar los cinco milímetros de diámetro y pueden llegar a ser de un mm.

En la figura se ve el árbol agitador cuyas ramas están revestidas de alúmina al igual que el interior del cuerpo del molino en el que se



introducirán las bolas y el material al moler. Las micro bolas también son de alúmina o de otro material cerámico, incluso pueden a ser de cristal.

Como ejemplo se presenta el molino agitador de Hosokawa-Alpine. La entrada del material a moler y del rechace del clasificador, es por la parte superior.

La de forma controlada salida es por la parte inferior, una rejilla retiene las bolas y el material molido va al clasificador. A la izquierda se ve el Molino agitador de Técnicas Hidráulicas, con otra disposición; éste molino puede emplearse lo mismo para molienda seca o



húmeda.

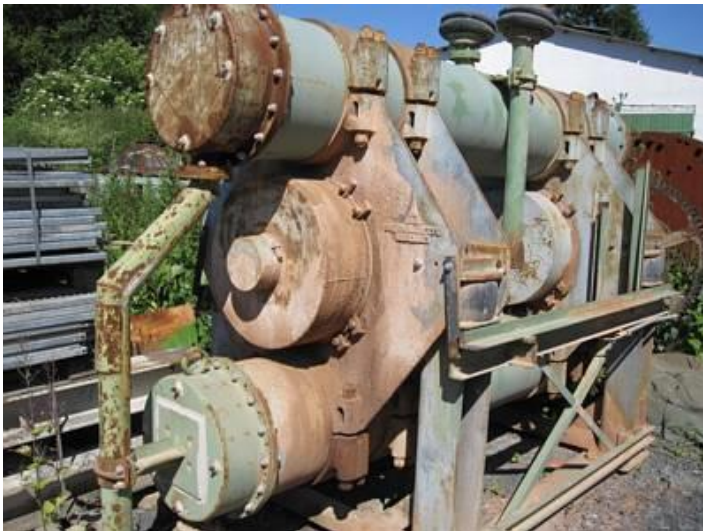
Si por vía húmeda se consiguen partículas inferiores a una micra, también se consiguen con estos molinos por vía seca. El material a molturar proviene de otro molino micronizador, con tamaño entre 70 y 40 micras de las partículas mayores, por eso la razón de las micro bolas, que agitadas producen infinidad de choques entre ellas con el material a moler por medio.

La razón de esta combinación de molinos, es que se consigue un rendimiento mayor, ya que en el primero no se podría conseguir o sería muy costoso llegar a moliendas inferiores a una micra.

4.4.2 MOLINOS ESPECIALES “VIBRANTES”.

En los molinos agitadores anteriores, la molienda se produce, por la fricción y choque entre las micro bolas, las cuales las produce el eje agitador. En los molinos de vibración la fricción y los choques semejantes entre las bolas, las produce la vibración.

El primer fabricante de este tipo de molinos fue Humboldt, que fabricó dos modelos el HV50 y el HV100 denominación tomada por la potencia del motor instalado en KW y fue presentado en Madrid en una feria de maquinaria minera en el año 1967 con gran aceptación y pronto otros fabricantes, lo imitaron. En la imagen inferior se ver un HV100, ya fuera de uso y en el que se realizaron modificaciones y no tiene el motor.



En el esquema inferior; se ve el principio de funcionamiento de estos molinos. En línea con el eje central del molino; va montado el motor, que lo acciona a través de una transmisión Cardan. Se ve que en el eje va montado un sector, que

por la imagen superior, podemos deducir que el eje completo monta cuatro sectores, los cuales por su giro produce un movimiento excéntrico a todo el molino, que debido a las 1.500 rpm; es una vibración.



Los cilindros superior e inferior, son las cámaras de molienda que están revestidas de alúmina y las bolas son del mismo material, ya que al igual que los molinos agitadores pueden aplicarse a molienda no contaminada por los elementos moledores y revestimiento. El material a moler, ocupan

2/3 de los cilindros y es recomendable, que el material solo ocupe el espacio entre las micro bolas. Los extremos de los cilindros, tienen pequeña zona separada de la cámara de molienda por unas rejillas, que retienen las bolas y dejan pasar el material a molturar. Estos cuatro espacios vacíos sirven: El superior izquierda, recibe la alimentación, el superior derecha se comunica con el inferior derecha y por inferior izquierda se produce la evacuación del producto molido, que se conduce a clasificar y el rechace se incorpora a la alimentación.



Otros dos modelos de molinos vibrantes

Todas las entradas y salidas tienen elementos elásticos de unión con los elementos ajenos al molino. Lo mismo que el conjunto del molino se asila de la estructura portante.

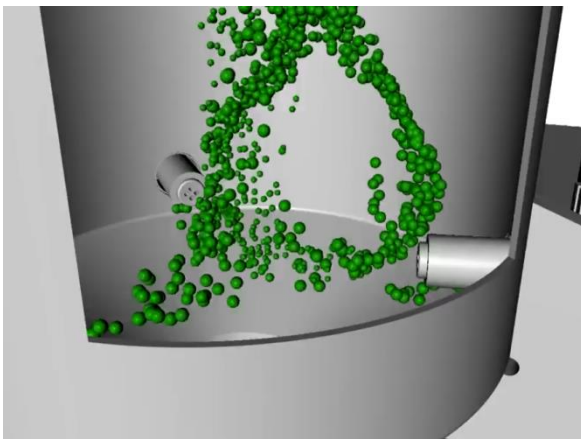
La aplicación de este tipo de molinos es similar a los agitadores, aunque no son aptos para finuras inferiores a 10 micras, porque baja mucho su rendimiento.

La utilización de los molinos agitadores para molienda seca en laboratorio es muy pequeña, pero la de los molinos vibrantes sí es importante.

4.4.3 MOLINOS ESPECIALES DE “INYECCIÓN”.

Este tipo de molino difiere en su funcionamiento de todos los tipos anteriores y su uso está restringido a productos de gran valor añadido, debido al elevado consumo de energía.

El fundamento se base en dos principios que se han visto, en otros tipos de molinos. En los de impactos, se aplicaba una energía cinética; aquí también se aplica. En los molinos de bolas revestidos y con cantos rodados de sílex, se decía que era el mejor tipo de molienda, porque se producía entre dos materiales iguales; aquí también se produce.



En el esquema de funcionamiento a la izquierda se ve la parte baja del cuerpo del molino seccionado. Se ven dos tubos que tienen en los extremos unas boquillas con cuatro orificios (hay un tercero oculto). Por las boquillas sale aire comprimido, tres o cuatro chorros que chocan en el centro del molino y sube hacia la salida que está en la parte superior. El material a moler es introducido por un sin-fin y cae por el centro, pero el aire al subir lo saca del centro y al caer es atrapado por los chorros de aire que le imprimen la misma velocidad que él, por lo cual ya tiene la partícula una energía cinética y una dirección que hace que choque con las partículas que lanzan los otros chorros (un material contra el mismo). El choque produce la molienda, todo el material asciende con el aire hacia el clasificador de jaula de ardilla, que deja pasar las partículas admisibles y rechaza el resto dejándolas caer, para repetir el proceso. Se aprecia que en ningún momento el material moler toca el cuerpo del molino, luego no hay contaminación.



Como ejemplo de este tipo de molinos se presenta el que ALPINE sacó al mercado en 1.981. El molino de inyección que le denominó “Jet de lecho fluidificado AFG”. La presión a la que se introduce en aire es de 6 bares, a 20°C, y al pasar por las boquillas patentadas Megajet adquiere una velocidad de 500 m/s. El molino es adecuado para productos que no admitan contaminación; por no haber roces y choques contra el cuerpo del molino, por la misma razón, es útil para moler talco de dureza uno en la escala de Mohs,

que el óxido de circonio de 8,5 consiguiéndose finuras < 5 micras. Se alimentan con producto de moliendas anteriores. Debido al gran volumen de aire que se introduce en el molino (razón de su elevado consumo de energía), la velocidad del separador de jaula de ardilla ha de ser elevada, lo cual es posible por la disposición horizontal de ella en el modelo AFG, lo que permite que tenga dos apoyos, para el giro. En la figuras inferiores se ve a la izquierda, el Molino ALPINE jet TFG, con separador vertical y a la derecha un modelo de otro fabricante, con cuatro separadores



Existen modelos de molinos de inyección para su uso exclusivo en laboratorio.



4.4.4 MOLINOS ESPECIALES “PLANETARIOS”.

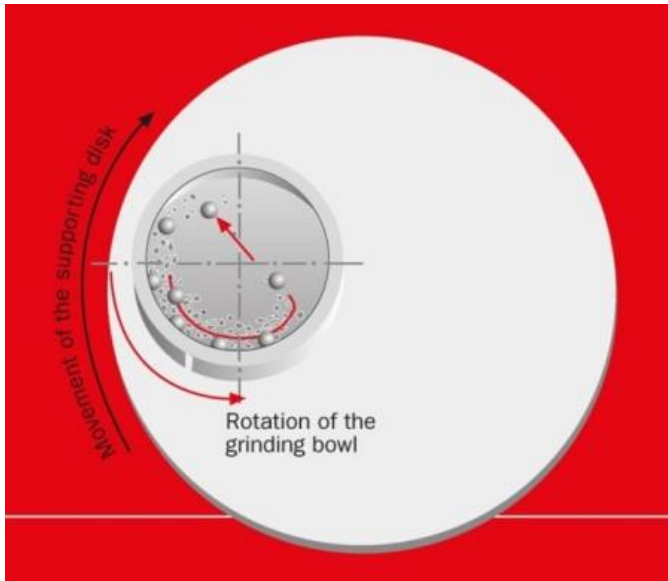
Es un tipo de molinos cilíndrico y sus elementos de molienda son las bolas, tienen aplicación en las moliendas de laboratorio y en pruebas industriales han demostrado ser capaces de obtener rendimientos muy interesantes a finuras < 5 micras; pero no se usan debido a lo difícil que es conseguir un buen control de su funcionamiento.

Su fundamento se basa en los engranajes planetarios y de estos toman la denominación; del movimiento de rotación de los planetas a la vez de traslación alrededor del sol.



En las imágenes podemos apreciar el funcionamiento de los engranajes planetarios. La corona exterior gira a izquierdas, los planetas o satélites también y el sol gira a derecha. Lo mismo da; si la acción de giro, se inicia por el sol o por la corona.

Los planetarios (en los molinos cilíndricos) por acción de la fuerza centrífuga que produce su propio giro; hace que todo lo que exista en su interior (bolas y material a moler) se pegue a sus paredes. Pero no con la fuerza de su propio peso, como en los molinos normales, por con la fuerza centrífuga, que depende de la velocidad de giro. Pero a la vez está el movimiento de traslación por la corona exterior, que produce otra fuerza centrífuga, que hace que las bolas y el material, se lancen diametralmente. Lo mismo que en los molinos normales, se produce la cascada al girar el molino. Pero la fuerza de la caída no es la del propio peso, sino la de la fuerza centrífuga de la corona. Resumiendo: La fricción de las bolas entre sí, con el material a moler rodeándolas; es mucho mayor y la fuerza de choque de las



bolas entre sí y contra el revestimiento, también es muy superior a los cilíndricos y de bolas (trómeles). Se consigue así un efecto multiplicador de la molienda. Se ha llegado a 20 veces superior en las pruebas industriales y en laboratorio, hasta 100 veces, siendo el método

que en menos tiempo consigue moliendas a una micra. Lo que hace que la pérdida de eficacia que se produce en los molinos normales, cuando hay que sustituir las bolas metálicas por las cerámicas, (por su menor peso) deje de ser pérdida y se convierte en ganancia. Ya que son más manejables los “planetas” con revestimiento cerámico, que los que son de acero, por su menor peso.

La razón por la que no se haya aplicado industrialmente, se debe a que las fuerzas centrífugas que se producen y hay que controlarlas, son de tal envergadura, para las medidas de un molino industrial, que hace que su construcción se ha muy costosa. Si además se desea tener una molienda continua; todavía es más complicado, conseguir que en todo momento, todos los “planetas” pesen lo mismo, para que las fuerzas centrífugas se contrarresten entre sí.

Existen modelos de molinos planetarios, para su uso en laboratorio y son de gran apreciados, por el gran ahorro de tiempo en la obtención de muestras, frente a los molinos tipo tromel.

NOTA.- Se va incluir seguidamente, como “molinos especiales por su control” en humedad, temperatura y atmósfera. Pero éstas las variantes que pueden tener los molinos descritos y que se valorarán en sus APLICACIONES.

4.4.5 MOLINOS ESPECIALES “POR SU CONTROL” EN HUMEDAD, TEMPERATURA Y ATMÓSFERA.

Para molturaciones de determinados productos, es necesario un control de temperatura, debido que la molienda en sí produce calor y el aire que se usa en la mayoría de las molineras micronizadas, va recalentándose debido a que gran parte de él se recircula. En ciertas molineras; este calor favorece pues es capaz de eliminar humedad que perjudica a la molienda y a la posterior clasificación; si el calor es insuficiente se calienta el aire antes de introducirlo en el circuito y para evitar pérdidas de calor, se revisten las conducciones para calorifugarlas.

Existen otros casos, en los que el calor perjudica a los productos a moler, se ha mencionado la doble carcasa de los molinos TH de eje vertical, por la que se podía introducir agua, para refrigerar el molino. En otros casos; es necesario filtrar todo el aire usado en la molienda, para que el de nuevo introducido sea fresco o incluso refrigerado, en este caso también hay que revestir las conducciones, para evitar pérdidas de frío.

Esta molienda en un medio refrigerado, es normal para productos vegetales, que tienden a apelmazarse con el calor.

Hay productos vegetales principalmente y algunos minerales; que no pueden ser molturados en presencia de oxígeno, por la oxidación que se produce. Por lo que no solo hay que tener la temperatura controlada, sino también la atmósfera. En la mayoría de los casos se usa el nitrógeno, al ser inerte y se puede partir de su estado líquido y conseguir un medio controlado totalmente. En estos casos el aislamiento ha de ser de toda la instalación y el mejor método de conseguirlo, es cerrarla por completo en un compartimento aislado, son la mayoría de los casos es posible, ya que este tipo de molineras, no suelen requerir grandes producciones por lo que no son de gran tamaño. Unos de los productos más conocidos, en los que es necesario seguir estos controles; es en la molienda del pimentón. En la figura siguiente se ve una instalación de molturación de pimentón, en la que se aprecia el aislamiento individual de cada molino y el general de toda la instalación, para mantener una temperatura baja.



