

603 - 5 CURVAS CARACTERISTICAS Y ELECCION DE INTALACIONES PARA
LA ELIMINACION DE POLVO

(Kennlinien und Auswahl von Entstaubern)

Wilhelm Anselm y Werner Anselm

- - - -

Desde la última publicación sobre "El polvo en las fábricas de cemento" (1) han transcurrido más de diez años, durante los cuales ha tenido lugar el avance que allí anunciábamos en el desarrollo de aparatos para la eliminación de polvo y, sobre todo, en la construcción de ciclones de gran potencia. Actualmente estamos presenciando aún el desarrollo de estos aparatos, que hacen ya la competencia a los filtros eléctricos y a los filtros de manga. Estos conservan aún el terreno ganado, aunque se sabe que la construcción de los primeros en determinadas condiciones resulta excesivamente cara (con unos gastos de mantenimiento y un consumo de energía más económicos) y que en los segundos son elevados los gastos por desgaste de las mangas y el consumo de fuerza. En lo que sigue nos vamos a ocupar fundamentalmente del desarrollo de los ciclones de gran potencia, así como de los tipos especiales que de éstos existen.

Actualmente existe aún cierto desconocimiento sobre las diferencias de rendimiento de estos aparatos en lo que respecta a granulometría y grado de eliminación del polvo, de modo que parece oportuno un estudio a fondo de cada circunstancia en particular, y tanto más cuanto que el problema de la eliminación

del polvo se está agudizando mucho, debido a la intensidad con que trabajan las fábricas en la actualidad. Este estudio contribuirá a aclarar dudas sobre el rendimiento probable de los modernos ciclones, de modo que el usuario sepa lo que puede esperar en su fábrica de estas instalaciones para la eliminación del polvo, y tenga igualmente la posibilidad de comprobar en lo sucesivo los datos que proporcionan las casas suministradoras. Por otra parte, este trabajo debe servir a dichas casas para afinar aún más en la construcción de sus aparatos y aumentar la economía de éstos, teniendo a la vista la diversidad de las causas que dan lugar a la formación de polvo.

Se hace así preciso hablar de la granulometría del polvo que se produce en la práctica y fijar unas curvas características para los aparatos de eliminación de polvo, así como considerar teóricamente la formación de polvo y la elección de las instalaciones adecuadas para su eliminación.

1 - Granulometría del polvo

En el año 1939 W. Anselm (1) dió ya a conocer una tabla de granulometrías de los polvos formados en diversas fábricas de cemento. Estos datos han sido completados en el transcurso del tiempo, y de los valores medios obtenidos resulta la Fig. 3. En esta representación gráfica de la composición granulométrica se obtienen rectas con mucha frecuencia; cuando se trata de un material compuesto de diferentes componentes químicos, o cuyas partículas han adquirido diversas formas y estructuras en el proceso de preparación a que han sido sometidas, y existe una porción finida y una porción fuertemente porosa o mezclada con burbujas de aire, resultan líneas curvadas en su parte inferior o superior.

Para más detalles véase Anselm (2). Si se consideran las fuentes de error que van incluidas en los análisis por sedimentación o por separación neumática, resulta interesante disponer de una directriz que permita orientarse sobre el comportamiento del polvo en lo que respecta a su composición granulométrica total. Sin embargo, se sabe que, tratándose de polvos inferiores a 5-10 micras, las líneas están curvadas en su parte inferior, porque estas finísimas partículas de polvo permanecen suspendidas en parte en el aire y no es posible recogerlas, habiendo experimentado ya en general una determinada clasificación previa.

Matouschek (3) ha demostrado que en los análisis de sedimentación y en los de arrastre por aire no es posible una separación exacta de las fracciones a causa de las diferencias de peso específico, y, en consecuencia, deben acogerse con ciertas reservas aquellos análisis granulométricos en los que se ha calculado el tamaño de grano únicamente según la ley de Stokes. Por el contrario, la medición o el recuento microscópico dan valores mayores para el diámetro de los granos:

<u>Calculados según el tiempo de sedimentación</u>	<u>Medidos microscópicamente</u>	<u>Diferencia</u>
20 micras	24 micras	+ 20 %
10 micras	14 micras	+ 40 %
5 micras	8 micras	+ 60 %

Esto significaría un cambio en la pendiente de las rectas a partir de 30 micras. Este cambio de pendiente de las rectas iniciales se indica en el diagrama por medio de líneas de -

puntos y rayas.

Las composiciones granulométricas determinadas hasta el momento en polvos de las más variadas clases abarcan ciertamente una gran zona de variación (líneas 1 a 8 de la fig. 3) e indican que es necesario considerar cada tipo de instalación para la eliminación de polvos. Existen polvos con fracciones

del 25 % hasta 0 % < 1 micra y
del 85 % hasta 0 % < 10 micras y
del 100 % hasta 15 % < 100 micras.

(finisimos) (gruesos)

Si las líneas obtenidas se limitan en el diagrama de composiciones granulométricas entre el paso del 99 % y el del 1%, se obtienen simultáneamente los tamaños de grano máximo y mínimo que se presentan en la práctica. Según esto resultan unas zonas de variación del tamaño de grano de:

0,15 - 30 micras para los finisimos y
25 - 500 micras para los gruesos.

Ahora puede caracterizarse el polvo de composición granulométrica según una recta por medio de dos cifras: valor del ángulo y valor de d' (denominación recientemente propuesta por el comité del VDI encargado de los problemas relacionados con el polvo en sustitución de la anterior $\mu <$ para más detalles, véase (1) (2)); por ejemplo, características de la línea 4 de la Fig. 3: ángulo 43° , $d' = 35$ micras, o sea, $43^\circ/35$ micras. El valor de d' se toma de las rectas de 36,8 % de residuo o de 63,2 % de paso y representa el grado de finura correspondiente al polvo de que se trate; el ángulo permite conocer la zona de tamaños de

grano correspondiente a un grado de finura.

Para elegir una instalación de eliminación de polvo son precisos los datos referentes a la composición granulométrica del polvo en los gases, siendo necesario que el comprador los determine: en las instalaciones nuevas mediante una estimación aproximada con ayuda del diagrama de la Fig. 3, y en las instalaciones ya existentes por medio de mediciones, si se desea que quede garantizado un determinado grado total de eliminación del polvo.

En relación con esto es importante también determinar el peso específico del polvo, dato que también falta las más veces, pero que es necesario para el suministrador de la instalación pues el polvo procedente de materiales pesados es más fácil de eliminar que el formado a partir de materiales ligeros.

La tabla 1 constituye un cuadro de conjunto provisional.

Tablién aquí ha de operarse con cuidado, pues el peso aparente que se utiliza en estos cálculos es con frecuencia inferior al peso específico, porque el polvo también puede tener poros.

Igualmente es importante fijar la temperatura del gas o del aire, pues, debido a la viscosidad del aire, el grado total de eliminación del polvo es aproximadamente inferior en un 2 % a 200 °C que a 20 °C.

2 - Grados de eliminación

Realmente es cierto que sólo debería tenerse en cuenta el grado total de eliminación de polvo, ya que todos los cálculos basados en una eliminación parcial o por etapas dependen de muchos factores y han dado lugar con frecuencia a confusiones de concep-

to. Por esta razón, las casas que construyen en la actualidad ciclones de gran potencia valoran sus instalaciones sobre la base de un tamaño límite de grano de 5 o 2,5 micras, polvos finísimos que todavía es posible separar. El gráfico de la Fig. 3 indica también los grados totales de eliminación de polvo para los distintos tamaños límite de grano, que pueden conseguirse en los diferentes tipos de instalaciones y que coinciden con los valores obtenidos en la práctica; el gráfico da también los grados parciales de eliminación y las curvas características.

Sin embargo, fué preciso representar también, a partir de numerosas medidas, los grados parciales de eliminación conseguidos, porque en gran parte coinciden con los análisis granulométricos del polvo de los gases sin purificar, del de los gases purificados y del polvo separado, como se pone de manifiesto en la gráfica de las curvas características de los separadores de polvo.