Existe otro caso en los que es necesario el aislamiento de toda la instalación. Es cuando hay que impedir una contaminación exterior por ruido, polvo y olores. Es un caso muy normal en las actuales instalaciones, que han de cumplir exigencias de normativa medioambiental. En estos caso, no que más solución, que el total cierre de la instalación, con aislamiento contra el ruido y una renovación filtrada del aire interior. Los olores aunque no son normales en moliendas de minerales, si lo son en las instalaciones en las que se produce molienda de productos vegetales y animales para la obtención de harinas de pescado o carne, que se adicionan a los piensos. En estos casos, sino es suficiente con el filtrado del aire, hay que producir una cremación de las aminas que producen los malos olores.

5 VALORACIÓN DE LOS MOLINOS SEGÚN TIPO Y APLICACIÓN

Los molinos ya han sido descritos según sus tipos y formas de molturación. La clasificación según sus aplicaciones se efectúa con las siguientes subdivisiones.

5.1 MOLINOS PARA LABORATORIO.

Los molinos usados en laboratorio, aunque responden a los tipos que se han visto, son fabricados expresamente para este destino, en un tamaño muy inferior a los más pequeños de uso industrial ya que se utilizan; para ver si son viables para molturar a una finura deseada un material determinado y cuál de ellos es el más aconsejable por los resultados obtenidos.

La cantidad a tratar, suele venir fijada por el fabricante del molino, por ejemplo los modelos de laboratorio de molinos planetarios fijan una cantidad máxima a tratar de 500 gramos.

Aunque la mayoría de los modelos, solo están concebidos para la molienda temporizada, existen algunos, que disponen de una pequeña tolva, con alimentador y el producto tratado es depositado en una bolsa, situada bajo el molino o filtro captador.

5.2 MOLINOS SEGÚN LA DUREZA DEL MATERIAL.

Subdividida en: A) Muy abrasivos. B) Abrasivos. C) Poco abrasivos. D) No abrasivos.

5.3 MOLINOS SEGÚN LA FINURA A OBTENER.

Subdividida en: A) < 5 micras. B) < 10 micras. C) < 20 micras, D) < 40 micras. E) < 70 micras.

5.4 MOLINOS SEGÚN LAS CONDICIONES DE CONTROL.

Subdivididas en: A) Humedad. B) Temperatura. C) Atmósfera. D) Color. E) Composición química.

5.5 MOLINOS SEGÚN RENDIMIENTO.

Medido en el consumo de kW por Tm de producto obtenido.

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

5.6 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS MOLINOS.

La selección se ha de realizar en base a los TIPOS DE MOLINOS y a las APLICACIONES según su destino, cualidades del material a moler, condiciones del producto a obtener y rendimiento conseguido. Se confecciona el siguiente cuadro en el que se valorarán según su utilidad por el baremo de: "0" para los no útiles, "1" para los poco útiles, "2" para los útiles, y "3" para los muy útiles.

TIPOS DE MOLINOS	TRÓMELES DE			DE IMPACTOS				DE PRESIÓN			ESPECIALES			
	Reves. y bolas de Fe	Idem de alúmina	Idem de sílex	2 ejes con zapatas	2 ejes con pivotes	Eje vertical con disco	Eje vertical largo	CILINDROS	PENDULARES	RODILLOS	AGITADORES	VIBRANTES	INYECCIÓN	PLANETARIOS
APLICACIONES														
LABORATORIO	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	3
" POR DUREZA"														
MUY ABRASIVOS	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
ABRASIVOS	2	1	3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	0
POCO ABRASIVOS	3	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	0
NO ABRASIVOS	3	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
"POR FINURA"														
< 5 micras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0
< 10 micras.	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	0
< 20 micras	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	0
< 40 micras	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0
< 70 micras	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
"POR CONTROL DE"														
HUMEDAD	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
TEMPERATURA	0	0	0	1	2	3	2	1	1	1	0	0	0	0
ATMOSFERA	0	0	0	0	2	2	1	0	3	3	0	3	1	0
COLOR	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	0
COMPOSICIÓN QUÍMICA	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	0
POR RENDIMIENTO KW/Tm	3	2	2	2	2	3	2	3	3	3	1	2	0	0
SUMA DE UTILIDAD	27	24	26	16	19	21	18	18	22	22	24	23	18	3

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Al final al sumar las utilidades de cada tipo de molino, se ve que el más polivalente es; el trómel con revestimiento y elementos de molienda de acero, pero no es útil para moler materiales abrasivos, para lo cual hay que ir al de revestimiento y bolas de sílex y ningún tromel es aplicable para obtener finuras inferiores a 5 micras, para lo cual el más apropiado es el agitador pero si además de la extrema finura hay extrema dureza y hay que mantener todas las cualidades del material, se elegiría el de inyección pues estos productos podrán soportar el alto costo de molienda, pues su consumo de KW es alto con relación a la cantidad obtenida, por lo cual figura con la valoración de "0" en el rendimiento. Los molinos de impactos suman una buena utilidad, pero no son útiles para los materiales abrasivos, ni para finuras inferiores a 10 micras. Actuando de esta forma a través de este cuadro podemos elegir el molino más apropiado para el material a tratar y el producto a obtener.

No se ha tenido en cuenta el precio, para la selección del molino más adecuado, ya que lo importante es que el molino sea apto para el material a tratar y para conseguir el producto final que se desea. Si esto se consigue, el costo del molino repartido en las Tm que es capaz de moler; es mínimo.

El gasto en mantenimiento por Tm a tratar, sí es conveniente tenerlo en cuenta, pero es una cuestión a estudiar, una vez que se tiene seleccionado el molino o molinos más idóneo o idóneos, por el método expuesto. Por ejemplo si se ha seleccionado el tromel con revestimiento y bolas de acero, por tener que tratar un material medianamente abrasivo y que al producto final no le afecta la contaminación que le pueda causar el acero, como el más idóneo. Si habría que hacer una prueba en laboratorio o en una planta piloto, para saber el costo del desgaste del revestimiento y bolas, así como calcular el coste de la sustitución del revestimiento y el tiempo de parada. El resultado del estudio, puede dar que resulta más económico; un tromel revestido de sílex y bolas de cuarzo. Pero hay que saber el rendimiento en kW/Tm con el cambio.

6 TIPOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE CLASIFICADORES.

Los CLASIFICADORES se dividen y se subdividen en:

Por TAMIZADO: Subdividido en: A) Torre de tamices, B) Por Barrido (modelo Alpine), C) Circular (modelo Allgaier).

CRIBA MOGENSEN: Subdivididas en A) Sin calor en el tamiz, B) Con calor en el tamiz.

CLASIFICADORES NEUMÁTICOS: Subdivididos en: A) De JAULA DE ARDILLA y estos con jaula “sin revestir” y “revestida”.B) Circulación de AIRE INTERNO y estos en: “Disco y paletas” y “Disco y jaula”

6.1 CLASIFICACIÓN POR TAMIZADO

6.1.1 “TORRE DE TAMICES”

La torre de tamices, solo tiene aplicación en laboratorio y en el caso de clasificación de micronizados, solo se emplea, para hacer una clasificación previa, para posteriormente el pasante del tamiz inferior que suele ser de 0,1 mm de luz, pasarlo por un tamizado por barrido.

6.1.2 TAMIZADO “POR BARRIDO” (método Alpine).

El tamizado por barrido de una corriente de aire, tiene como fundamento; mantener limpio el tamiz de partículas incrustadas, lanzándolas hacia arriba a chocar contra la tapa, por un barrido de aire por la parte inferior del tamiz. Este barrido en el modelo de tamizador de laboratorio, es circular y en los modelos industriales es a lo largo del tamiz.

Con ello se consigue, que las partículas a clasificar encuentren el tamiz limpio, y que las que han sido lanzadas contra la tapa si son aglomeraciones se rompan y pasan a ser nuevamente tamizadas.

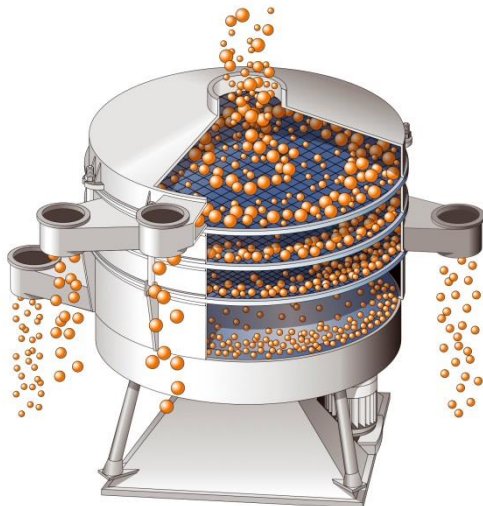
Su aplicación casi es exclusiva en laboratorio.

El tamizador de laboratorio modelo “e200 LS” es ampliamente descrito en el apartado de los métodos de control granulométrico y de color.

Industrialmente se emplea en clasicado de materiales aplemazables, pero la función de barrido es complicada y el tamizado en cribas Mogensen a resuelto ese problema, por lo que han quedado en desuso.

6.1.3 TAMIZADO “CIRCULAR” (método Allgaier).

Se le puede denominar, como la torre de tamices, de aplicación industrial, pero la diferencia fundamental es: Que en la torre de tamices de laboratorio, solo la base es vibrante y no trasmite a los tamices y por lo tanto al material en ellos depositado, más que esa vibración para producir el tamizado.



Las cribas que emplean el método Allgaier, son circulares y de gran tamaño y el tamiz inferior monta dos motores vibrantes con una disposición, que hace que el material depositado en los tamices, no solo vibre, sino que a la vez tiene un movimiento circular, con lo

que el tamizado es más eficiente.

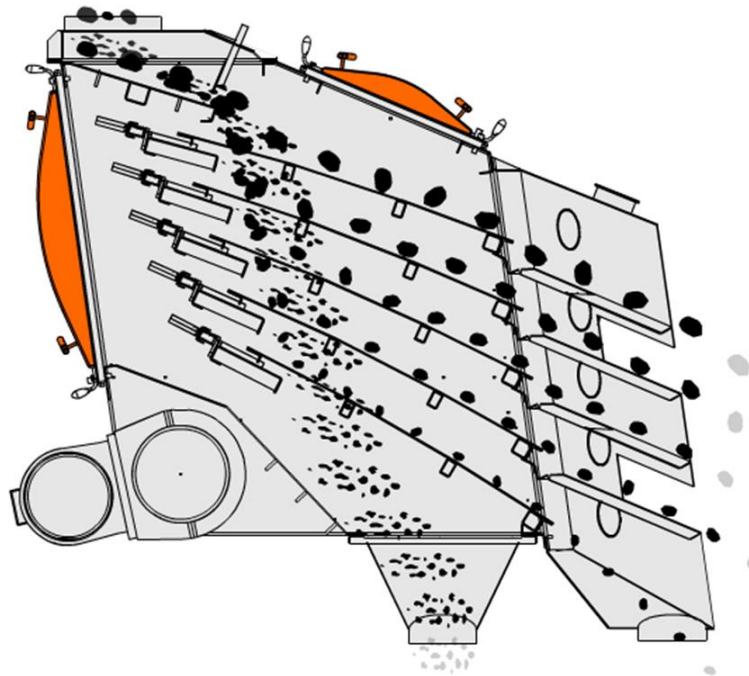
Hay modelos desde 600 a 2.990 mm de diámetro de tamiz y la luz menor es de 0.06 mm. En la práctica solo se usan para dar un corte perfecto final (quitar colas).



6.1.4 CRIBA MOGENSEN (sin calor en el tamiz).

La clasificación por cribado de materiales para la obtención de productos < 70 micras, para producciones importantes, solo es posible por un tipo de cribas, ideadas por el sueco Mogensen y que de él reciben el nombre. En su esquema de la figura inferior, se aprecian las causas de su especial funcionamiento y resultado:

- A. La alimentación cae sobre una bandeja que la reparte uniformemente en todo lo ancho de la criba.
- B. Por la disposición en cascada avanzada de cada una de las cribas, se aprovecha toda la longitud de estas.
- C. La carga de cada criba es la justa que corresponde a la luz de



la maya, por lo que no se produce una colmatación de la tela por un exceso de producto en ellas.

- D. Cada tamiz evacua su retenido fuera de la criba, bien cada una por una salida independiente o por una conjunta donde reúne el retenido de todos los tamices. Por lo cual se evita un exceso de peso en la criba.
- E. Según modelo, pueden ir montados hasta seis tamices.
- F. La clasificación no se produce por la luz real de la maya, sino que esta ha de multiplicarse por el coseno del ángulo de inclinación con la horizontal. Así si la última tela tiene una inclinación de 30° y una luz de 0,8 mm ($\cos 30^\circ = 0,86 \times 0,8 = 0,7$)

- luego tenemos un corte, con una tela más resistente y que no está colmatada pues la inmediata superior puede ser de entre 1 y 1,2 mm, por lo que tiene una alta capacidad de tamizado.
- G. Si además añadimos batidores o medios para calentar los filamentos de la tela, se consiguen clasificar productos húmedos o pegajosos.
 - H. El ancho y la longitud es variable, por lo tanto también la producción. El ancho mayor es de dos metros divididas al medio, por lo que el ancho de cada tamiz es de un metro, lo que lo hace más manejable
 - I. Las cribas son accionadas por uno o dos motores vibrantes de gran fortaleza y el chasis está convenientemente rigidizado, para absorber las vibraciones, a la vez que tiene ligereza para evitar en lo posible las inercias.
 - J. Los motores le imprimen un movimiento elíptico, en el que eje mayor de elipse mira hacia arriba y adelante, con lo que imprime a las partículas ese movimiento, por el cual se desplazan en forma de saltos, con lo que favorece el paso entre los hilos de la tela, a la vez que al no deslizarse sobre ella, evita su desgaste.
 - K. La criba va carenada por la parte trasera que es por donde se accede a las telas para su sustitución, que es muy rápida. La carena de la parte superior puede tener una toma para aspiración que evitar la salida de polvo.
 - L. La suspensión por muelles sobre el apoyo, evita la propagación de la vibración a la estructura portante.

En la página siguiente se ve el montaje de dos cribas Mogensen de dos metros de ancho montadas en tándem, con repartidor de carga conjunto para las dos.

El rendimiento de éstas llega a ser de más de 3 Tm/h a menor de 750 micras. Alimentadas con 8 Tm/h a menor de 10 mm. con material con menos de un 1% de humedad, por lo que no es necesario el uso de tamices calentados.



6.1.5 CRIBA MOGENSEN (con calor en los tamices)

Las cribas Mogensen, tienen métodos mecánicos para ayudar al cribado de materiales con humedad comprendida entre el 1 y el 3%. A partir del 3% para obtener un cribado óptimo, es necesario usar tamices calentados eléctricamente.

Los tamices capaces de ser calentados eléctricamente, están montados en un marco aislado, la misma tela del tamiz hace de resistencia, la energía eléctrica la reciben por la parte superior a través de unos cables de hilo fino trenzado y aislado, por lo que resisten la vibraciones. La energía eléctrica a 380 V la recibe un transformador-rectificador y la convierte en óptima para calentar los tamices a la temperatura que se regule según la humedad que tenga el producto a tratar.

Con los tamices calientes y la ayuda de batidores, se consiguen clasificaciones con muy buenos rendimientos, medidos por el contenido de producto que tendría que haber pasado, pero que se encuentre en el rechace.

Las cribas Mogensen, no tienen modelos apropiados para su uso en laboratorio, pero si se fabrican cribas de 500 mm de ancho aptas para plantas piloto, su uno o dos motores vibrantes tienen medios para variar la elipse de movimiento al igual que las de uso industrial y son alimentados a través de un variador de frecuencia, para determinar cuál son las rpm más adecuadas.

6.2 CLASIFICADORES NEUMÁTICOS

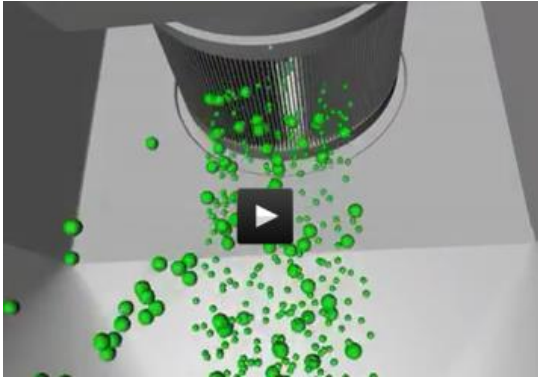
6.2.1 CLASIFICADORES “DE JAULA DE ARDILLA”

Se han visto separadores de jaula de ardilla en los molinos descritos, cuando los llevaban incorporados. En este apartado se verá la jaula de ardilla independiente de donde esté colocada, ya que su importancia como medio separador, con un corte preciso, en dos partes un todo-uno; merece su estudio.

El principio de su funcionamiento es sencillo y está en función de sus rpm, del número de elementos (pletinas o varillas) que componen la jaula y de la velocidad del aire que pasa a través de ellas. Entre las tres variables da como resultados el tamaño de la partícula que puede pasar; las mayores son rechazadas.

Las primitivas jaulas de ardilla, estaban formadas por varillas redondas y normalmente tenían forma troco-cónica, su único soporte era la sujeción al eje del motor o del de la polea conducida que recibía el movimiento a través de unas correas trapezoidales de la polea conductora ajustada en el eje del motor.

En la actualidad las varillas se han sustituido por pletinas con una orientación no radial sino oblicua en el sentido que no favorezca en su giro la entrada de las partículas, sino más bien que las rechace. La perfección con que están realizados los dos discos,



las pletinas y como están insertadas en ellos así como el perfecto centrado mecánico y dinámico. En muchos casos la jaula tiene apoyo en los dos extremos, lo que permite una mayor velocidad de giro y el perfecto cierre entre los discos y

el cuerpo exterior con laberintos y una admisión de aire del exterior; hacen un corte muy preciso entre las partículas que pasan y las que rechaza. En la imagen se ve un fotograma de una simulación.

En las primitivas jaulas de ardilla, para cambiar las rpm se tenían que cambiar las poleas o usar poleas de platos que moviendo la posición del motor, se variaba las rpm de la jaula, incluso se recurría a pletinas atornilladas, para variar su número. En la actualidad un variador de la frecuencia en la c.a. de alimentación del motor realiza esa función sobre la marcha. Si importante es la perfección del funcionamiento, también lo es el que no esté colmatada, de tal manera que unas partículas no dejen pasar a otras. Esto se consigue con jaulas más largas, como la que se puede ver en el molino Cirkoplex de Hosokawa-Alpine. Otra forma de aumentar la superficie exterior de la jaula, cuando el diámetro y su longitud ya no lo permiten es: aumentar el número de jaulas, cada una con su accionamiento propio. En la figura inferior de la izquierda se ve el cuerpo exterior de un separador en el que la jaula tiene dos apoyos y la entrada adicional de aire al laberinto. A la derecha se ve un montaje de tres jaulas, una está oculta, son de: ALPINE.

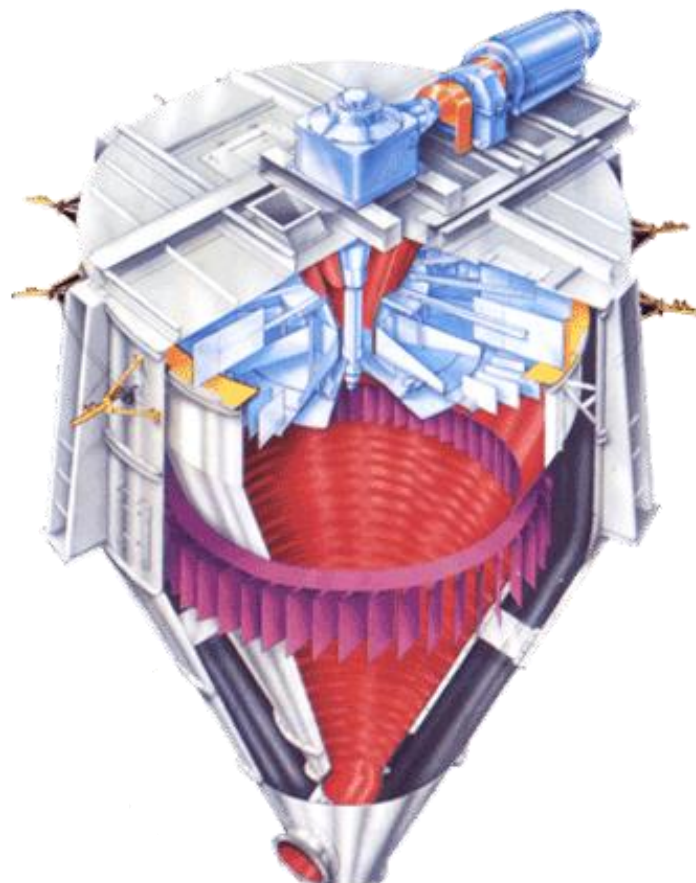


Las pletinas que forman la jaula de ardilla, como mínimo son de un acero resistente a la abrasión a la vez que tenaz, pero cuando se tratan materiales abrasivos, las pletinas son revestidas, esta es la razón de las dos subdivisiones.

No existen modelos de clasificadores de jaula de ardilla con destino a laboratorio, pero sí a tamaño apropiado para su aplicación en plantas piloto.

6.2.2 CLASIFICADORES NEUMÁTICOS CON CIRCULACIÓN DE AIRE INTERNO DE “DISCO Y PALETAS”.

En la figura se ve un tipo de clasificador neumático, con circulación de aire interna, de un solo motor, que los generalizó la casa STURTEVANT y de ella reciben el nombre. El ejemplo de la figura es de SMCE. El material para clasificar entra por la boca rectangular superior y cae sobre el disco repartidor, situado al final del eje, que es movido a través de la reductora y el motor, ya en el disco en movimiento, la fuerza centrífuga lo reparte uniformemente en el entorno interior. Las partículas más gruesas pierden velocidad y caen en el interior de los



rechazados, cuya salida se produce por la boca circular inferior izquierda. Las partículas finas, son arrastradas por la corriente de aire ascendente producida por el ventilador solidario al eje del separador. Estas partículas, son aspiradas radialmente a través de las paletas de selección, que les imprimen una fuerza centrífuga suplementaria. En ésta última separación, las partículas gruesas son proyectadas fuera de la corriente de aire ascendente y caen en el cono de rechazos. Las partículas más finas, siguen la corriente de aire principal y son separadas de ella por efecto ciclón en el compartimento de finos y enviados contra el cuerpo exterior, precipitándose por el cono hasta la salida por la boca circular central.

La variación de la granulometría de la porción fina, solo se puede conseguir a través del cambio de posición de las paletas de selección desde los mecanismos exteriores. También variando las rpm del motor, por medio de un variador de frecuencia.

6.2.3 CLASIFICADOR CON DISCO Y JAULA DE ARDILLA.

El clasificador neumático con circulación de aire interna con disco y jaula de ardilla tiene dos motores, (un ejemplo en la figura). El funcionamiento es similar al de un motor, en cuanto a la salida de los materiales clasificados, por un doble cono inferior que no aparece aquí. El disponer de dos motores, que accionan dos ejes



concéntricos (uno dentro del otro). Uno mueve el ventilador y el disco distribuidor que tiene encima, que reparte uniformemente el material recibido por la boca circular superior centrada, por todo el contorno del separador. El aire en su ascenso eleva todo el material hacía la jaula de ardilla, movida por el segundo motor, que deja pasar la partículas finas con el aire y deja caer las gruesas en el

como interior para darles salida por la boca de rechaces. Las partículas finas al salir del ventilador, por el efecto ciclónico, son lanzadas a las paredes exteriores y se deslizan por ellas hasta el cono exterior y por él a la salida de producto clasificado.

La variación de la granulometría de fracción fina se consigue con la variación de las rpm de los dos motores por medio de variadores de frecuencia, con lo que es un proceso mucho más cómodo y preciso que en separador de un solo motor.

Otros ejemplos los tenemos en ANIVI que fabrica en España ambos tipos de clasificadores neumáticos. Recomienda el primero para cortes entre 40 y 70 micras y el segundo para cortes entre 20 y 40. Alimentando con un < 750 micras, para los modelos de 1,8 m de diámetro, esta no debe ser superior a 2 Tm/h, con un 50% < 40 micras. El motor de este modelo en el primer tipo es de 25 KW y los del segundo tipo son de 25 KW para el ventilador y de 15 para la jaula de ardilla.

A la izquierda está un tipo de clasificador, en el que el aire proviene del barrido del molino que lo precede, por lo cual las partículas a clasificar, ya viene en suspensión y entran en el cuerpo cilíndrico de forma tangencial, por lo que las parte gruesa ya se

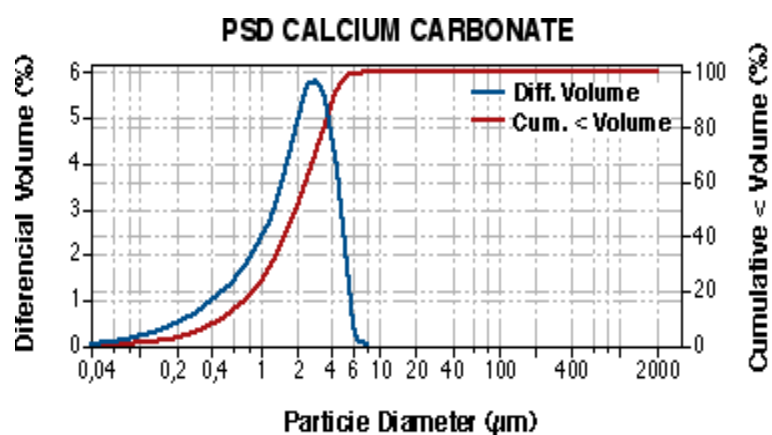
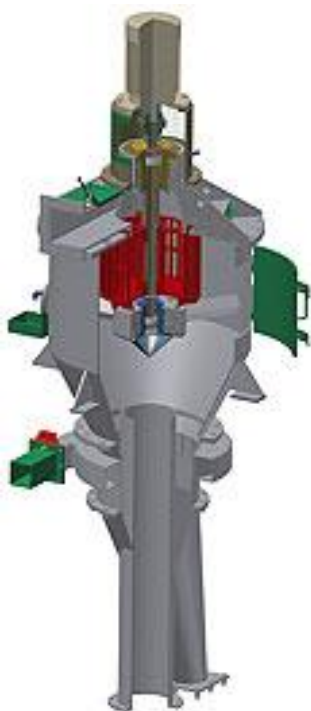


desliza por las paredes por el efecto ciclónico hasta el cono inferior y se evacúa por medio de una exclusiva alveolar, de vuelta al molino a remoler, o si ha pasado por un preclasificador al silo del subproducto, el aire con el resto de partículas pasa por la jaula de ardilla, que deja pasar a las partículas con la finura deseada y rechaza al cono inferior las de tamaño superior. En este modelo y en general en todo clasificador de jaula de ardilla de Alpine puede verse

una entrada de aire protegida por un filtro, encima de la tapa de la jaula de ardilla; es un acople que evita que entre material no clasificado entre la jaula ardilla y el cilindro superior fijo porque le es más fácil entrar por este conducto supletorio. Otros fabricantes; emplean laberintos para esta misión, pero es más eficaz el método de Alpine. Con este clasificador se consiguen cortes a 10 micras.

ANIVI fabrica un modelo similar al anterior, que llama HURRICAN, para cortes < 3 micras. Emplea otra entrada ciclónica hacia medio cono, con lo que se produce un barrido de las partículas ya conducidas al rechazo, por lo que aumenta la eficacia del clasificador, pero para ello ha de haber una corriente de aire, por esa nueva entrada, de un aspirador posterior al clasificador de gran capacidad. TH lo fabrica también con diámetro de 1,4 m para cortes < 40 micras y capaz de admitir 1.500 kg/h.

En la figura el modelo Hurrican de Anivi y la gráfica de a granulometría conseguida con este modelo en una molienda de Carbonato Cálcico. Sin duda esta segundo tipo de clasificadores, que introducen la clasificación por jaula de ardilla, son de una eficacia mayor, que los primeros que basan la clasificación en la orientación de las paletas de selección.





Uno de los problemas de los clasificadores neumáticos dinámicos; es el tratamiento de materiales abrasivos, ya que en ambos se produce un contacto importante entre el material y todas las partes del clasificador, más en los de entrada ciclónica. En las figuras superiores se ven dos separadores neumáticos el de la derecha es de Hosokawa-Alpine con entrada ciclónica inferior y se ve que está enteramente revestido de alúmina, incluso las pletinas de la jaula de ardilla. El de la izquierda es de Sturtevant, tiene la entrada ciclónica revestida, lo cual hace suponer que interiormente también ha de estar.

7 VALORACIÓN DE LOS CLASIFICADORES SEGÚN TIPO Y APLICACIÓN.

Los clasificadores ya se han descrito según sus tipos, la APLICACIÓN se efectúa con las siguientes subdivisiones.

7.1 Para LABORATORIO.

Clasificadores por tamizado de laboratorio solo existen: La torre de tamices; de la cual ya se ha mencionado que su uso para materiales micronizados, solo se aplica en la preparación de la muestra, que posteriormente se utilizará en el tamizador por barrido Alpine. Las cantidades tratadas en éste, pueden ser como máximo de 100 gramos para los tamices de 100 y 70 micras, de 50 gramos para los de 40 y 20 micras y de 20 gramos para el de 10 micras.