La Fig. 4 representa los grados parciales de eliminación de las distintas fracciones, que pueden servir de orientación. De acuerdo con nuestras experiencias, los separadores rotativos alcanzan unos grados de eliminación parcial comprendidos entre las líneas O a A con polvos finos (granulometría 1) y con polvos medios (granulometría 2); igualmente, los pequeños ciclones de 100 mm. de diámetro alcanzan las líneas A a B con polvos medios y los ciclones múltiples de 300 mm. de diámetro la línea C, también para polvos medios. Actualmente están en curso ensayos para determinar el comportamiento de los mencionados ciclones de tamaño mínimo para una granulometría según la línea 1.

Se aprecia claramente el progreso conseguido durante el último decenio en la construcción de ciclones de gran poten -

cia si se tiene en cuenta que, hace 10 años, se abarcaba la zona comprendida ente C y D y hoy día la comprendida entre A y C.

Por "tipos especiales" de separadores se entienden los ciclones giratorios y las baterías de pequeños ciclones. La eliminación eléctrica y los filtros de manga corresponden a la línea O y, cuando se trata de polvos finisimos, tienen la ventaja de - que la pendiente no es abrupta a partir de 2 micras, es decir, - retienen aún partículas inferiores a las 2 micras.

De este modo, aplicando el concepto de "grano límite obtenido por separación neumática", se separarían las siguientes partículas de polvo:

- > 0,5 - 1,0 micras por eliminación electrostática y filtros de manga.
- > 2,5 micras por medio de "tipos especiales" de separadores (valores máximos).
- > 3,5 micras por medio de "tipos especiales" de separadores (valores medios).
- > 6,0 micras por medio de "tipos especiales" de separadores (valores mínimos).
- > 10 micras por medio de ciclones de gran potencia - (valores medios).
- > 16 micras por medio de ciclones de gran potencia - (valores mínimos).
- > 25 micras por medio de ciclones ordinarios (valores medios).
- > 35 micras por medio de cámaras colectoras (valores medios).

lo que coincide en parte con los datos de Feifel (5) y Magyar (6). Pero el mencionado concepto corresponde a nuestra apreciación - personal, no a la práctica, porque también en los ciclones se pre

sentan interferencias de las distintas fracciones separadas, lo cual debe tener su causa en fenómenos análogos a los que se presentan en la separación eléctrica (conglomeración, formación de copos de tipo electrostático). Esta concepción da buenos valores para polvos medios, con una fuerte caída de las rectas a partir de 10 micras.

No tiene ningún valor práctico incluir la posible marcha de las curvas por debajo de 2 micras, a causa de la inexactitud de las medidas y de lo pequeñas que son las fracciones correspondientes, siempre que no se trate de polvos finísimos.

3 - Curvas características de los distintos tipos de separadores.

La representación gráfica de los análisis granulométricos del polvo de los gases sin purificar, de los gases purificados y del polvo separado indujo a proponer unas curvas características para los separadores, análogas a las empleadas en la técnica para otros tipos de máquinas. Se trata únicamente de aprender a sacar, de las mismas, conclusiones sobre las propiedades y rendimiento de los distintos tipos de separadores.

Se disponía en principio de los análisis granulométricos de los tres tipos de polvo citados, procedentes de mediciones propias y de numerosos datos amablemente suministrados por las fábricas de máquinas y diversas instalaciones industriales. De entre este material hubo que realizar una selección para eliminar diversos errores de medida que se pusieron de manifiesto al considerar el hábito de las curvas.

De la elección de aquellas curvas cuyo hábito parecía correcto resultaron unas curvas características para los distin-

tos tipos de separadores sumamente ilustrativas. Al mismo tiempo se obtuvieron por cálculo regresivo los grados parciales de eliminación de polvo, que coincidieron con los valores que da la fig.4.

No obstante, debe hacerse constar aquí que han de considerarse como problemáticas todas las mediciones, si no se consigue encontrar un método de medida que corresponda de un modo adecuado al sistema de eliminador. Para poder reproducir los fenómenos - que se presentan en un determinado tipo de eliminador de polvo es preciso que el dispositivo empleado conste de una tela filtrante en el caso de que se ensaye un filtro de manga, de un pequeño ciclón cuando se trate de uno de estos aparatos y de un dispositivo de precipitación electrostática en el caso de eliminación eléctrica. De este modo se obtienen muestras de polvo bastante correctas, sobre todo cuando se trata de polvo de gases sin purificar. Hay que considerar además que el análisis del polvo recogido se sigue haciendo hoy día por los métodos más diversos. Y ésta es la causa fundamental de que los resultados de los análisis no coincidan con grados de eliminación de polvo bastante buenos obtenidos en ciclones de gran potencia. Se ha demostrado que la determinación de las distintas fracciones de grano por sedimentación - en el seno de un líquido (método de Andreasen) da como resultado una mayor zona de finuras (ángulo) y un grado de finura (d') también demasiado grande, porque en este método no intervienen los fenómenos de aglomeración y formación de copos que se presentan en un ciclón o en la separación electrostática, o, caso de aparecer, se disuelven de nuevo. El procedimiento de clasificación neumática (Gonell y otros) se aproxima más a las condiciones prácticas y con él se obtienen unas granulometrías algo más gruesas que coinciden con los grados totales de eliminación de polvo conseguidos.

Estos dos puntos fundamentales son, en nuestra opinión, la causa remota de los resultados muchas veces contradictorios de la teoría y de la práctica, y han de ser puestos en claro mediante investigaciones y normas. El conocimiento de las curvas características debe mostrar el camino para ello.

Una vez obtenida una buena concordancia entre los análisis granulométricos del polvo de los gases sin purificar, del de los gases purificados y del polvo separado, así como entre los valores del contenido de polvo de los gases sin purificar en g/m^3 , por consideración de los dos puntos antes señalados, se calcularon las curvas características de los distintos tipos de eliminadores de polvo a base de los grados parciales de eliminación de la fig.4 y para las composiciones granulométricas 1, 4 y 7 de la fig.3 (es decir, un polvo muy fino 1, un polvo de finura media 4 y un polvo muy grueso 7). En este estudio general no hacemos juicios críticos particulares sobre las instalaciones para la eliminación del polvo de las distintas firmas; resultarán aquellos, en cada caso, del establecimiento de las correspondientes curvas características, tomando como base los valores obtenidos por uno mismo.

Las figuras 5 - 19 representan las curvas características de:

Fig.	Tipo de eliminador	Grado parcial de eliminación según la fig. 2	Granulometría según la fig. 2
5	"Tipos especiales"	(valores máximos)	A 1
6	" "	" "	A 4
7	" "	" "	A 7
8	" "	(valores medios)	B 1
9	" "	" "	B 4
10	" "	" "	B 7
11	Ciclones de gran potencia	" "	D 1
12	" "	" "	D 4
13	" "	" "	D 7
14	Ciclones sencillos	" "	F 1
15	" "	" "	F 4
16	" "	" "	F 7
17	Cámaras colectoras	" "	G 1
18	" "	" "	G 4
19	" "	" "	G 7

No reproducimos los cálculos correspondientes que ocuparían un espacio excesivo. A partir de estos cálculos se obtienen simultáneamente los grados totales de eliminación de polvo conseguidos, que pueden encontrarse en la Tabla 2 y gráficamente en la fig. 20 para las curvas de composición granulométrica 1 a 8.

A continuación se estudiarán más en detalle las curvas características obtenidas en cada caso particular, aunque una simple ojeada basta para reconocer el hábito de cada una. Las distancias entre las curvas correspondientes al polvo de los gases - sin purificar, al polvo de los gases purificados y al polvo separado, para cada granulometría, constituyen una característica particular de cada tipo de instalación para la eliminación del polvo. Evidentemente esta consideración sólo es válida cuando la composición granulométrica del polvo de los gases sin purificar responde a una recta, pero aunque responda a otro tipo de línea, y las distancias a las curvas del polvo de los gases purificados y del polvo separado se acorten o alarguen más o menos, debe persistir una cierta relación; las inflexiones de dichas curvas guardan un determinado paralelismo con las de la curva granulométrica del polvo de los gases sin purificar. Se pone de manifiesto que:

Cuanto más próxima se encuentra la curva del polvo separado a la curva del polvo de los gases sin purificar, tanto mayor es la distancia entre la primera y la curva del polvo de los gases purificados y tanto mejor es la separación en el eliminador de - que se trate. Según esto, debiera procurarse conseguir las curvas características de las figs. 5 y 6 en los "tipos especiales" de eliminadores, según se haya de separar un polvo fino o medio, respectivamente. Los ciclones de gran potencia D y E, con diámetros de 400 a 1000 mm. aproximadamente, ya no bastan para el caso de polvos finos y medios (fig. 11 y 12); únicamente se obtienen unas curvas características satisfactorias para polvos gruesos (fig. 13) Los ciclones sencillos, F, con un diámetro de unos 2000 a 3000 mm. sólo se comportan satisfactoriamente para polvos gruesos (fig. 15) obteniéndose en este caso un grado total de eliminación del 77 al 97%.