De las cribas Mogensen y de los clasificadores neumáticos, ya se ha indicado en su descripción, de que no existen modelos de laboratorio.

7.2 Según FINURA

La subdivisión es: a) de 1 a 30 micras. b) de 30 a 50 micras y c) de 50 a 70 micras.

7.3 Según DUREZA

La subdivisión es: a) Abrasivos y b) no abrasivos.

7.4 Según HUMEDAD

La subdivisión es: a) de 2 a 5% y b) menor del 2%.

7.5 Según RENDIMIENTO

Medido por el consumo de KW por Tm de producto clasificado.

Al igual que con los molinos, con los clasificaciones se confecciona el siguiente cuadro en el que se valoran con el mismo baremo de: 0 para los NO ÚTIL, 1 para los POCO ÚTIL, 2 para los ÚTIL y 3 para los MUY ÚTIL.

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

TIPO DE CLASIFICADOR	TAMIZADO			CRIBA MOGENSEN		CLASIFICADORES NEUMÁTICOS			
	TORRE DE TAMICES	POR BARRIDO "ALPINE"	CIRCULAR ALLGAIER			AIRE INTERNO		JAULA DE ARDILLA	
				SIN CALOR	CON CALOR	DISCO Y PALETAS	DISCO Y JAULA	SIN REVESTIR	REVESTIDO
APLICACIONES									
LABORATORIO	1	3	0	0	0	0	0	0	0
"POR FINURA"									
DE 1 A 30 MICRAS	0	0	0	0	0	0	1	3	2
DE 30 A 50 MICRAS	0	0	1	1	1	2	3	3	3
DE 50 A 70 MICRAS	0	0	2	3	3	3	3	3	3
"POR DUREZA"									
ABRASIVOS	0	0	2	3	3	1	1	1	3
NO ABRASIVOS	0	0	2	3	3	3	3	3	3
"POR HUMEDAD"									
DE 2 A 5%	0	0	0	1	3	1	1	1	1
< 2%	0	0	2	3	3	3	3	3	3
POR RENDIMIENTO	0	0	0	3	2	3	3	3	2

SUMA DE UTILIDAD	1	3	9	17	18	16	18	20	20
-------------------------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

En la suma de valores, la criba Mogensen con tamices preparados para poder ser calentados, obtiene 18 puntos; pero no es una criba como para laboratorio, ni para finuras inferiores a 70 micras, pero es la mas apta para materiales abrasivos y húmedos y para obtener finuras próximas a las 70 micras. Pero si se quiere obtener un producto con finura inferior a 30 micras, el tamizado y las cribas no son útiles y hay que usar clasificadores neumáticos y si el material a moler es abrasivo y la finura a obtener inferior a la 10 micras, el más adecuado será el de jaula de ardilla revestido. Que obtiene el msmo valor que el no revestido, ya que ambos son los más polivalentes. Al igual que con el cuadro de los molinos, con éste de clasificadores, se puede elegir el más apropiado según las características del material a clasificar y las del producto a obtener.

Lo mismo que se ha expuesto en la “conclusión” de los molinos, sobre el coste inicial y el de mantenimiento, hay que tenerlo en cuenta con los clasificadores.

8 OTROS ELEMENTOS QUE FORMAN PARTE DE LAS INSTALACIONES DE MOLIENDA.

8.1 CICLONES (en “captación y filtrado”)

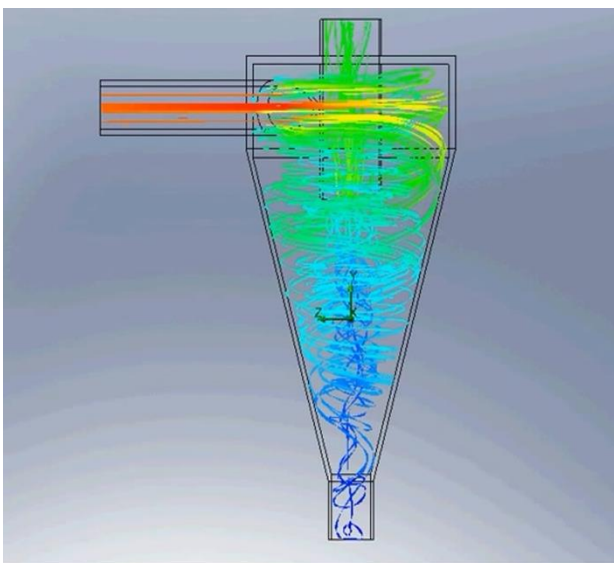
Los ciclones están considerados como separadores neumáticos, pero no clasificadores, porque no se pueden actuar en ellos para conseguir un corte determinado entre las partículas de un todo-uno. En este apartado se van a considerar como “captadores”. En una molienda micronizada en la que se emplea el aire como medio de barrido del producto molturado de las cámaras de los molinos y que posteriormente pasa producto y aire por separadores neumáticos, a la salida de estos hay que “captar” el producto molturado y clasificado, separándolo del aire. El medio más utilizado es el “ciclonado”.

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Los ciclones se componen básicamente de una entrada de involuta en una virola cilíndrica, que en la parte inferior se une a un cono con boca de evacuación a través de una exclusiva alveolar y cerrada en la parte superior con un tubo en el centro que baja hasta un cuarto del cono. En las figuras de abajo, a la izquierda se ve la entrada de aire con el producto que arrastra en rojo y como se separa, fracción más fina que asciende a salir por el tubo interior en

verde y los gruesos descenden por el cono en azul. Todo ello se genera por la acción ciclónica del aire al entrar tangencialmente, que hace que las partículas más gruesas se arrimen a las paredes, tal como se ve en la figura de la derecha y circulen de forma helicoidal hacia abajo, pero al estar cerrada la salida, el aire asciende por el centro hasta salir por el tubo con las partículas más finas.

Como ejemplo; en la figura de abajo a la izquierda se ve un solo ciclón sin la exclusiva alveolar, para dar salida a lo captado. En foto grande se ve a la derecha un doble ciclón y a la izquierda un tetraciclón; son de GERMAN GRUBER.





Es normal el uso de los ciclones solos, en doble o en tetra, dependiendo del volumen de aire y producto en suspensión a tratar, situados por delante de los filtros que efectúan la limpieza del aire, (todo o en parte) del utilizado en el barrido de la cámara de molienda. De esta forma los ciclones retienen una parte importante del producto y los filtros trabajan de una forma más eficaz.



Así como la bibliografía sobre hidrociclones es extensa, no así la que versa sobre ciclones neumáticos, aunque existe una norma que fija las proporciones de las medidas de los ciclones, basadas en el diámetro de la virola y que más o menos son aplicadas por la mayoría de los fabricantes. Lo importante es que el equipo de ciclonado neumático ejerce la menor resistencia posible al paso del aire, lo mismo que se ha de tener en cuenta para las conducciones y la resistencia que va ejercer el equipo de filtrado, ya que de la suma de todas ellas depende la potencia del ventilador o aspirador; según de encuentre en cabeza o en cola y del volumen de aire circulante que ha de ser suficiente para barrer eficientemente la

cámara de molienda del molino a estas resistencias hay que añadir la del separador, por todo ello es mejor dimensionar los ciclones con holgura, ya que aunque el sobredimensionamiento produce menor fuerza centrífuga, al disminuir la velocidad del aire al entrar en el equipo de ciclonado, pero esa depresión produce una precipitación de las partículas en los ciclones, por lo que el resultado será el mismo con menos resistencia y no habrá que aumentar la potencia impulsora del aire.

Complementariamente al tema de ciclonado, hay que mencionar las “conducciones” que son de mucha importancia. Se ha de evitar en ellas: las grandes distancias y las curvas cerradas y calcular muy bien el diámetro, para que la velocidad de circulación del aire, sea la justa para que no se produzcan excesivos desgastes por ser muy rápida o precipitaciones por ser lenta. La velocidad ideal para partículas de 40 micras y densidades de 2,5 a 3 gr/cm³, es del orden de 25 m/s. En una instalación óptima el equipo de ciclonado ha de ser capaz de captar más de 75% de las partículas en circulación y se puede llegar al 90%.

8.2 FILTROS (en “captación y filtrado”)

Los filtros tienen como misión que el aire que expulsan a la atmosfera, sea lo más limpio posible; ha de contener como máximo: Un gramo de polvo por m³. Muy difícil de alcanzar en la práctica, ya que el coste de los filtros es importante, por lo que se tiende a ajustar su tamaño. Por otro lado los fabricantes, siempre exageran en las capacidades y sin son ciertas, lo son en su eficacia de nuevos; pero con el tiempo la van perdiendo.



Filtros de mangas prismático y circular

Manga, jaula y venturi

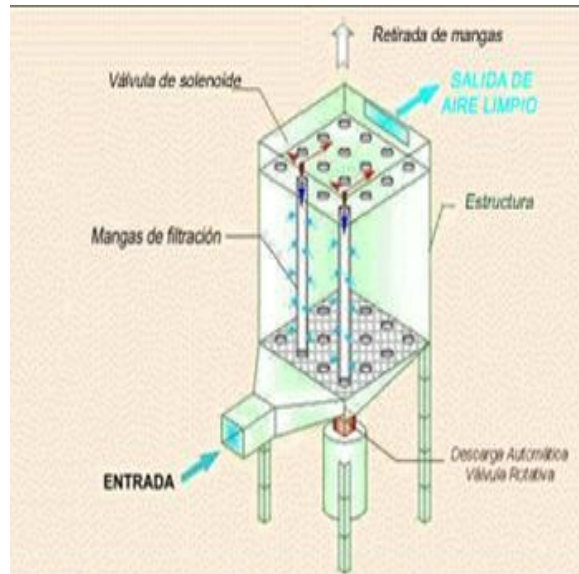


Colocación de mangas, jaula y venturi



La principal división que se hace de los filtros; es por el tipo de elementos filtrantes que utilizan. Pueden ser: De mangas, de láminas y de cartucho. En las figuras superiores, a la izquierda se ve un filtro de mangas prismático con acceso a las electroválvulas y aspirador superior, a la derecha también un filtro de mangas en este caso cilíndrico y se aprecia mejor el calderín de aire comprimido, con las electroválvulas, su automatismo de accionamiento y la puerta de acceso al compartimento de las mangas. Los filtros cilíndricos son para uso de productos en los que es posible que se produzca alguna explosión, para estos casos llevan una especie de puerta cuadrada con brida soldada sobre la cual va una fina lámina de acero inoxidable, sujeta por un marco. En caso de explosión; rompe la lámina y el cuerpo y la tapa cloper, no sufren daños.

Mangas	Caudal m ³ /h	Dimensiones
4 x 2	100 - 250	40 x 310 x 40
6 x 2	150 - 360	40 x 310 x 60
9 x 2	215 - 550	60 x 310 x 60
9 x 3	325 - 800	60 x 420 x 60
12 x 3	430 - 1.000	60 x 420 x 75
16 x 2.5	500 - 1.200	75 x 380 x 75
16 x 3	575 - 1.500	75 x 430 x 75
20 x 3	700 - 1.800	75 x 440 x 100
25 x 3	1.000 - 2.200	100 x 440 x 100
30 x 3	1.100 - 2.700	100 x 450 x 110
36 x 3	1.300 - 3.300	110 x 450 x 110
42 x 3	1.500 - 3.800	110 x 450 x 130
49 x 3	1.800 - 4.400	110 x 450 x 130
56 x 3	2.000 - 5.000	130 x 460 x 150
64 x 3	2.300 - 5.750	150 x 465 x 150
72 x 3	2.600 - 6.500	150 x 465 x 160
81 x 3	2.900 - 7.400	160 x 465 x 160



La tabla superior de gama de filtros, se basa en mangas de 127 mm de diámetro, la primera columna indica el nº de mangas x la longitud en metros, la segunda; el caudal mínimo y máximo que puede admitir y las dimensiones ancho x alto x fondo en cm. El peso del conjunto va de 100 Kg del menor a 540 del mayor. El condicionante más importante de las mangas es la temperatura; las de fibras naturales soportan hasta 90°C, siendo necesario fibras de vidrio o sintéticas para 250°C y fibras cerámicas para 500°C. En la tabla se ve claramente que la superficie filtrante, es la que marca el caudal admitido en base a que la velocidad que el aire o gas ha de pasar por la tela ha de ser de 0.005 a 0.03 m/s; a menor velocidad menos resistencia al paso y más duración de las mangas.

Los filtros de láminas textiles, son de menor uso que los de mangas, con sus mismos condicionantes. Pero a mediados de los años 70 la empresa alemana HERDING patentó unas láminas sinterizadas; en forma de acordeón, por lo que en el mismo espacio, tienen más superficie filtrante, no necesitan armazón interno, tienen tres veces más capacidad filtrante, soportan 110°C, tienen una duración de más de diez años, garantizan emisiones inferiores a 1mg/m³ con entradas de más de 250 g/m³, son de un plástico poroso, que incluso permiten el lavado.



Imágenes de las láminas sinterizadas de HERDING.

Los filtros de cartucho, son posteriores a los de mangas; al igual que los de láminas sinterizadas, son plisados y no llevan jaula.



Como ejemplo en la imagen de la izquierda, se representan una gran gama de ellos.

El principio de funcionamiento de los filtros, ya sean los elementos filtrantes de

mangas, láminas sinterizadas o cartucho; es igual en todos los filtros: El aire o gas conteniendo en suspensión el producto a captar, entra normalmente por la parte inferior del filtro, por debajo de los elementos filtrantes, si el filtro es cilíndrico es posible la entrada tangencial, para aprovechar el efecto ciclónico. De las partes del filtro, la mayor de ellas, que contiene las mangas, la entrada de aire o gas y el cono o la peramide inferior se le suele denominar “cámara sucia”; en ella se produce la expansión del aire o gas, el producto transportado se pega a las paredes exteriores de los elementos filtrantes y el aire o gas, por el interior de ellos, pasa a la parte superior del filtro, la “cámara limpia” y directamente o traves de un aspirador va a la atmosfera si es aire o se recicla si en un gas.

En la “cámara sucia” el producto se va depositandose en los elementos filtrantes, formando una costra o torta, que refuerza la capacidad filtrante del elemento, pero a medida que aumenta su espesor; aumenta tambien la resitencia al paso del aire o gas. Esta resistencia puede medirse por la diferencia de presiones entre la cámara sucia y la limpia; no siendo recomendable que esa diferencia sea mayor de 250 mm de columna de agua, luego antes de llegar a esa medida ha de haber una eliminación del producto acumulado en el elemento.