Finalmente, las cámaras colectoras resultan satisfactorias hasta cierto punto con polvos gruesos, con un grado total de eliminación del 57 al 91%. Llama la atención particularmente la diferencia que se observa al considerar la distancia entre las tres curvas mencionadas, por ejemplo, en la vertical correspondiente a 10 micras.

Igualmente debe tomarse en consideración la altura de la curva correspondiente al polvo de los gases purificados, por ejemplo, para 5 o 10 micras; cuanto mayor es la misma, tanto mejor trabaja el separador, aunque el grado total de eliminación conseguido con polvos finísimos es algo peor que con polvos de tamaño de gran medio.

De la marcha de las curvas se desprende también que no existe una magnitud límite de grano en la separación en ciclones, en tanto la curva granulométrica del polvo de los gases sin purificar no descienda muy rápidamente a partir de 10 micras.

Hemos de hacer notar, además, que, para un cierto tipo de separador, sea cual fuere la finura del polvo de los gases sin purificar, las curvas correspondientes a este polvo y al polvo separado coinciden más o menos en un punto determinado, en el cual debe alcanzarse también la curva del polvo de los gases purificados para un paso del 99,9 %.

Naturalmente, las curvas características varían por alteraciones de los pesos específicos, de la temperatura de los gases o del aire, o de la carga de polvo en g/m^3 , pero no se modifica por eso su hábito característico. De momento, no entraremos en más detalles en este trabajo.

4 - Producción y pérdidas de polvo

Otra magnitud muy importante en las fábricas es la producción de polvo en g/m^3 . El comprador de una instalación de eliminación de polvo debiera indicar este dato en su pedido, pues influye sobre el tipo y la magnitud del eliminador. Por ejemplo, - los ciclones eliminan mejor los finísimos para un contenido de polvo de 10 g/m^3 que para 30 g/m^3 .

A fin de proporcionar un punto de referencia en este - respecto reproducimos las Tablas 3 y 4, ya publicadas con anterioridad (2) (7). Estas Tablas se volvieron a calcular de acuerdo - con los nuevos grados de eliminación, que ahora parecen más seguros. Se incluyen en ellas los valores medios de las cantidades - de polvo producidas, que, no obstante, pueden fluctuar hasta en $\pm 50 \%$ según el sistema de operación. El grado total de eliminación obtenible en la práctica se ha rabajado, por ejemplo, del 95% al 90% para un funcionamiento continuo.

5 - Elección del tipo de eliminador

Conocidos los pormenores que anteceden, se puede proceder ahora a la elección del tipo de eliminador más apropiado en - cada caso, teniendo presente que en los gases purificados escapa una cantidad de polvo de únicamente $0,4$ a $0,6 \text{ g/m}^3$ por término medio y, como máximo, de 1 g/m^3 . Se pueden conseguir, e incluso superar, estos contenidos residuales de polvo, como puede comprobarse por medio de ensayos, pero en la práctica se obtiene siempre un grado de eliminación inferior, como consecuencia de fluctuaciones en la cantidad de gases, de modificaciones de la temperatura o de los periodos de purificación, etc. En la práctica es

mejor realizar los cálculos a base de un grado total de eliminación del 90 %, en lugar del 95 %, haciendo la corrección correspondiente en el caso de eliminación electrostática o por medio de filtros de manga.

La Tabla 5 indica el contenido residual de polvo que puede conseguirse técnicamente en diversas instalaciones industriales, refiriéndose fundamentalmente a fábricas de cemento. Se desprende de esta Tabla que, según que el polvo producido sea fino o grueso, sólo deben tomarse en consideración los "tipos especiales" de eliminadores, además de los filtros de manga y de los eliminadores electrostáticos; únicamente en el caso de polvos gruesos bastan los ciclones de gran potencia o los ciclones ordinarios. Como ya hemos indicado, estos valores del contenido residual de polvo son los que se alcanzan en los ensayos, pero en la práctica los valores son algo más altos.

La Tabla 6 incluye valores de referencia sobre los distintos tipos de separadores de un modo análogo a la dada en 1939 (1). Los precios son aproximadamente los actuales; se dan estas cifras a fin de poder hacer un balance económico, que debe incluir los siguientes datos:

Coste de la instalación
Coste de construcción
Coste del montaje
Coste del transporte
Coste de una nueva instalación

Coste de la energía eléctrica
Amortización e intereses (15%)
Cantidad de polvo perdido x valor del polvo
Costes por deterioro
Coste anual de funcionamiento

Ingresos debidos a la recuperación del polvo = Cantidad anual x
x valor del polvo - coste anual de funcionamiento
Ahorro anual

No todos los tipos de eliminadores satisfacen todos los requisitos que se exigen a estos aparatos; no obstante, en general, se tiende a lo siguiente:

a) El contenido de polvo de los gases purificados debe rebajarse al mínimo posible.

b) El aparato eliminador debe mantener un grado total de eliminación de polvo (rendimiento) uniforme, tanto a lo largo de la jornada de trabajo, como al cabo de los años, y, en la medida de lo posible, independiente de las fluctuaciones en la cantidad de gases, velocidad de éstos y concentración de polvo.

c) El eliminador no debe precisar reparación alguna durante el funcionamiento y su desgaste debe ser pequeño. Los granos gruesos no deben ser triturados en el separador.

d) El eliminador debe estar construido de modo que no suponga un peligro para la salud ni un peligro de incendio.

e) El eliminador debe estar construido de modo que pre

sente las siguientes ventajas:

Un coste mínimo de instalación (amortización e intereses).

Una pérdida mínima de tiro = consumo de fuerza.

Unos costes mínimos de reparación y desgaste (coste de funcionamiento).

Un espacio mínimo.

Un rendimiento máximo = Grado total de eliminación máximo.

Para cumplir con todos estos requisitos es menester - una descripción detallada de las instalaciones en que se desea - eliminar el polvo. Por esta razón, el comprador debe suministrar los siguientes datos:

Producción de los hornos o molinos, o instalación de - que se trate, en la que se desea eliminar el polvo.

Contenido en agua del material con que se trabaja y del polvo.

Análisis químico del material (pérdida al fuego, contenido de K_2O , SO_3).

Combustible empleado en los hornos o secaderos, análisis, poder calorífico y cantidad del mismo por tonelada de pro - ducto fabricado.

Descripción detallada del origen del polvo.

Datos sobre la clase de polvo de que se trata, con in - dicación del peso específico y del peso aparente.

Gases desprendidos expresados en m^3 de gases húmedos y en m^3 de gases secos, y temperatura de los mismos antes de penetrar en el eliminador.

Contenido en CO_2 , O_2 y H_2O de los gases desprendidos.

Análisis de tamizado o granulometría del polvo.

Contenido de polvo de los gases desprendidos en g/m^3 .

Contenido residual de polvo deseado en g/m^3 o grado total de separación.

Horas de funcionamiento, por año y por día.

Valor del polvo (por tonelada).

Tendencia del polvo al desgaste de las instalaciones.

Elementos en que ha de realizarse la eliminación del polvo: por ejemplo, tapas, tuberías, aparatos de transporte, hornos, molinos, envasadoras.

Lugar de emplazamiento del eliminador: sobre plataforma o sobre armadura de sustentación, a ras de tierra o algo elevado, en el interior o en el exterior del edificio.

Datos sobre si el polvo o los gases desprendidos contienen ácidos, vapores grasos o alquitrán.

Datos sobre si el polvo supone peligro de explosión, de formación de chispas, o de si es nocivo para la respiración.

Qué elementos han de suministrarse conjuntamente: tapas, conducciones, ventiladores, con o sin instalación de propulsión e interruptores, plataformas, armaduras de sustentación.