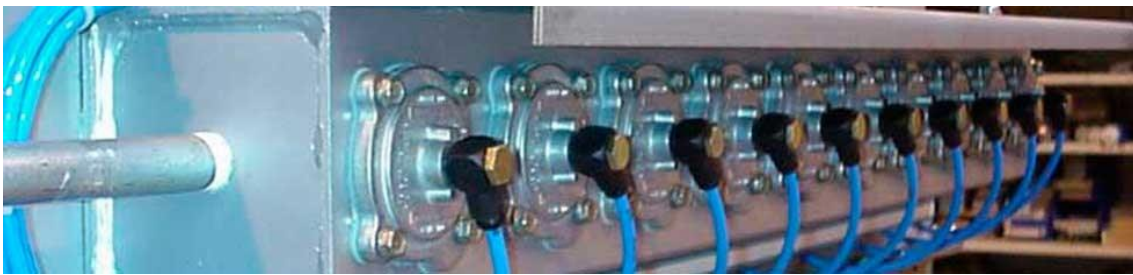
La eliminación de la costra o torta, para que se desprenda del elemento filtrante, puede ser por vibración o por una inyección de aire o gas limpio en su interior. La vibración solo se usa en los filtros pequeños que van apoyados o supendidos en elementos elásticos, con un pequeño motor vibrante en su cuerpo, que cada un tiempo y durante unos segundos predeterminados actua, produciendo una vibración que hace que la carga acderida se desprenda y caiga al cono o pirámide inferior.

La inyección de aire o gas en el interior del elemento filtrante, se efectua a traves de las electroválvulas que se encuentran en el exterior del filtro y encima del pequeño calderín, que acumula un remanente de aire o gas, a una presión media de 8Kg/cm^2 . Cada electrovalvula está conectada directamente con un tubo que se encuentra en la cámara limpia, encima de cada linea de elementos

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

filtrantes y que tiene un orificio centrado con cada uno. La apertura de la electroválvula se produce cada cierto tiempo, y durante un tiempo de una o dos decimas de segundo, en el cual la inyección en el interior del filtro produce una sobre presión, mayor que la que tiene el filtro por el exterior con lo que la torta o costra se desprende. El tiempo entre una y otra apertura de las electroválvulas, ha de ser como mínimo, el necesario para que el claderín alcance la presión estipulada. Cuando termina el circuito de actuación de todas las electroválvulas, se inicia de nuevo. El espacio de tiempo entre aperturas de las electroválvulas ha de ser tal que la diferencia de presión entre las cámaras sucia y limpia no sobrepase lo establecido. Toda esta actuación de las electroválvulas, se preestablece en un pequeño cuadro electrónico, programado manualmente o por medio de un medidor diferencial.

Juego de electroválvulas ASCO montadas sobre el calderín con accionamiento neumático.



Controladores diferenciales de presión, de mando de electroválvulas y filtros del aire de mando.





A la izquierda: Filtro cilíndrico con entrada tangencial del aire. En la cámara limpia se ve un dispositivo de limpieza de mangas, para estos filtros, que al estar dispuestas las mangas de forma radial, los inyectores de limpieza van dispuestos en un mecanismo giratorio, que para e inyecta en cada fila radial de mangas. No es normal este dispositivo de limpieza, es mejor disponer las mangas y los tubos inyectores, al estilo de los prismáticos y efectuar la limpieza de las cuatro filas exteriores a la vez, luego a las otras dos y posteriormente una a una de las que falten.



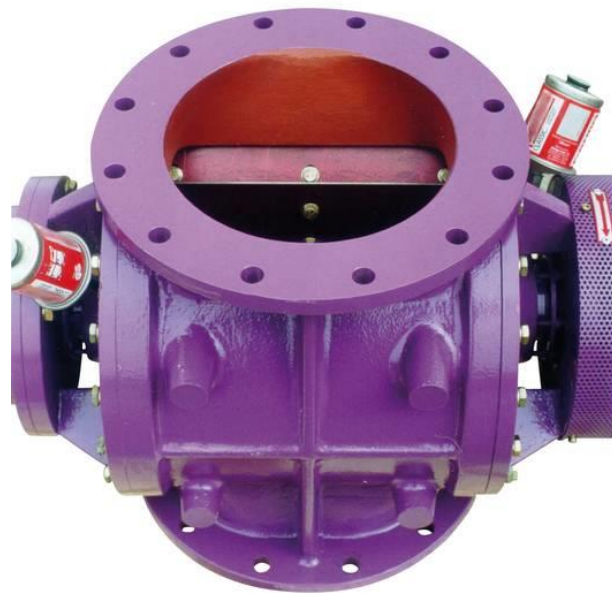
A la izquierda: Filtro de mangas cilíndrico con entrada tangencial, con electroválvulas exteriores para limpieza.

La evacuación de la captación es por esclusa alveolar.

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Hay otros elementos auxiliares de los filtros como: Esclusas alveolares de evacuación y motores vibrantes para la limpieza o para ayuda en el vaciado del cono o pirámide receptora, ya que debido a su finura y a la carga eléctrica estática, se apelmazan; de ambas se ven unas figuras en la parte inferior. Es muy importante la conexión a tierra de todos los elementos del filtro.

Esclusas alveolares de brida cuadrada y circular para tolva piramidal o cónica.



Motores vibrantes



8.3 VENTILADORES (en “captación y filtrado”).

Por su importancia tienen un tratamiento separado. Su nombre lo define su situación en la instalación de molienda: Si está colocado por delante del molino se denomina “ventilador” porque produce insuflando la conducción neumática. Si está colocado hacia el final de la denomina “aspirador” ya que tira hacia sí de toda la conducción neumática. Por lo cual en adelante en este trabajo se les denominará “ventiladores” independiente de la posición que ocupen.

Sus dos variables principales son: El caudal (Q) medida en m^3/h o m^3/s y la Presión (P) en $\text{mm}/\text{H}_2\text{O}$ (mm de columna de agua) o en Pascales.

Estas dos variables conforma una gran gama de ventiladores, cuyo total estudio se sale de los límites de este trabajo; que se centrará en los ventiladores que normalmente se usan en la molienda micronizada, que son los de un caudal medio-alto y una presión media-alta.

El caudal es función de la cantidad de sólidos que contiene un m^3 de aire o gas (en adelante solo se menciona el aire) que se estima como óptimo en $200 \text{ g}/\text{m}^3$. Esta cantidad es la que el aire arrastra de la cámara de molienda y la transporta al primer medio de clasificación. Si anteriormente se ha fijado también como óptimo, que la salida de la cámara de molienda ha de contener en un 50% la granulometría deseada al final de la molturación. Se tiene que para una producción de $6 \text{ Tm}/\text{h}$ se necesita un caudal $Q = 60.000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Se va a calcular la presión necesaria para el caso que el ventilador esté al final de la instalación y toda la corriente neumática pase por él. En los filtros que ha fijado, que la presión diferencial máxima entre la cámara limpia y la sucia es de $250 \text{ mm}/\text{H}_2\text{O}$, por lo cual se ha de contar que al final de la instalación se ha de disponer como mínimo de esa presión a la cual hay que sumar los frenos (perdidas de carga) a la presión que se produce en todo el recorrido: Paso por el molino, las conducciones, ciclones, separadores y filtro. Hay tablas que dan la pérdida de carga de las

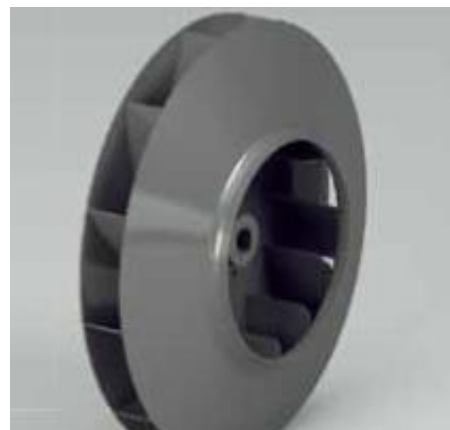
conducciones (secciones rectas, curvas,...), pero ningún fabricante facilita la de su molino, separador... La práctica aconseja que la presión disponible óptima, esté en torno a los 750 mm/H₂O, con ella se tendrá una conducción neumática sin problemas y sin una potencia grande en el motor del ventilador.

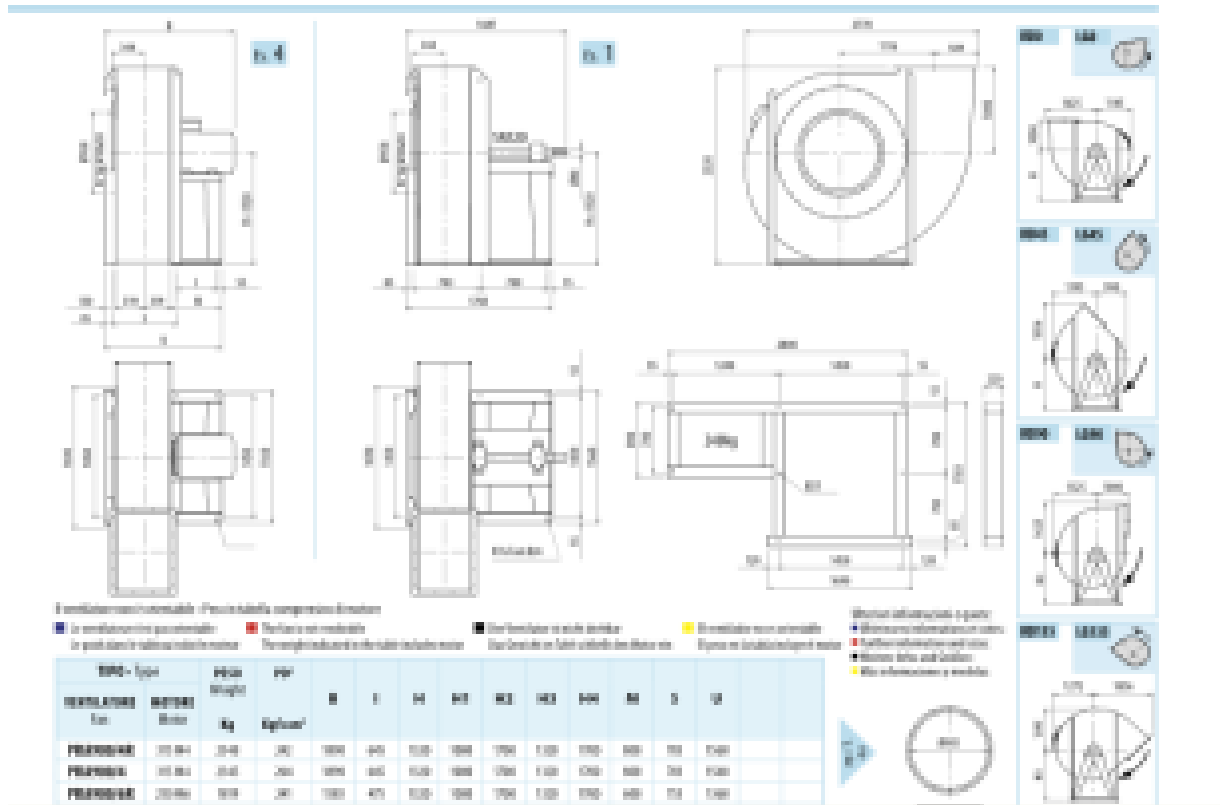
Con el caudal y la presión fijados, existen tablas de fabricantes de ventiladores que nos dan: La potencia necesaria, con unas RPM del motor, su índice sonoro, sus medidas y sus disposiciones de la entrada y salida de aire y del accionamiento del motor; directo o por correas trapezoidales.

Por ejemplo: El fabricante de ventiladores "CORAL" aconseja para las conducciones neumáticas con polvo en suspensión sus modelos PRA900/4 de 160 KW, que proporciona 61.000 m³/h a 755 mm/H₂O y el PRU1400/4R de 200 KW, de 61.200 m³/ a 698 mm/H₂O. Se elige por menor potencia del motor y mayor presión el PRA900/4 de 1485 rpm que tiene un índice sonoro de 95 db, (el mayor permitido). ANIVI para una instalación de la misma producción; instala un ventilador de 110 KW, que va colocado después del ciclón y en el filtro se trata el aire que retira de la conducción un ventilador de 11 KW, por lo que la pérdida de carga del filtro de 250 mm/H₂O no la considera y le es válido ese modelo de ventilador, que en las tablas de CORAL figura que proporciona una presión de 448 mm/H₂O.

Ventilador PRA900 y rodete impulsor.

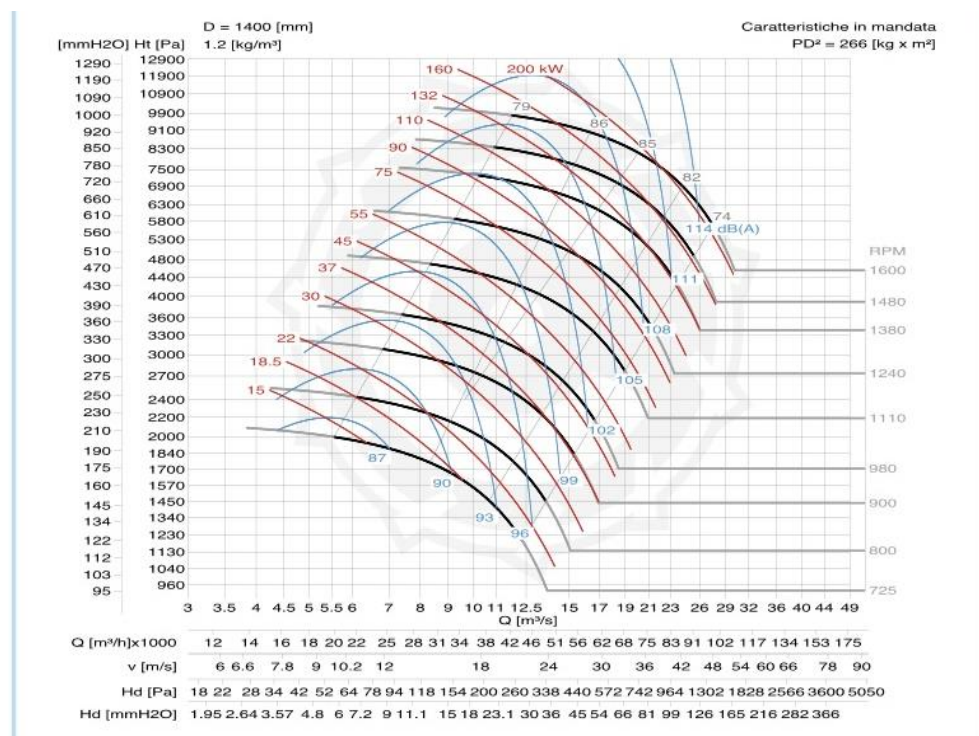
"CORAL"





Medidas y posiciones posibles del PRA900/4

Curvas de rendimientos de PRA900



Como ejemplo se puede comparar, las potencias de los ventiladores, recomendados por los dos fabricantes. Sin duda hay una disminución de la potencia de los ventiladores de 160 a 121 KW, el filtro es mucho menor ya que el volumen de su ventilador es de 7.200 m³/h con 266 mm/H₂O. Pero en el supuesto que el equipo de ciclonado que le precede capte el 80% y el aire que sigue en circulación es 53.800 m³/h con el 20% de los 100 g/m³ iniciales; son 1.076 kg/h, que retornan al molino, que han de pasar por el aspirador y por las conducciones de retorno. Los ventiladores comerciales, no están contruidos con material antidesgaste y esa cantidad de material, a poco abrasivo que sea el material a tratar, va a producir un desgaste en el rodete, que disminuye la efectividad del ventilador. Por otro lado si el aire que entra en el molino tiene unos 17,8 g/m³, ya no tiene la capacidad de barrido del aire limpio. También al no renovarse todo el aire, el recirculate tiende a aumentar su temperatura, por lo que disminuye su densidad y eficacia de transporte. Con el aumento de temperatura la cantidad de humedad absoluta es mayor y al llegar al filtro, por la expansión y porque normalmente se encuentran a la intemperie; hay riesgo de condensaciones en las mangas y en las paredes interiores del filtro, con la consiguiente aglomeración de polvo sobre ellas. Si se añade que si la temperatura que alcanza el aire, puede llegar a los 80°C (normal con molturaciones en molinos de bolas; hay que usar mangas especiales y no es temperatura buena para el trabajo de los ventiladores. CORAL no recomienda temperaturas superiores a los 60°C para sus ventiladores convencionales.