Datos referentes a la corriente eléctrica de que se -

dispone: clase de corriente, tensión, precio por Kwh.

Enviar una muestra del polvo.

Caso de que sea preciso, indicar la pérdida máxima admisible de presión en el eliminador.

Esquema general de la instalación total, indicando los canales de tiro de los gases.

Indicar qué tipo de filtro está instalado actualmente y si es necesario un aislamiento.

Datos que debe proporcionar la casa suministradora:

Sistema de eliminación y plano a escala de la instalación.

Pérdida de tiro y consumo de energía (por pérdida de tiro, por propulsión o por transformación de corriente).

Grados parciales de eliminación de polvo, o mejor, grado total de eliminación.

Contenido residual de polvo en g/m^3 .

Coste detallado de la instalación, costes de transporte, costes de construcción (cimientos, cubierta, aislamiento), costes de montaje, costes totales.

Peso de la instalación.

Espacio requerido, dimensiones útiles.

Datos referentes al desgaste.

6 - Valores indicadores para las pérdidas de polvo

Actualmente se está trabajando en Alemania a fin de fi-

jar de un modo general los valores límite para la pérdida de polvo admisible en una fábrica, como ya se ha hecho en Francia y en Inglaterra. Con el fin de dar una idea general de con qué pérdidas de polvo hay que contar incluso en los separadores de gran eficacia, se ha tomado como ejemplo una fábrica de cemento, en la que se presentan casi todas las fuentes de formación de polvo, como son secaderos, molinos, hornos y máquinas envasadoras, con lo que al mismo tiempo se aclara la cuestión de hasta qué punto se puede eliminar el polvo.

La Tabla 7 indica las pérdidas de polvo en una fábrica de cemento de 200.000 toneladas de producción anual (para producciones de distinta magnitud los valores serán proporcionales). Los valores que se indican son los que se pueden obtener en la práctica, y, por tanto, también en los ensayos.

La Tabla 8 indica las pérdidas de polvo que se pueden conseguir en la práctica, expresadas en g/m^3 de gases y en kg/h , para un grado total de eliminación de polvo del 90 %, o el que corresponda al caso particular de que se trate, porque las condiciones, tales como cantidad de gases, temperatura, carga de polvo, desgaste o tensión de corriente, varían de un caso a otro y aparecen perturbaciones. A partir de estos datos se calculó la Tabla 9, para distintos procedimientos y magnitudes de producción, resultando pérdidas de polvo de $65 kg/h$ a $7.152 kg/h = 0,66 g/m^3$ a $7,35 g/m^3$ de aire o de gases desprendidos. Esta Tabla indica los valores alcanzables en la práctica para un funcionamiento continuo. Resulta así que, en las grandes fábricas, por ejemplo, de la industria cementera y de producción de energía, la producción de polvo en kg/h es muy elevada; por esta razón, hay que acoger con la máxima reserva las especificaciones oficiales que fijan un valor límite para -

la producción de polvo, por ejemplo, 300 kg/h, porque estas disposiciones no pueden ser observadas en la práctica. La Tabla 8 nos dá una idea sobre las pérdidas de polvo en la práctica, pérdidas que son inevitables con los medios técnicos de que disponemos en la actualidad en los hornos que utilizamos a causa de la temperatura de los gases que se desprenden, con lo que queda de manifiesto que debe estudiarse en particular cada caso. Las Tablas 3 y 4 están construídas a base de una subdivisión aún más amplia de las distintas fuentes de formación de polvo.

La eliminación de polvo en los hornos verticales utilizados por las industrias del cemento y de la cal constituye en problema especial que se está tratando de resolver por medio de ciclones de gran potencia. En los hornos verticales de cemento se forma un polvo grueso que sólo constituye parte del penacho de polvo y humo; pero la parte fundamental de este penacho está formada por vapores de álcali, que atraviesan incluso los filtros eléctricos y los ciclones y son la causa principal del penacho de humo blanco azulado siempre visible. Como se trata de polvo grueso, se desprende de la Tabla que puede eliminarse el polvo en los hornos verticales por medio de ciclones sencillos, baratos. Por tanto, el penacho de humo que continúa viéndose, ya no contiene polvo y si es visible es debido únicamente a los vapores de álcali. Tenemos también aquí un caso que debe tratarse de un modo especial y que igualmente se opone a la fijación de valores límite.

Otro problema de considerable interés es la eliminación del polvo en los molinos de crudo de las fábricas de cemento que trabajan por vía seca. Muchas veces, la producción de polvo en dichos molinos es muy superior a la de los hornos, que, por otra parte, poseen una elevada chimenea.

De intento hemos omitido referirnos a la precipitación de polvo en los alrededores de una fábrica, porque aquella depende particularmente del emplazamiento de la fábrica y de otros diversos factores. Claro que huelga hablar de este problema, pues todas las fábricas procuran que sus pérdidas de polvo sean mínimas, consiguiendo esto dentro de las posibilidades técnicas actuales por medio de ciclones de gran potencia, filtros eléctricos y filtros de manga.

Si suponemos que ya se elimina el polvo en el 80 % de los puntos de formación del mismo en una fábrica de cemento, queda aún un 20 % de las instalaciones por someter a la separación de polvo, lo cual puede estimarse que supondría una inversión de capital de unos 3,5 millones de DM para la industria alemana del cemento, calculando unos 40.000 DM por fábrica. Persiste, pues, una pérdida continua de $1,4 \text{ g/m}^3$ de gases desprendidos; véase Anselm (1).

Por todas estas circunstancias no estimamos acertado fijar de un modo general valores límites para la eliminación del polvo en el caso de nuevas concesiones para fábricas de cemento o centrales térmicas, o promulgar disposiciones legales sobre este punto, como ya indicábamos en 1939 (1). Cada caso está condicionado por circunstancias de tipo local (zona montañosa o llana, proximidad de una ciudad, etc.) y por la magnitud de la fábrica, y, además, debe tenerse en cuenta que con frecuencia nos encontraremos con polvos con un 30 % de partículas inferiores a las 2 micras y que no pueden captarse con seguridad en la práctica. Además, hasta el momento carecemos de un aparato adecuado para la medida del polvo, lo cual constituye una razón más para abstenerse de fijar valores límite de cualquier tipo.

Se puede exigir que una fábrica situada en las cercanías de una ciudad, o en un paisaje de valor turístico, instale un sistema moderno de eliminación de polvo, pero lo que no se puede hacer es condicionar la concesión de una industria al contenido admisible de polvo de los gases desprendidos en g/m^3 o a la pérdida admisible de polvo en kg/h , sin tomar en consideración las razones expuestas anteriormente.

Así, pues, se puede sacar en conclusión lo siguiente:

- 1 - Se conocen en la actualidad los datos referentes a la producción y granulometría del polvo, así como las curvas características de una instalación, de modo que puede hacerse una apreciación técnica y práctica de las instalaciones ya existentes o de las nuevas. Falta aún, sin embargo, un método de medida adecuado.
- 2 - Actualmente se ha avanzado tanto en el desarrollo de ciclones de bajo precio y de "tipos especiales" de separadores, que puede eliminarse el polvo en cualquier instalación hasta el valor óptimo prácticamente posible, también en lo que se refiere al aspecto económico. Se incluyen también aquí los filtros eléctricos y de manga para polvos particularmente finos.
- 3 - Debe desistirse de fijar valores límite para la pérdida admisible de polvo en g/m^3 de gases desprendidos o en kg/h , dada la diversidad de las circunstancias particulares en cada caso, pues la granulometría y la cantidad de polvo producida varían fuertemente de una instalación a otra. Por esta razón, debe estudiarse cada caso particular en función de sus circunstancias locales; en lugar de esto se dan valores indicadores.

BIBLIOGRAFIA

- (1) W. Anselm: Staub in Zementwerken, Zement 28 (1939), 15,30.
- (2) W. Anselm: Zerkleinerungstechnik und Staub, DIV Düsseldorf, 1950.
- (3) F. Matouschek: Der Kornaufbau der Zemente. Schweiz. Arch. - f. angew. Wiss. u. Technik 13 (1947), 54, 94.
- (4) W. Anselm: Verbundmühle oder Sichtertermühle bei Zementvermahlung, Tonind. - Ztg. 74 (1950) 11.
- (5) E. Feifel: Wege zum Entstaubungsgrossgerät, Radex-Rundschau - 1949, 91.
- (6) F. Magyar: Physikalisch-statistische Grundlagen der Gasreinigung, Radex-Rundschau 1948, 3.
- (7) W. Anselm: Der Leistungstand der deutschen Zementindustrie, - Zement-Kalk-Gips 2 (1949), 161.

- - - -

Aclaraciones sobre la figura 3

Nº	Composición granulométrica del polvo de los gases sin purificar procedentes de	Características	
		X	d'
1	Tambores de secado de caliza (polvo muy fino)	40	5
	Molinos de carbón (polvo muy fino)	50	5
1 - 4	Tambores de secado de caliza Zona abarcada		
2	Tambores de secado de caliza		
	Tambores de secado de carbón		
2	Molinos de cemento - Molinos de crudo	43	12
	Envasadoras		
3 - 5	Molinos de polvo de carbón		
	Hogares de carbón en polvo - Calderas Zona abarcada		
4	Hogares de carbón en polvo	43	35
	Parrilla de horno Lepol		
4 - 6	Parrillas de sinterización		
	Hogares de molino - Calderas		
4 - 6	Molinos de yeso		
	Hornos rotatorios con calcinador		
3 - 6	(Vía seca y húmeda)		
5 - 6	Gasógenos de lignito		
6	Hogares de parrilla - Calderas	48	100
	Hogares de parrilla - Calderas		
5 - 7	Hornos rotatorios normales, vía seca		
	Hornos rotatorios, vía húmeda		
7	Hornos verticales	57	160
6 - 8	Hornos verticales		
8	Gases procedentes de la boca de los altos hornos		
	Valores medios		

Tabla I

Pesos específicos de distintas clases de polvo

Clases de polvo	Peso específico		
	desde	media	hasta
Polvo mineral procedente de parrillas de sinterización	3,5	4,0	4,5
Polvo procedente de la boca de altos hornos		3,2	
Molinos de cemento - Maquinas envasadoras	2,9	3,0	3,1
Secaderos de arena de escorias de alto horno	2,7	2,9	3,1
Hornos sinterizadores de cal		2,8	
Polvo volante procedente de hogares de calderas con menos del 5% de residuo combustible	2,6	2,8	3,1
Creta en polvo		2,7	
Hornos rotativos de cemento	2,4	2,6	2,8
Tambores de secado de piedra caliza	2,2	2,5	2,8
Polvo volante procedente de hogares de calderas	1,2	2,3	3,0
Polvo volante procedente de hogares de calderas, pero con 60-30% de residuo combustible	1,9	2,1	2,3
Gasógenos para vehículos (antracita)		1,6	
Molinos de carbón - Secaderos de carbón	1,2	1,3	1,5
Ventiladores (15% orgánico 15% inorgánico)		1,3	

Tabla II

Grado total de eliminación en % según la granulometría

Tipo de separador	Grado parcial de eliminación según las curvas de la fig. 2	Grado total de eliminación en % para $\gamma = 2,0$ (valores posibles técnicamente) según las curvas granulométricas de la fig. 1							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Filtros de manga		98 - 99 %							
Eliminación Electrostática	D	93	94	95	95,4	97	99	99,95	99,99
Tipos especiales	A	90	92	94	95,4	97	99	99,95	99,99
	B	70	80	87	92,0	95,5	98,7	99,8	99,9
	C	60	75	82	89	93	97,5	99,5	99,8
Ciclones de gran potencia	D	31	49	63	75	84	94	98	99,5
	E	11	27	43	58	70	85	94	98,6
Ciclones sencillos	F	2,6	13	26	43	57	77	91	97,6
Cámaras colectoras	G	0,6	4	11	23	35	57	76	91

Tabla III

Pérdidas de polvo en la práctica en hornos de cemento de 300 Tm/día = 12,5 Tm/h.

% de H ₂ O en el cru do molido	Tipo de horno	Granulo- metría media - según la curva	Tipo de separa- dor propuesto y grado total de eliminación en % (práct.)	Cantidad de gases			Pérdidas de polvo		
				m ³ /h	n	Tm	g/m ³	Kg/h	% clink.
14	Horno vertical 3 x 100 2 x 150 2 x 150	7	F = 90%	48.000	1,4	270	1,3	62,5	0,5 (1)
							2,6	125	1,0 (2)
							0,26	12,5	0,1
14	Horno Lepol	4	EE,A = 90%	58.000	2,2	170	6,5	375	3,0
							0,65	37,5	0,3
14	Parrilla de sin- terización	4	B = 83%	155.000	5,0	140	3,2	500	4,0
							0,55	85	0,68
40	Horno rotatorio normal	6	G = 60%	168.000	1,4	550	4,5	750	6,0
							1,8	302	2,4
40	Horno rotatorio lar- go con cadenas	4	EE,A = 90%	86.000	1,4	290	8,7	750	6,0
							0,87	75	0,6
40/20	Horno rotatorio con filtro	4	G = 30%	76.000	1,4	500	11,6	880	7,0
							8,1	615	4,9
40	Horno rotatorio con to con cadenas	4	EE,A = 90%	92.000	1,4	200	10,9	1000	8,0
							1,09	100	0,8
6	Horno rotatorio normal	6	G = 60%	110.000	1,2	700	10,2	1130	9,0
							4,1	450	3,6
6	Horno rotatorio nor- mal con secado de los crudos	2		150.000	2,5	450	7,5	1130	9,0
40	Horno rotatorio con recuperación del calor en calderas	4	EE,A = 90%	150.000	2,5	160	9,2	1380	11,0
							0,9	138	1,1

(1) Para gránulos 0,3

(2) Para gránulos 0,7

Tabla III

Pérdidas de polvo en la práctica en hornos de cemento de 300 Tm/día = 12,5 Tm/h

(Continuación)

% de H ₂ O en el cru do molido	Tipo de horno	Granulo metría media - según la curva	Tipo de separa- dor propuesto y grado total de eliminación en % (práct.)	Cantidad de gases			Pérdidas de polvo		
				m ³ /h	n	Tm	g/m ³	Kg/h	% clink.
40/20	Horno rotatorio con filtro y recupera- ción de calor en - calderas	5	A = 90%	118.000	2,0	240	11,7	1380	11,0
							1,2	138	1,1
40	Horno rotatorio con precalentador	4	EE, A = 90%	100.000	2,5	100	13,8	1380	11,0
							1,38	138	1,1
6	Horno rotatorio con caldera de recupera- ción y secado de - los crudos	3	EE = 90%	97.000	2,0	100	16,8	1630	13,0
							1,7	163	1,3
14	Horno rotatorio con precalentador	4	A = 90%	100.000	2,0	350	20,0	2000	16,0
							2,0	200	1,6

EE = Eliminación electrostática
Sch= Filtro de manga
A = Tipos especiales (valores máximos)
B = Tipos especiales (valores medios)

D = Ciclón de gran potencia
F = Ciclón sencillo
G = Cámara colectora
n = Relación de aire antes de entrar en el separador

Tabla IV

Pérdidas de polvo en la práctica

	Granulometría media según la curva	Tipo de separador propuesto y grado total de eliminación en %	Producción Tm/h.	Gases desprendidos m ³ /kg	Gases = Cantidad de aire para			Producción de polvo (+ 50%)		
					m ³ /h	n	Gases desprendidos Tm	g/m ³	kg/h.	% del producto
Secadero de crudos 6% de H ₂ O	2	Sch - 95%	20	1,35	27.000	5,0	100	20	540	2,70
			20		27.000			100	1,0	27
Molino de crudos	2	Sch - 95%	20	0,75	15.000		50	25	400	2
			20		15.000			50	1,25	20
Instalación de molienda y secado para carbón o crudos (Loesche, Peters)	2	Sch - 95%	3	1,75	5.250	5,0	80	600-25(3)	130	4,3
			3		5.250			80	1,25	6,8
Instalación de molienda y secado de carbón (molino con corriente de aire)	2	Sch - 95%	3	1,75	5.250		70	20	105	3,5
			3		5.250			70	1,0	5,25
Molinos de carbón (molinos tubulares)	2	Sch - 95%	6	1,0	6.000		50	25	150	2,5
			6		6.000			50	1,25	7,5
Secaderos de cal, yeso, arena							3 - 30			
Trommels de carbón 10% de H ₂ O	2	Sch - 95%	6	1,25	7.500	5,0	100	15	112	1,9
			6		7.500			100	0,75	5,6
Molinos de cemento (molinos compuestos)	2	Sch - 95%	17	0,7	12.000		50	14	168	1,0
			17		12.000			50	0,7	8,4
Envasadoras (de tres salidas)	2	Sch - 95%	20	0,2	4.000		30	10	40	0,2
			20		4.000			30	0,5	2
Molinos pendulantes para carbón	2			1,0						
Hogares de calderas	6	C - 90%	70 Tm/h de vapor		200.000	(1,8)	250	1 - 3	200- 600	1,5 - 4,5
Parrietas móviles									20- 60	0,15-0,45