8.4 CONDUCCIONES (uniones entre etapas).

Cuando se molturan materiales abrasivos es necesario revestir; no solo los molinos, separadores y ciclones como se ha visto anteriormente; también las conducciones han de ir revestidas. El revestimiento puede ser de los mismos materiales empleados en los molinos de bolas: metálicos, de goma, o cerámicos. En la figura se ven un codo y conducción de redonda a rectangular en la entrada de un ciclón, todos ellos revestidos.



Las conducciones no se revisten con placas metálicas como los trómeles, sino que son enteramente de un acero antidesgaste, fundido o laminado

con bridas soldadas, según lo permita la aleación.

La goma antiabrasiva, es muy usada en el revestimiento de conducciones y demás componentes de una instalación de molienda micronizada de materiales abrasivos. Se vulcaniza directamente en el cuerpo interior del elemento o en el caso que su tamaño no lo permita, como en el caso de los trómeles; se colocan en placas atornilladas, en las que el tornillo queda con la cabeza hundida en la goma y se vulcaniza para taparla.

Los revestimientos cerámicos pueden ser de: Basalto, corindón, circonio o alúmina. De todos ellos se fabrican placas, que se pegan o se cementan en las conducciones.

Los adoquines o losas de xiles o pedernal, solo se usan en el revestimiento de trómeles; van cementados.

El tipo de revestimiento a utilizar, no solo depende de lo abrasivo del material a molturar y de su incidencia económica, sino que también de la contaminación por metal o color que pueda dar el revestimiento al producto final.

Como ejemplo en la figura se ve es desgaste del codo de una



conducción neumática, al cual se le han quitado los parches que se le soldaron cuando se apreciaron los primeros síntomas de desgaste.

8.5 TOLVA DE ACOPIO Y ALIMENTADORES (“... en alimentación”)

La misión de la tolva de alimentación es almacenar el material que se ha de molturar, del cual todo o una parte será micronizado, pues es posible separar como subproductos, tamaños > 70 micras, que aumente el rendimiento de la instalación. Su forma será la que mejor se adapte al conjunto de la instalación y al espacio a ella destinado. Su capacidad, ha de ser la mayor posible, como mínimo la necesaria para una jornada de trabajo, ya que por ser instalaciones relativamente fáciles de adaptarlas a trabajar en automático e independientes de otras, es aconsejable darles la máxima autonomía. Han de estar dotadas de detectores de máximo y de mínimo de llenado, el primero para detener la instalación que le precede y el segundo para que arranque de nuevo y si no es así que de la señal de parada es la secuencia preestablecida a la instalación que abastece.

El mecanismo de alimentación está situado en la parte inferior de la tolva; su misión es alimentar la instalación de forma que el material que aporta sea la cantidad adecuada, para lo cual está controlado; normalmente por el consumo eléctrico óptimo del molino, su tipo puede ser variado, entre ellos:

Alimentador de bandeja vibrante: Son de fácil adaptación al fondo de la tolva, existe una gran gama de modelos y de capacidades de alimentación, son de fácil control a partir del consumo del molino y lo mantienen con muy constante.

Alimentador de tornillo sinfín: Reune las mismas propiedades que el anterior, pero son proclives a los atascos y tienen a su favor, que su final puede introducirse dentro del molino, si esto es aconsejable.

Alimentador por cinta: Reune las mismas propiedades que los anteriores, además de poder ser de longitud mayor y poder incorporar una bascula integradora, que proporciona la cantidad de alimentación del momento y acumulada.



Tolvas de alimentación.



Cinta de alimentación con balcula incorporada.

8.6 SILOS (etapa de almacenaje de productos terminados).

Su forma ideal es la cilíndrica, con fondo cónico, con pendiente mínima de 60° y fluidificados durante la descarga, el cierre superior debe ser plano y rigidizado, para ser practicables y poder soportar el clasificador y de más maquinaria, disponer de bocas de llenado, de inspección y de aireación, para evitar la condensación sobre sus paredes interiores. El tamaño ha de estar de acuerdo con la producción y los tiempos entre envíos. Su evacuación depende de su situación respecto al punto de cargue de camiones cisterna; los más recomendados para el transporte de productos micronizados. Pero el primer medio es normalmente una esclusa alveolar, que controla la descarga y evitar la salida del aire de fluidificación tal como se aprecia en la figura inferior. No se entró a considerar los problemas que se pueden presentar en la descarga de silos con productos micronizados; suelen ser importantes y variados y muchos se evitan con una buena fluidificación de la mitad inferior o en todo el cono. Existen publicados dos tomos de Juan Ravenet sobre silos, donde describe los tipos de posibles descargas y los problemas que pueden causar, también hace un completo estudio del cálculo de espesores de paredes y de sus formas, lo mismo que de los medios de apoyo.



8.7 INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y DE CONTROL (equipos auxiliares).

El equipo eléctrico de una instalación de molinera como la descrita, es complejo, necesita un emplazamiento apropiado y de unos elementos de control, que pueden hacer que la instalación funcione de forma automática. Básicamente está compuesto de:

- Armarios contenedores de todos los componentes.
- Sección de entrada de la energía, con fusibles y disyuntor de la potencia adecuada.
- Sección de condensadores, con su control de entrada y salida de servicio de ellos de acuerdo a las necesidades, para la regulación de la energía reactiva.
- Distribución de la energía por barras de sección adecuada.
- Fusibles, contactores, disyuntores y bornas de salida; por cada uno de los motores, según su potencia.
- Variador de frecuencia, para arranque suave y control de rpm del molino, del separador y del ventilador.
- Instalación de control del alimentador y de su pesada integrada, si está dotado de báscula.
- Instalación del control de limpieza de los elementos filtrantes.
- Cableado de fuerza y de mando.
- Sistema de PLC para el control de instalación.
- Elementos detectores en maquinaria, tolva de alimentación y silos de productos terminados.
- Cableado desde las bornas de salida de los armarios a las bornas de cada uno de los motores.
- Cableado de los detectores exteriores al sistema de PLC.
- Elementos de seguridad en puntos estratégicos de la instalación, con su cableado a los armarios de control.
- Pulsadores de mando de los motores en el frontal de las puertas de los armarios, con lámparas de control y su cableado (optativo) si el mando está informatizado a través del PLC.
- Control de la temperatura y humedad en el interior de los armarios, con medios de actuación, tanto con la instalación en marcha como parada.
- Equipo informático con software adaptado para su control.

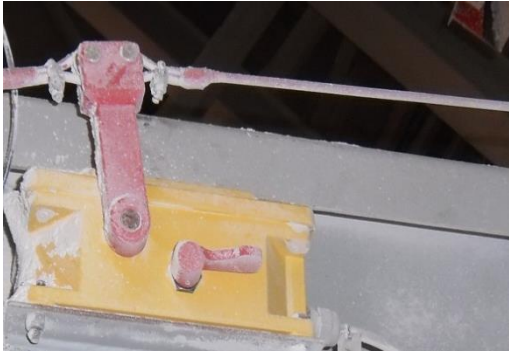


Entrada de energía, embarrado, fusibles, contactores y condensadores del equipo de control de la energía reactiva.





Armario eléctrico con disyuntores, contactores, controles y bornas de salida por cada motor. Control de alimentador vibrante, control de arranque y parada de criba Mogensen y dos variadores de frecuencia entre otros elementos.



Paro de emergencia en cintas trans.



Control de giro en cintas trans.



PLC para el control de automatismos



Caseta de cuadros eléctricos.

8.8 SISTEMAS DE CONTROL GRANULOMÉTRICO.

1. Tamizado por barrido con corriente de aire (air yet).
2. Método de difracción Láser”
3. Método Coulter.
4. Método Serigraf.
5. Microscopía óptica y electrónica.

8.8.1 TAMIZADO POR BARRIDO CON CORRIENTE DE AIRE (AIR JET)

Al describir los metodos de tamizado ya se ha descrito el fundamento del tamizado por “barrido”. Alpine tiene patentado desde hace años éste método y el modelo Hosokawa-Alpine “e200 LS” es el último salido al mercado. En las figuras se ve en conjunto

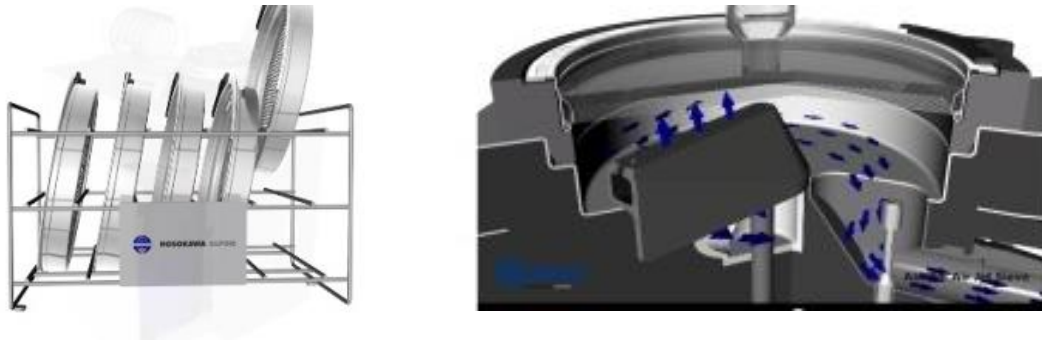


abajo arriba; por el cuerpo con la pantalla, el receptor, el tamiz y la tapa. El tamiz se coloca del tamaño de luz que se desee



analizar. La mínima luz suministrada es de 20 micras con tamices de 200 mm de diámetro, pero hay un complemento para adaptar un pequeño tamiz de 10 micras. En las figuras inferiores de ven la parte trasera de la base del tamizador y la conexión de esta con el aspirador que se aloja bajo la mesa sobre la que está. En el resto:





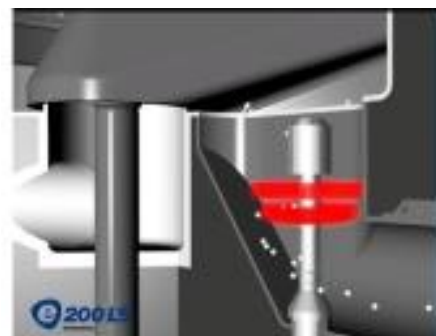
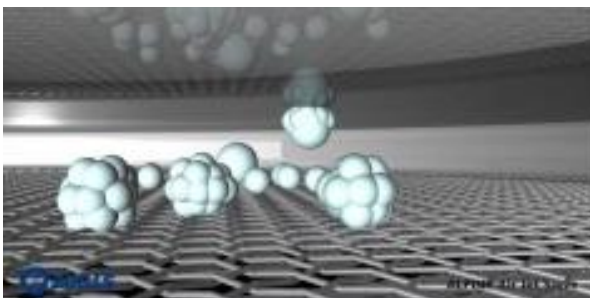
Juego de tamices y sección de la tamizadora en la que se ve en azul la salida del aire del soplador y su recorrido hasta la boca donde va el tubo del aspirador.

Vertido del material a analizar sobre el tamiz e inicio del proceso de tamizado, en el que por la acción del barrido del aire, pasan por el tamiz la partículas menores, las recoge la aspiración y quedan en el filtro del aspirador.



Las aglomeraciones de partículas que quedan sobre el tamiz son lanzadas por el soplante contra la tapa, el golpe la disgrega y vuelven al tamiz, que al igual que antes, las finas pasan y son arrastradas al aspirador lo cual lo facilita la válvula (en rojo).

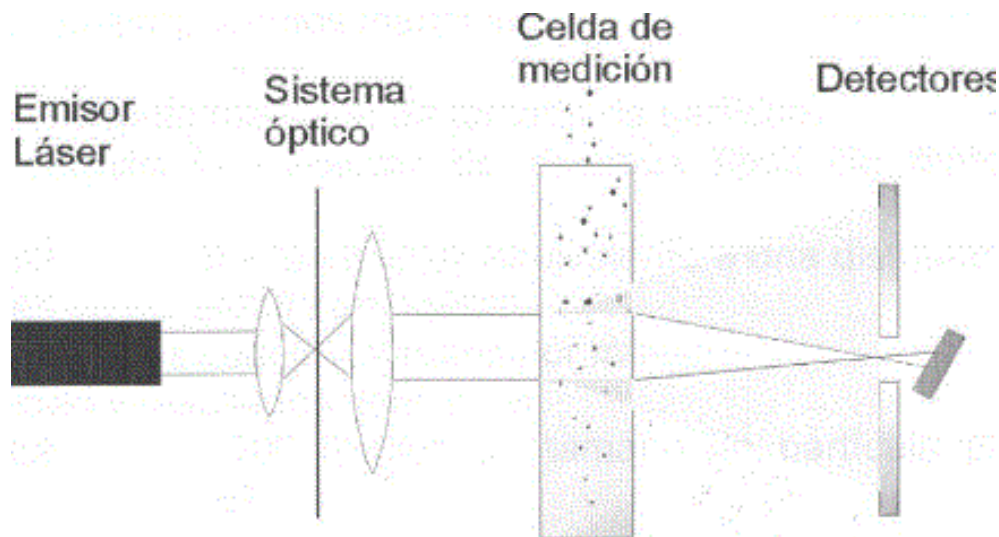
Válvula que se abre al paso del cuerpo de barrido en su giro.