Tabla V

Elección del tipo de separador

(Valores medios)

No	Granulo métrica según las curvas de la fig. 1	Polvo producido en:	Contenido medio de polvo en g/m ³	Contenido residual de polvo que debe conseguirse técnicamente en los gases purificados, en g/m ³					
				Eliminación electrost.	Filtros de manga $\eta = 99\%$	Tipos especiales	Ciclones de gran potencia	Ciclones sencillos	Cámaras colectoras
1	1	Tambor de secado de caliza	20		x 0,2				
2	2	Tambor de secado de caliza	20		x 0,2				
3	2	Molinos de crudo (separadores) (600)(1)	25		x 0,25				
4	2	Molinos de carbón (separadores) (600)(1)	25		x 0,25				
5	2	Molinos de cemento	14		x 0,14				
6	2	Envasadoras	10		x 0,10				
7	2	Secaderos de carbón	15		x 0,15				
8	4	Horno rotatorio con inyección de pasta	24	x 1,0		x 2,2; 1,0 ⁽⁵⁾			
9	4	Horno rotatorio con precalentador (vía seca)	20			x 1,8; 0,8 ⁽⁵⁾			
10	4	Horno rotatorio con precalentador (vía húmeda)	14,0	x 0,6		x 1,3; 0,6 ⁽⁵⁾			
11	4	Horno rotativo largo con cadenas (vía húmeda)	10	x 0,4		0,9; 0,4 ⁽⁵⁾			
12	4	Hogares de polvo de carbón para calderas	9	x 0,36		x 0,80; 0,26 ⁽⁵⁾			
13	4	Horno Lepol	6,5	x 0,26		x 0,59; 0,25 ⁽⁵⁾			

Tabla V

Elección del tipo de separador

(Valores medios)

(Continuación)

Nº	Granulometría según las curvas de la fig.1	Polvo producido en:	Contenido medio de polvo en g/m ³	Contenido residual de polvo que debe conseguirse técnicamente en los gases purificados, en g/m ³					
				Eliminación electrost.	Filtros de manga $\eta = 99\%$	Tipos especiales	Ciclones de gran potencia	Ciclones sencillos	Cámaras colectoras
14	4	Parrilla de sinterización	3,2	0,13		x 0,29	(0,9)		
15	5	Molinos de yeso (separadores)(400)(1)	20			x 0,8			
16	5	Hogares de parrilla para calderas	6,0	0,18		x 0,24	(1,0)		
17	6	Horno rotatorio normal (vía seca)	10			x 0,45 ⁽⁴⁾	0,8 ⁽⁴⁾		x 2,70
18	6	Horno rotatorio normal (vía húmeda)	4,5			x 0,20 ⁽²⁾⁽⁴⁾	x 0,60 ⁽³⁾⁽⁴⁾		x 1,2
19	6	Hogares de parrilla de carbón para calderas	2			x 0,1 ⁽²⁾	x 0,26 ⁽³⁾		
20	7	Horno vertical de cemento	2,6				(0,04)	x 0,16	xx 0,26
21	7	Horno vertical de cal	1,2				(0,02)	x 0,07	xx 0,12

- (1) Para instalaciones con corriente de aire y separación previa en ciclones ($\eta = 96\%$)
 (2) En instalaciones grandes, tipo C
 (3) En instalaciones pequeñas, tipo E
 (4) Si la temperatura no excede de 400 °C, en otro caso cámaras colectoras
 (5) Con separación previa en ciclones
 x Tipo a elegir
 xx Si es posible, elegir cámara colectoras

Tabla VI

Datos sobre los separadores para el caso de eliminación óptima

Nº		Velocidad - m/seg desde		Variación de la presión en mm de H ₂ O 20%		Consumo específico total de energía (5 - kwh/1000 m ³ - Tmº. d.. m..h.)			Utiliza- ble hasta - °C	Espaciore querido (4) m ³ /1000 m ³	Costes de instalación más construcción más montaje, sin ventilador, sin motores en - DM/1000 m ³ (6) Enero de 1950, para						
		media hasta		d. m. h.								1000	10.000	30.000	100.000	150.000 m ³ /h	
1	Cámaras colectoras sin elementos empotrados	0,5	0,8	1,0	1,5	0,01	0,015		500	10-12			300	250			
2	Cámaras colectoras con elementos empotrados	1,0	2,0	2	4	0,02	0,04		500	8-10			350	300			
3	Ciclones sencillos	1,5-2,2 ⁽⁸⁾		50	75	100	0,25	0,35	0,50	400	1,0-0,5	500	200	135			
4	Ciclones múltiples	15	18	25	50	75	100	0,25	0,35	0,50	400	6,0-2,0	600	500			
5	Eliminación en cámaras (7)	0,5	0,8	70	100			0,4 - 0,6		400	6 - 8			800	750	700	
6	Ciclones de gran potencia 0,4-1,0 m Ø			40	30	120		0,25	0,50	0,75	400	5,0-2,0			850		
7	Ciclones de gran potencia 0,1-0,4 m Ø			40	80	120		0,25	0,50	0,75	400	4,0-0,5	1000	900	800	600	500
8	Eliminador celular - 0,1 m Ø	1,5-3,5 ⁽¹¹⁾		5	30			0,05 - 0,2		400	0,1			400	350	300	

1
X
1

Tabla VI

(Continuación)

Datos sobre los separadores para el caso de eliminación óptima

No.		Velocidad -			Variación de			Consumo especí-			Utiliza- ble hasta °C	espacio re- querido (4 m ³ /1000 m ³)	Costes de instalación más construcción más								
		m/seg. des- de media has- ta			la presión en mm de H ₂ O 20° d. m. h.			fico total de energía (5 - kwh/1000 m ³ h Im ³ d. m. h.					montaje, sin ventilador, sin motores en - Enero de 1950, para								
												1000	10.000	30.000	100.000	150.000	m ³ /h				
9	Ciclones rotatorios	2,5	3,0	3,5	4	12	20	0,02	0,06	0,10	400	6,0 - 3,5			1200 A	900 a	700 a				
								0,17	0,25	0,35					1000	800	600				
10	Filtros de manga	1 - 2 (9			50	100	150	0,3	0,6	1,1 (2)	100	5,0 - 2,7	2500	1100	1000	800	700				
		10- 20 (10																			
11	Eliminación eléctrica	1,0	2,0	3,0	3	6	(10	0,1	0,2	(0,3)	200-(300)	12 - 8			2500	2000	1600				

- (1) - Con propulsión por rotores
- (2) - Con dispositivo sacudidor
- (3) - Con pérdidas de alta tensión
- (4) - Valores menores para instalaciones de mayor magnitud; se incluyen los apoyos, pero no las conducciones ni los ventiladores
- (5) - η = (ventilador + motor) 50 %

- (6) - Para polvos de granulometría media, para finísimos es superior
- (7) - Con ciclones pequeños empotrados
- (8) - Referida al diámetro máximo del ciclón
- (9) - Referida a la sección de las mangas
- (10) - Referida a la conducción de salida
- (11) - Velocidad de la corriente de salida

Tabla VII

Pérdidas de polvo en una fábrica de cemento de 200,000 Tm. de producción anual

(Valores medios técnicamente alcanzables)

Nº		Gases sin purificar g/m ³	Gases purificados g/m ³	η %	Producción deseada Tm/h	Cantidad de gases y aire m ³ /h	Pérdida de polvo kg/h
1	Secaderos de crudos	20	0,2	99,0	40	70,000	14
2	Molinos de crudos	25	0,25	99,0	40	30,000	7,5
3	Molinos secadores de crudos	25	0,25	99,0	40	72,000	18
4	Secaderos de carbón	15	0,15	99,0	6	10,000	1,5
5	Molinos de carbón	25	0,25	99,0	6	6,000	1,5
6	Molinos separadores de carbón	25	0,25	99,0	6	10,800	2,7
7	Hornos verticales	2,6	0,16	94	25	96,000	1,5
8	Parrilla de sinterización	3,2	0,29	91	25	310,000	90
9	Hornos Lepol	6,5	0,26	94	25	116,000	30
10	Hornos rotatorios normales (vía húmeda)	4,5	1,2	73	25	340,000	396
11	Hornos rotatorios largos con cadenas	10,0	0,4	96	25	172,000	69
12	Hornos rotatorios normales (vía seca) (1)	10,0	2,7	73	25	220,000	595
13	Hornos rotatorios con precalentador (vía húmeda)	14,0	0,6	96	25	200,000	120
14	Hornos rotatorios con precalentador (vía seca)	20	0,8	94	25	200,000	160
15	Hornos rotatorios con inyección de pasta (vía húmeda)	24	1,0	96	25	208,000	208
16	Molinos de cemento	14	0,14	99	25	17,500	2,5
17	Envasadoras	10	0,1	99	25	5,000	0,5
(1) En general, la temperatura es demasiado elevada para los separadores							Media 200

Tabla VIII

Pérdidas prácticas de polvo (fábrica de cemento de 200.000 Tm/año) introduciendo separadores

	Via seca										Via húmeda							
	Parrilla de sinterización		Horno vertical		Horno Le pol		Horno rotatorio normal		Horno rotatorio con precalentador		Horno rotatorio normal		Horno rotatorio con cadenas		Horno rotatorio con precalentador		Horno rotatorio con inyección de pasta	
	g/m ³	kg/h	g/m ³	kg/h	g/m ³	kg/h	g/m ³	kg/h	g/m ³	kg/h	g/m ³	kg/h	g/m ³	kg/h	g/m ³	kg/h	g/m ³	kg/h
Molino de crudos	1,25	92	1,25	92	1,25	92	1,25	92	1,25	92	--	--	--	--	--	--	--	--
Marcha del horno	0,55	170	(1) 0,26 (2,6)	25 (250)	0,65	75	4,1 (10,2)	900 (2260)	2,0	400	1,8	604	1,09	200	1,38	276	2,4	500
Molino de carbón					1,25	15	1,25	17	1,25	15	1,25	25	1,25	17	1,25	17	1,25	18
Molino de cemento	0,7	12	0,7	12	0,7	12	0,7	12	0,7	12	0,7	12	0,7	12	0,7	12	0,7	12
Envasadoras	0,5	3	0,5	3	0,5	3	0,5	3	0,5	3	0,5	3	0,5	3	0,5	3	0,5	3
Media pesada	0,67	277	(1) 0,66 (1,79)	132 (357)	0,92	195	2,83 (7,35)	1024 (2384)	1,71	522	1,55	639	1,18	232	1,01	308	1,70	533
(1) Sin eliminación de polvo																		

III

Tabla IX

Pérdidas prácticas de polvo en g/m^3 y kg/h , obtenidas por instalación de separadores, centrales térmicas de distintos sistemas y capacidades de producción

Fábricas de cemento Sistema y tipo de Horno	Pérdida práctica de polvo g/m^3	Producción de cemento en Tm/año				
		100.000 kg/h	200.000 kg/h	350.000 kg/h	600.000 kg/h	
1 - Vía seca. Horno vertical (con separación de polvo)	0,66	65	130	195	390	
2 - Vía seca Horno Lepol	0,92	97	195	292	584	
3 - Vía húmeda. Horno rotatorio con cadenas	1,18	115	230	345	690	
4 - Vía seca. Cinta de sinterización	0,67	138	277	415	830	
5 - Vía húmeda. Horno rotatorio con precalentador	1,01	154	308	462	924	
6 - Vía seca. Horno vertical (sin separación de polvo)	1,79	180	360	540	1080	
7 - Vía seca. Horno rotatorio con precalentador	1,71	261	522	783	1566	
8 - Vía húmeda. Horno rotatorio con inyección de pasta	1,7	267	533	800	1600	
9 - Vía húmeda. Horno rotatorio normal	1,55	320	640	960	1920	
10 - Vía seca. Horno rotatorio normal	2,83	614	1024	1638	3276	
11 - Vía seca. Horno rotatorio normal (sin separación de polvo, pues la temperatura de los gases es demasiado elevada)	7,35	1192	2384	3576	7152	
Centrales térmicas		Capacidad de producción en Tm de vapor/h				
		10	50	100	200	500
Hogar de parrilla de carbón (parrilla móvil)	2	6	30	60	120	300
Hogar Müller - Krämer	6	18	90	180	360	900
Hogar de polvo de carbón	9	18	90	180	360	900

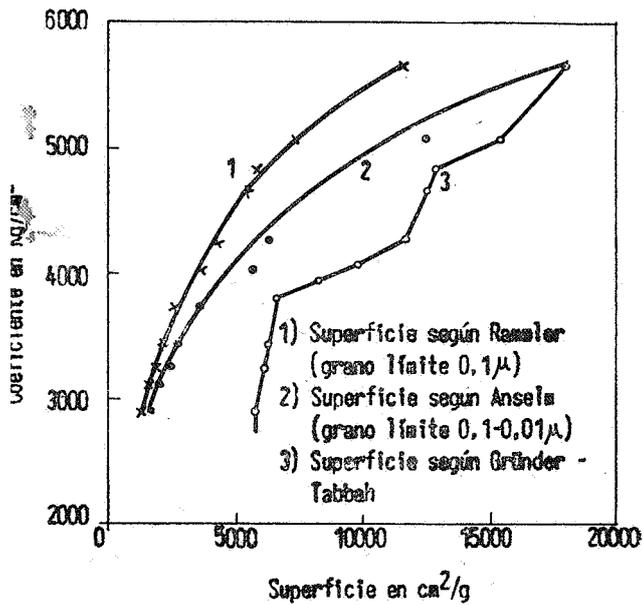


Fig. 1: Coeficiente de valoración de las resistencias en relación con la superficie.