Las imágenes han sido tomadas del video de simulación de la tamizadora Alpine“e200 LS” como aclaratorio de su funcionamiento. Por último no queda más que pesar el retenido, restarlo del total de la muestra que fue depositada en el tamiz y tendremos el peso de las partículas que han pasado por el tamiz, para proceder al cálculo porcentual.

NOTA.-No se ha mencionado la torre de tamices, como medio de hallar la granulometría, ya que por debajo de 0,1 mm, deja de ser operativo, por lo que no tiene aplicación en el análisis granulométrico de la molienda micronizada.

8.8.2.- MÉTODO DE DIFRACCIÓN LÁSER.

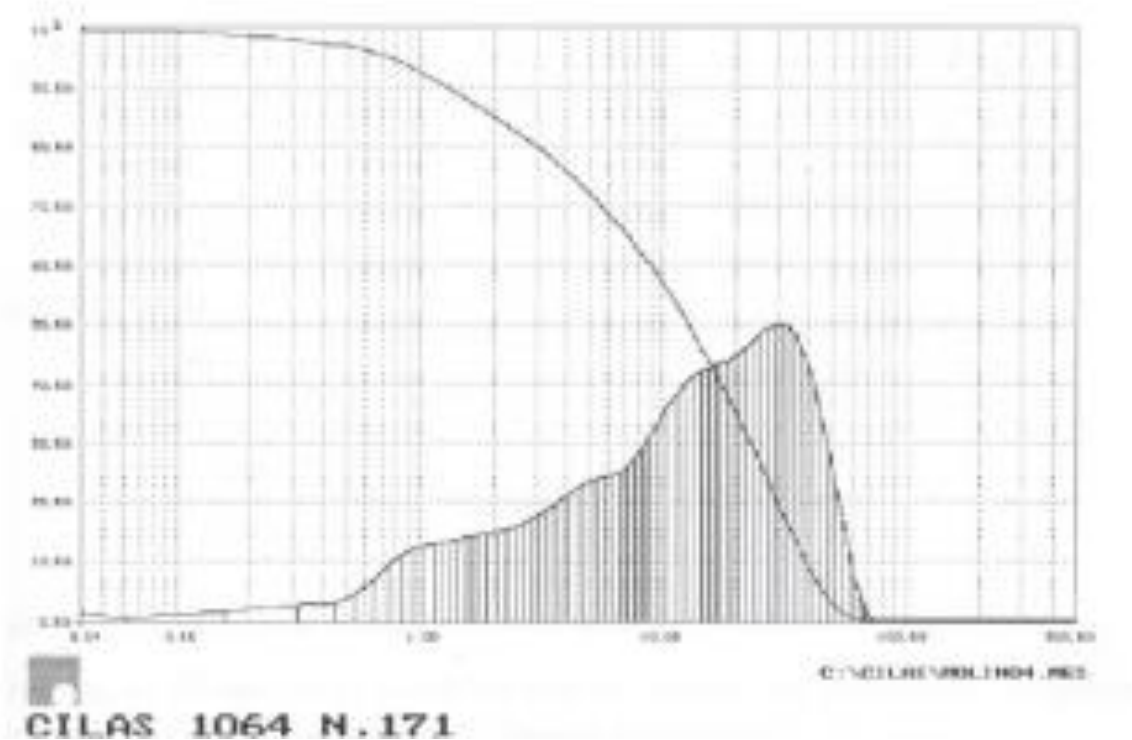


Método de difracción Laser

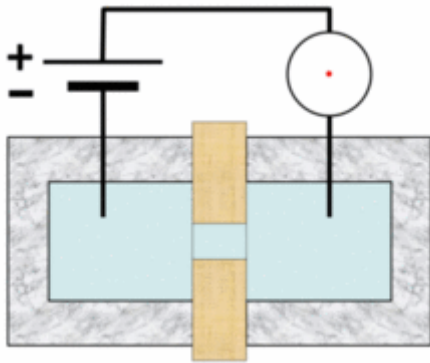
El principio físico que se utiliza es el de la dispersión de ondas electromagnéticas. El operativo es una fuente de láser filtrada que genera un haz de rayos paralelos. Las partículas pasan a través del haz y difractan la luz, con un ángulo sólido fijo que depende del diámetro de la partícula. Una lente enfoca la luz dispersada en los anillos, en el plano focal de la lente. Los ángulos pequeños predominan con las partículas grandes y las pequeñas dispersan más luz a mayor ángulo. Las señales que reciben los detectores son analizadas por un ordenador, dotado de un sistema

informático capaz de transformarlas en una distribución de los tamaños de las partículas de la muestra analizada. Es fundamental

para conseguir resultados correctos que la dispersión de las partículas sea muy buena, para evitar que dos partículas algo juntas las tome como una mayor, puede conseguirse en el aire o en una disolución, cuyo líquido transparente no reaccione o produzca alteraciones en la muestra; como ejemplo para una muestra de cemento se dispersa en alcohol. Los equipos modernos de análisis se basan en la teoría de Mie, que es la más adecuada para el análisis de partículas < 50 micras y recomendada por la ISO 13.320-1. Por ejemplo: El analizador granulométrico CILAS 1064, usa la teoría de Mie. Tiene un rango de medición de 0.04 a 500 micras y dispersa los grumos por ultrasonidos. Para procesar los



datos, el programa asume partículas esféricas utilizando el diámetro equivalente. En la figura se ve las curvas, en gráfica logarítmica, del retenido parcial y acumulado de una muestra de cemento. En ella se aprecia que el 50% es inferior a 13 micras; lo que se denomina **partícula media** y se designa por **“d50”**. También se ve que a partir de 100 micras no hay nada, lo que confirma el comienzo de este trabajo, que mencionaba: Que en el cemento el 100% es inferior a 100 micras.



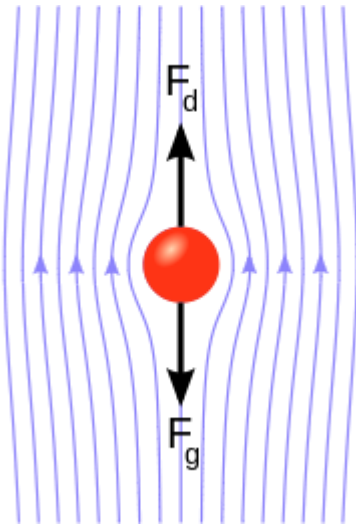
8.8.3 MÉTODO COULTER.

Wallace Coulter en 1.947 sentó las bases teóricas del funcionamiento del método y principio al que dio su nombre. Su utilización primaria fue la cuenta de las células sanguíneas; esto es como contador hematológico. El

principio Coulter se basa en que el aumento transitorio en la impedancia, al paso a través del canal, por el que circula una corriente eléctrica, es proporcional al volumen ocupado en cada instante de tiempo, por la partícula que lo atraviesa. Un contador Coulter típico posee uno o más microcanales que conectan dos cámaras, conteniendo una solución electrolítica, sobre la cuales hay aplicada una diferencia de potencial. La solución es forzada a pasar de una cámara a la otra, arrastrado consigo las partículas en suspensión, que al atravesar el microcanal produce un breve cambio en la resistencia del líquido. Éste principio ha sido aplicado a la medida de partículas; si en la disolución se diluye el material del cual se desea conocer su granulometría. Al ser las variaciones al paso de las partículas, proporcionales a su volumen; por lo que su control y procesado nos dan la granulometría de partículas entre 0,4 y 1.200 micras. Se necesita una suspensión diluida y homogénea de las partículas entre el 1 y 2%. En las imágenes se ven dos

analizadores Coulter, el de la derecha es de BEKMAN, modelo MULTISIZER "MS4".





8.8.4 MÉTODO SERIGRAPH.

El método de análisis granulométrico Serigraph se basa en la ley de Stokes, fue derivada por (George Gabriel Stokes en 1.851). Un cuerpo cumple la ley de Stokes si al verse sometido a dos fuerzas: la gravitatoria y la de arrastre. En el momento que ambas se igualan, su aceleración se vuelve nula y su velocidad es constante. La ley asume: a) partículas esféricas, b) no interacción entre partículas, c) suspensiones muy diluidas entre el 1 y 2% p/v, d) viscosidad del medio constante y e) sedimentación en régimen laminar. El método es útil para el cálculo de granulometrias de partículas entre 2 y 60 o 80 micras.

Aplicando la “sedimentación centrífuga” en cámaras cilíndricas sometidas a rotación entre 750 y 1.500 rpm, en la que se impulsa la sedimentación por una acción ajena a la gravedad se consiguen granulometrias de partículas a partir de 0,5 micras.

Como ejemplo: Abajo se ve el analizador de tamaño de partículas **SediGraph III Plus**, que determina el tamaño de partícula mediante; el uso de la alta precisión, en la técnica de sedimentación por gravedad, de partículas de diferentes tamaño en un líquido de propiedades conocidas. Esta es una técnica simple, pero

extraordinariamente eficaz, para proporcionar información del tamaño de partícula, para una amplia variedad de materiales. Incluye el Software necesario para la visión de los resultados.



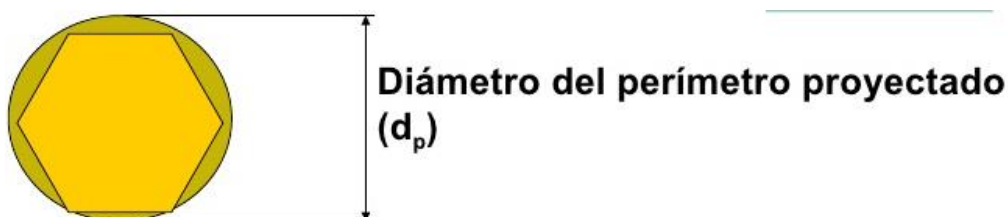
8.8.5 MICROSCOPIA ÓPTICA Y ELECTRÓNICA.

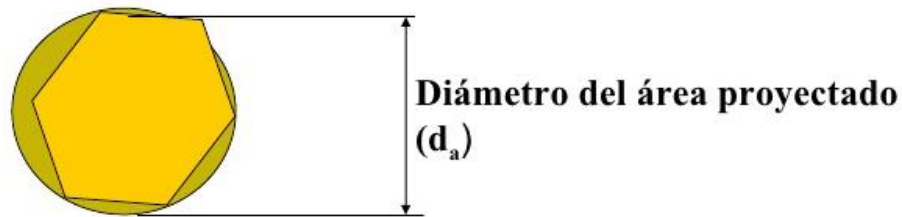
Este método se basa en la medición de las partículas, independientemente de su forma con un patrón de referencia para el tamaño. Para esto se toma alrededor de 0,2g de muestra y se observa al microscopio de transmisión de electrones, de barrido electrónico o de luz, en un campo cuadrulado con ayuda de un micrómetro. El tamaño de la partícula detectado dependerá de la resolución del microscopio, llegando a ser del orden de 0,001 a 0,05 micras, si se utiliza un microscopio de transmisión de electrones. Para fines prácticos, basta con un microscopio con objetivos de 40 a 100X, donde se puede hacer conteos de tamaños de partículas desde 0,5 a 1.000 micras. Esta técnica requiere experiencia de analista en la preparación y conteo de partículas.

La ventaja de este método; es que es muy exacto, porque no solo da información respecto al tamaño, sino que deduce la forma y el grosor predominante, ya que permite fotografiar y hacer grande barridos en tres dimensiones.

Cuando se determina el tamaño de un sólido relativamente grande, lo habitual es medir tres dimensiones, pero si este mismo sólido se moltura, resultan partículas irregulares, con distinto número de caras y resulta difícil o poco práctico, determinar más de una dimensión. Por ello, suele considerarse que una partícula de un sólido, es aproximadamente esférica, lo que permite caracterizarla midiendo solo el diámetro. Como en este caso la medición se refiere a una esfera hipotética, que solo representa una aproximación a la forma verdadera de la partícula, la dimensión considerada se conoce como “**diámetro equivalente**” de la partícula.

Como es posible generar más de una esfera que sea equivalente a una forma concreta de una partícula irregular; hay dos

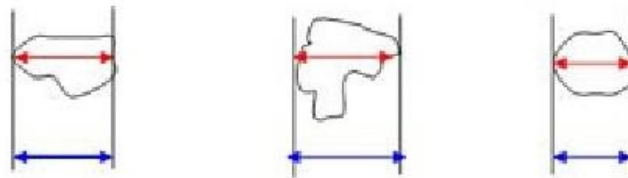




diámetros equivalentes construidos a su alrededor. El del perímetro y el del área proyectado. El del perímetro tiene su base en un círculo del mismo perímetro que el de la partícula y el del área tiene su base, en un círculo de área equivalente al de la imagen proyectada de una partícula sólida.

A menos que las partículas sean asimétricas en sus tres dimensiones, estas do

s dimensiones serán independientes de la orientación de la partícula, lo que



←→ Diámetro de Ferret
←→ Diámetro de Martín

no es cierto para los diámetros de Ferret y Martín, cuyos valores dependen tanto de la orientación, como de la forma

de las partículas. Estos diámetros son estadísticos y se calculan promediando muchas orientaciones distintas, para obtener un valor medio de cada diámetro concreto.

Todos los métodos de medición de partículas se han basado, en el diámetro equivalente, pero es a través del microscopio donde se ve la forma de la partícula. Razón por las que se han incluido aquí las formas de obtener el "diámetro equivalente".

Como cierre de este tema de métodos de medición y cálculo de las granulometrias de partículas, se incluye una gráfica de comparación de medición en un medio húmedo y seco y por distintos métodos, entre los resultados en base a la D50.

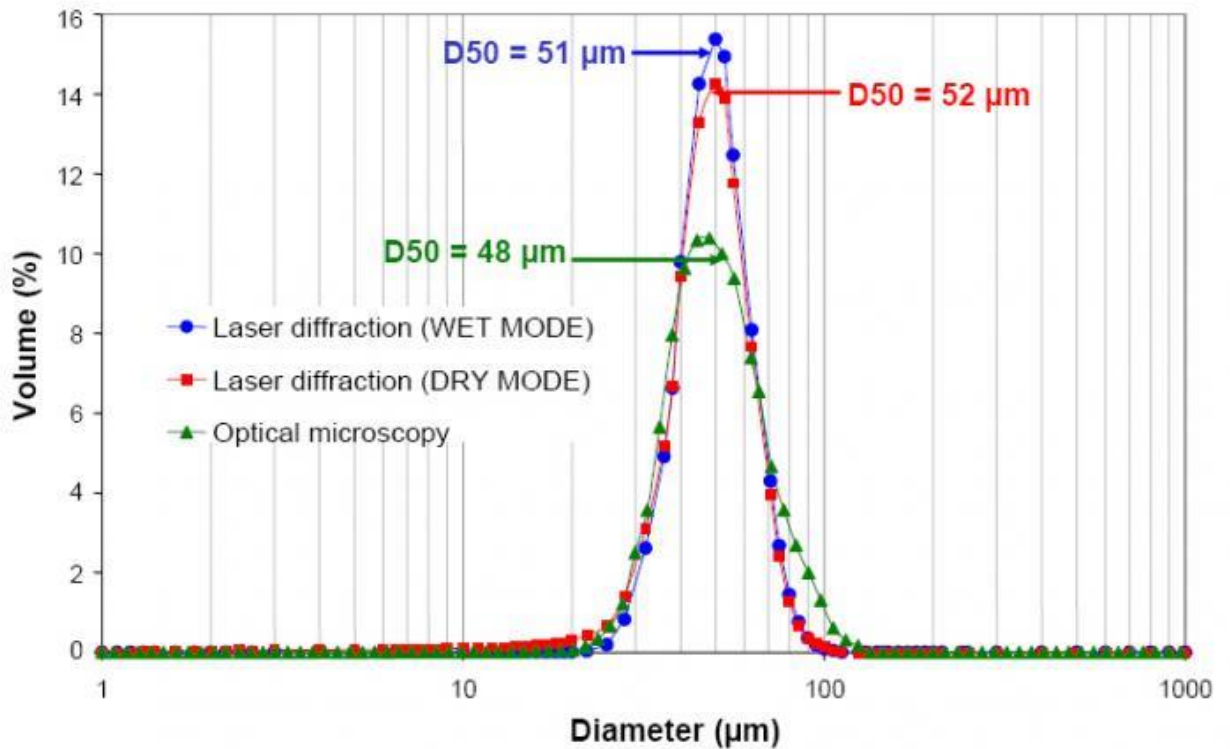


Fig. 3: Comparación entre las distribuciones del tamaño medidas con difracción láser (medio seco y húmedo) y con microscopía óptica

Analizador “Cilas” de tamaño y forma de partículas.



8.9 COLORÍMETROS.

Un colorímetro es cualquier herramienta que identifica el color y el matiz para una medida más objetiva del color.

En la molienda micronizada, la gama de materiales a molturar es muy variada, lo normal es que ya se conozca, cual es el material que se moltura, sus propiedades y si es importante el color que ha de tener el producto final; en este caso hay que tener una base que determine de forma exacta, cual es la tonalidad de color. Ya que la “percepción visual” puede ser muy vaga y muy obstinada. Por esta razón es muy difícil que dos personas estén totalmente de acuerdo en la tonalidad del color del producto final de la molienda. La única solución es tener “una muestra de referencia” y en base a ella decidir; pero hasta donde se admite una variación con respecto a la muestra de referencia; pues teniendo dos muestras de referencia; entre las cuales ha de estar la tonalidad a conseguir. Sobre un pequeño cristal portamuestras de laboratorio, se depositan dos pequeñas cantidades de las dos muestras de referencia, dejando un espacio entre ellas, para colocar la muestra de nuestro fabricado. Un cristal igual al de abajo, se coloca encima de las muestras y con cuidado de no moverlo se hace una pequeña presión, para que se aplanen las muestras y se junten en su contorno. Entonces podremos comprobar si la tonalidad de nuestro fabricado está entre las dos muestras de referencia. Es una comprobación muy casera, pero que dá resultado, es fiable y a no ser que las diferencias se han mínimas, es fácil ponerse de acuerdo en sus pareceres varias personas, procurando tener la misma fuente de iluminación, ser las muestras del mismo tamaño, el mismo fondo y el ángulo de observación sea el mismo. Si persisten las diferentes opiniones; se hace una pequeña disolución, en un líquido transparente y en el que no reaccionen o produzcan alteraciones en las muestras, con la misma cantidad de líquido y de muestras se hacen las tres disoluciones y a contraluz y juntas se comparan. Las pequeñas diferencias que antes se tenían, ahora son más apreciables. Pero si cada persona puede ver el color azul, el rojo o el verde; más

TRABAJO DE FIN DE MASTER DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS

claramente que otra, ya se presenta otra variable, por lo cual tienen que intervenir los colorímetros.

Centrándonos en el análisis del color “blanco” y poniendo como ejemplo el colorímetro de KONICA MINOLTA modelo CR-410. Aquí también se parte de una muestra de referencia y los resultados se darán siempre en base a esa muestra y para que los resultados de dos análisis distintos sean comparables; no queda más remedio, que hayan sido efectuados con el mismo modelo de colorímetros y por descontado con la misma muestra base que es facilitada por el fabricante.



Conjunto de componetes del colorímetro KONICA MINOLTA CR-410

Placa de calibración.

Tapa protectora de 50 mm.

Cable RS-232C



El método para efectuar las mediciones del color blanco es: Con el procesador de datos, con pilas o conectado a red con el adaptador y unido al cabezal de medición con el cable RS-232C, se posa el cabezal (siempre con la tapa protectora colocada) sobre la placa de calibración, se gradúa el procesador en la lectura de 100% de blanco y 0% de tendencia al azul, verde y rojo. En una cantidad de muestra suficiente, se posa el cabezal de medición, con una leve presión y se hace la primera medición que queda registrada en el procesador, se limpia el cristal de la tapa protectora y se hacen otras dos medidas, que también se registran y se pide la media al procesador, (no suele ser necesario volver a realizar otra medición), (la muestra ha de cubrir la totalidad de la tapa y ser suficiente para efectuar las tres mediciones).

Si el resultado obtenido está dentro de la tolerancia, de régimen interno o de la acordado con el cliente. Se registra la medición, con el número de la muestra, su origen, destino, fecha y hora y se imprime el comprobante que facilita todos los datos; para el cliente si es la muestra de un envío. Queda la muestra en el laboratorio con una copia del reporter. A la vez el procesador de datos los archiva, para que al final del día o semana, se pueda tener el recuento de medidas realizadas.

Es normal que el procesador está conectado con la red de ordenadores propia, que con un programa específico, controle no solo los resultado de los envíos; sino también los resultados de todos los controles de producción.

El cabezal de medición es transportable y tiene una pequeña pantalla, para mostrar los datos de las mediciones, con lo que permite realizar tomas de blancura en el punto de producción.

La razón de la tapa protectora es evitar el rayado y por lo tanto conservar la transparencia del objetivo del cabezal de control, una vez por semana es recomendable hacer la lectura de la placa de calibración sin la tapa, después de haberla hecho con ella, para su comprobación. Es conveniente tener una de repuesto.

De la placa de calibración, también es conveniente tener otra de repuesto, por rotura o pérdida de la del equipo.

Las lecturas dan el índice de blancura respecto a la de la muestra, lo mismo que las lecturas de los índices de color del azul, rojo y verde, los cuales también han de estar tabulados con sus tolerancias, para régimen interno y con los clientes. La razón entre otras; es el posible adicionado de añil, que dá resultados de más blancura, pero que su existencia puede no ser recomendado para el posterior uso del producto.

Otra de las formas de intervenir en la blancura de un producto; es la adición de otro de más blancura, por ejemplo de dióxido de titanio, pero no suele ser rentable por su alto precio.

La razón de todos estos controles, es que el material de origen puede tener variaciones diversas que inciden en el color del producto final. Controlando los pasos intermedios, se pueden afectar mezclas con producto de origen, del que se conocen su incidencia en el resultado final.

Otra de las razones; es la comentada anteriormente, sobre la incidencia de los medios y elemento de molienda, en el color final del producto; que puede obligar a efectuar cambio del medio de molienda (un tipo de molino por otro) o tener que revestir o cambiar el revestimiento del molino, clasificador o equipo de ciclonado que se está usando.

Hay que tener en cuenta que la granulometría de la muestra también incide en la blancura y por lo tanto en su lectura, por lo que en la comparación y medida de color, siempre hay que realizarlas, con granulometrías idénticas. Normalmente granulometrías con mayor contenido de d50, aunque sea igual el d97, suelen dar más blancura.

8.10 ANÁLISIS QUÍMICO

El análisis químico de los materiales a molturar, sino son propios, el suministrador ha de facilitarlos y en caso acordado se adjuntará en cada envío.

Si los materiales provienen de yacimientos propios, es muy conveniente tener el análisis químico de cada banco o zona de explotación, realizados cada un tiempo determinado y cada vez que se inicia la explotación de una nueva zona ya que no es extraño encontrar variaciones importantes, dentro del mismo yacimiento.

Las explotaciones de caliza son seguramente las más numerosas, dado la gran variedad de aplicaciones que tiene. Se ha dado el caso; que confiados en que los análisis químicos, no tenían variaciones de un lugar a otro de la explotación, en proceder a molturar material de una nueva zona y encontrarse que en menos de una semana habían desaparecido por desgante, los martillos del molino. El análisis químico de inmediato realizado, dio que el contenido en sílice había pasado del 0,2 al 2%. Peor es el caso de que en circunstancias similares, la anomalía la detectó el cliente, por defectos en sus fabricados, resultado de pasar el hierro de 0,02 al 0,05%. El cliente pierde la confianza en el suministrador, suspende los pedidos e inicia una reclamación por daños y perjuicios.

Los análisis químicos del producto final, tienen la misma importancia ya que si no lo detecta el fabricante, lo puede detectar el cliente. Caso típico de los yacimientos de cuarzo o cuarcita; que pueden no tener variaciones el análisis químico en origen y si tenerlo en el producto final, por haber variado el tamaño del grano de cuarzo, con el resultado de un mayor desgaste de los elementos metálicos de la instalación, y se ha pasado de un desgaste de 100 gramos/Tm tratada a 200. Por lo que casi se habrá duplicado el contenido en hierro en el producto final. Se puede pensar que el perjudicado es solo el productor y en la mayor parte de las veces así es, porque es desgante aumenta el coste de producción. Pero si el cliente es una fabrica de vidrio blanco o de cerámica de calidad y no detecta la anomalía antes de introducir la arena silícea en

producción. El resultado es que cambia la tonalidad de sus fabricados. También el caso de que la arena llega a un fabricante de pinturas, que la usa para la fabricación de pinturas antideslizantes para las cubiertas de las embarcaciones y después que la embarcación se venda y vea la primera agua salada empiezan a aparecer puntos de óxido de hierro por la cubierta.

Si es importante el control de los productos finales, de cualquier molturación. En la micronizada es mayor, por el mero hecho de que tienen mayor valor añadido y su que destino suele ser la fabricación de productos de un costo importante.

9 CONCLUSIONES.

El método propuesto para la selección de los equipos más adecuados a las necesidades que deba requerir un nuevo proyecto de molienda micronizada, permitirá optimizar el proceso de toma de decisiones, tanto en tiempo como en coste.

Para la elección del molino más apropiado se han estimado una serie de variables, que corresponden al material a tratar y al producto a obtener, tales como dureza y humedad o granulometría y control de color, temperatura, atmosfera y composición química; las cuales resultan determinantes a la hora de la toma de la decisión más adecuada, teniendo también presente el rendimiento medido en kW/Tm obtenido.

Se ha llegado a la conclusión que el molino más polivalente es el "tromel", pero que se han tener en cuenta las cualidades de todos los demás.

Para la elección de los clasificadores, con similares variables, siendo la más importante la granulometría del producto a obtener, resultando el más aconsejable el método de jaula de ardilla.

Como guía al "Diseño de Proyectos de molienda y clasificación micronizada por vía seca" se han presentado unos tipos de instalaciones y dada la importancia de la elección del molino y clasificador en base a las características de material a tratar y las exigencias del producto a obtener, se han presentado las pautas a seguir, para que la elección sea un acierto.

Así mismo se han presentado los principales medios auxiliares que pueden componer las distintas etapas que forman las instalaciones y terminado con los medios de control de producción y de las características que ha de reunir el producto final.

El conjunto tiene una repercusión importantísima en el coste de la planta y en la inversión final las características del material a tratar y los condicionantes del producto a obtener. Pero una planta óptimamente diseñada y proyectada; los amortiza fácilmente y reduce los costes de producción y mantenimiento.

10 REFERENCIAS.

En el presente trabajo se han hecho referencias o tomados ejemplos de los siguientes fabricantes o autores:

- HOSOKAWA-ALPINE. <https://www.hosokawa-alpine.com/>
- ANIVI MAQUINARIA. <http://www.anivi.com/>
- XSM. <http://www.xicato.com/xsm-led-module/overview>
- ACEROS DE BOLUETA. <http://www.sabo.es/>
- GRUBER HERMANOS.
<http://es.kompass.com/c/gruber-hermanos-s-a/es00195>
- TURBO. <http://www.turbomaquinaria.com/>
- TECNICAS HIDRÁULICAS. <http://www.thsa.com/>
- HUMBOLDT.
- ALLGAIER. <http://www.linkedin.com/company/gosag-s.a.u.-grupo-allgaier>
- GOSAG. <http://www.almo.es/es/>
- STURTEVANT. <http://www.sturtevantinc.com/>
- SMCE. <http://air-classifier.com/>
- INNOVA. <http://www.innova-ing.com/>
- FILTROS “EMISIÓN”. <http://www.emison.com/1183.htm>
- HERDING. <http://www.herdings.de/en/start.html>
- PLASTOQUIMICA. <http://www.plastoquimica.com/>
- DONALDSON. <https://www.donaldson.com/es/>
- ELECTROVÁLVULAS “ASCO”.
<http://www.asconumatics.eu/es/>
- VENTILADORES “CORAL”.
<http://www.coral.eu/ventiladores-industriales.html>
- URBAR. <http://www.urbar.com/es/>
- TARNOS. <http://www.tarnos.com/>
- EMERSA. <http://www.emersa.com/>
- KALENBORM. <http://www.kalenborn.de/es/>
- BEKMAN. <https://www.beckmancoulter.com/>
- MICROMERITICS. <http://www.micromeritics.com/>
- CILAS. <http://www.cilas.com/>

- KONICA MINOLTA.
<http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cr-410-chroma-meter-difference-with-colorimeter/>
- ASTURCAL. <http://www.asturcal.es/>
- A.C.G. <http://www.acgingenieria.com/>
- SIEMENS. <http://industria.siemens.com.mx/>
- LEROY SOMER. <http://www.leroy-somer.com/>
- “SILOS 1” de Juan Ravanet. Editorial Reverté