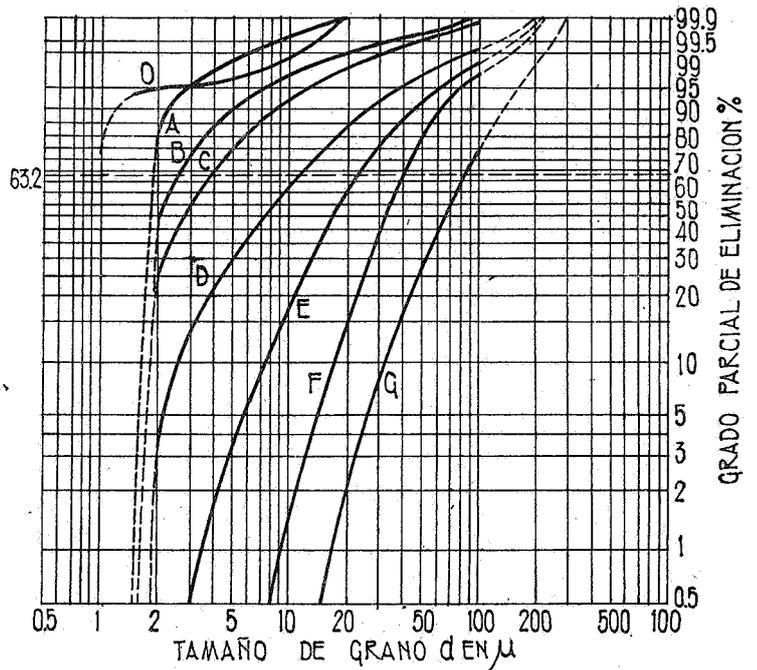


FIG-4: GRADOS PARCIALES ELIMINACION DE POLVO

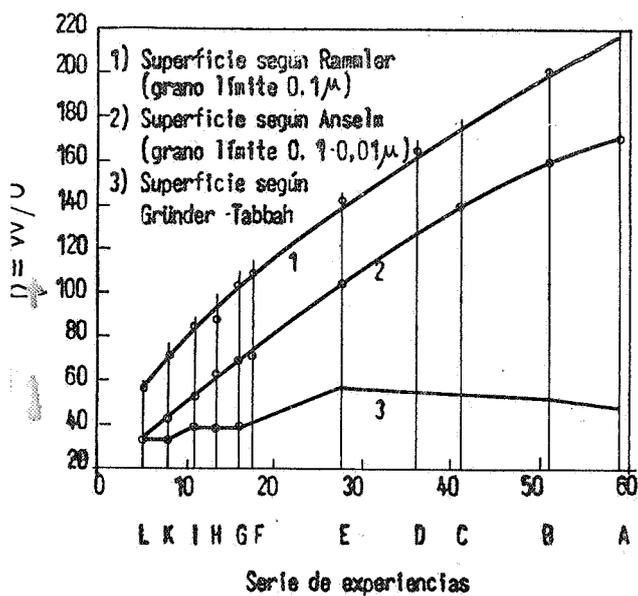


Fig. 2: Rendimiento en relación con la finura de molido

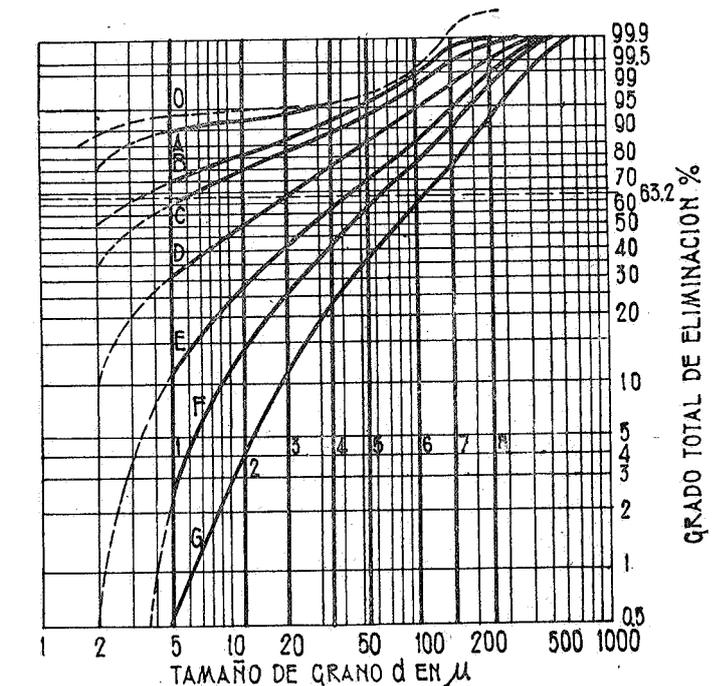


FIG-20: GRADOS TOTALES ELIMINACION DE POLVO

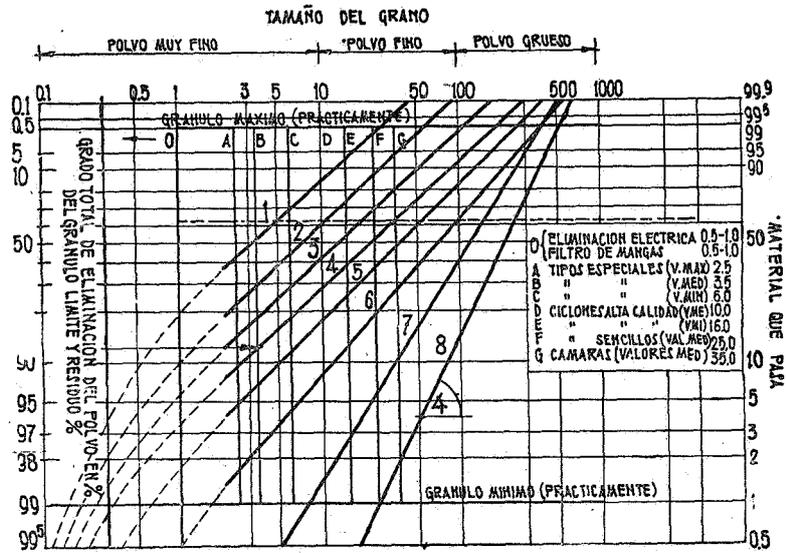
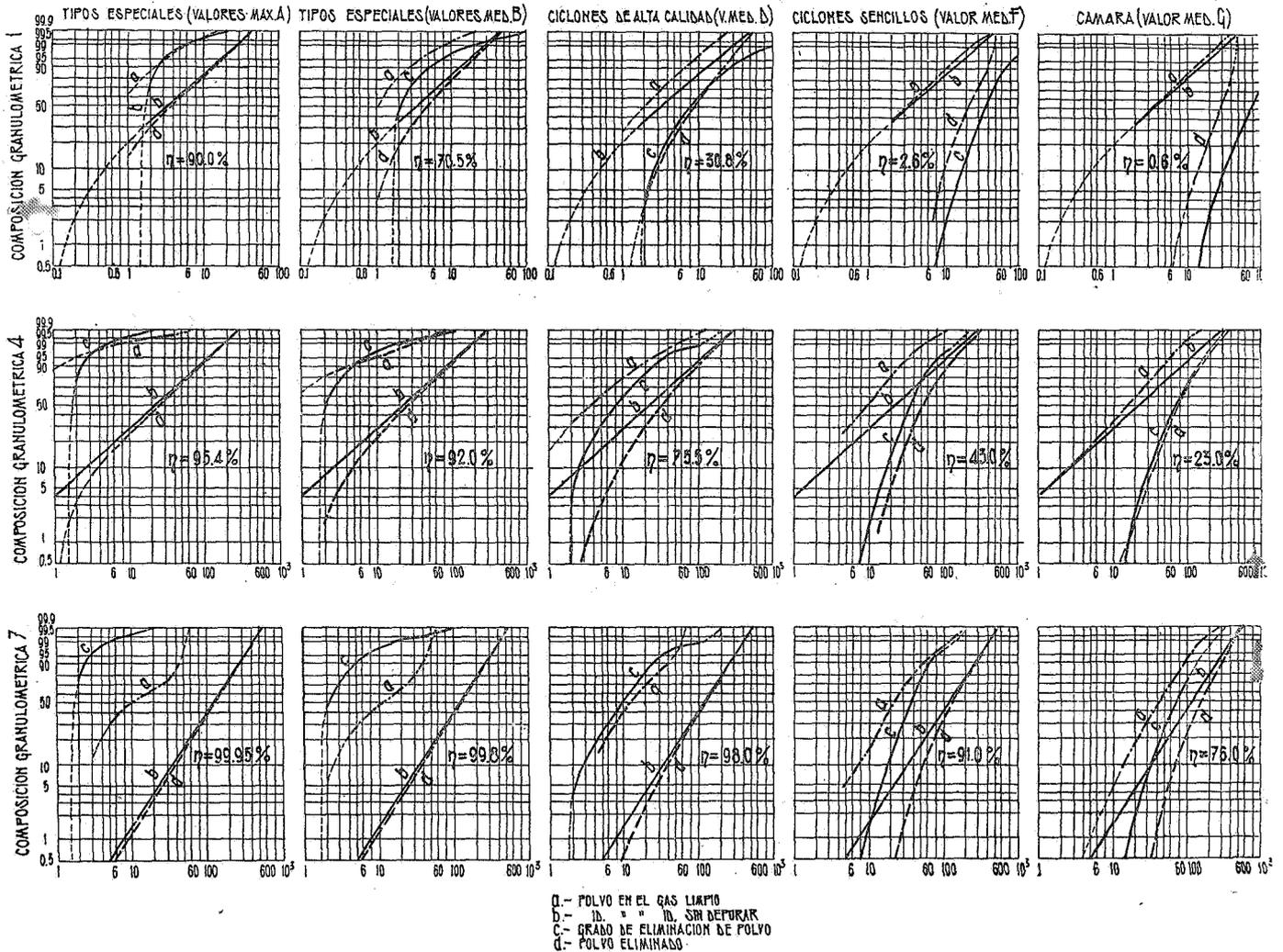


Fig. 3. — Composición granulométrica del polvo de los gases sin purificar.



Figs. 5-19. — Curvas características y grados parciales de eliminación de polvo de los distintos tipos de separadores para polvos finos, medio