

- 3 -

616-1 EL POLVO EN LAS FABRICAS DE CEMENTO. (Conclusión)

(Staub in Zementwerken)

Wilhelm Anselm

De: "ZEMENT", 28, nº 12, pág. 15.

Las cámaras de polvo.

El colector de polvos más antiguo y más empleado, aún hoy en día, es la llamada "cámara de polvos" en la que se depositan las partículas de polvo simplemente por la fuerza de la gravedad. Sus dimensiones referentes a la altura y ancho son un compromiso entre las exigencias de la altura de caída que tiene que ser relativamente baja, y el tiempo de caída que debe ser relativamente largo; exigencias que resultan de las leyes de la gravedad. La eficacia de cada cámara de polvos puede calcularse a partir de sus dimensiones, por la densidad de las partículas de polvo y por la resistencia del gas en cuestión. Siempre existe un límite del tamaño de las partículas, por encima del cual todas las fracciones de polvo son separadas (véase el grabado 1 a). Según la granulometría del grano de polvo que entra en la cámara, puede calcularse cual será el porcentaje de partículas que son separadas por debajo de este límite, y de este modo viene dado el grado total de despolvado, sin tener en cuenta los remolinos o la instalación de paredes de rebote. Los dos ejemplos calculados: 1b para el polvo de calcinador y 1c para el polvo de cemento, demuestran las posibilidades prácticas de la aplicación. También se podría calcular la cantidad y distribución de los granos de polvo separados, lo mismo que las del polvo que queda en el gas limpio. Es corriente presentar la granulometría del polvo por una curva de tamizado con los tamaños del grano como abscisas, y lo que queda o lo que pasa, en porcentajes de la cantidad total de polvo como ordenadas (1). Para cada diámetro de partícula puede leerse en seguida qué parte del polvo total es más grueso, y cual es más fino que dicha dimensión. Más instructiva es la llamada curva de distribución del grano o curva granulométrica (2) que se deriva de la primera curva por medio de una diferenciación gráfica. Indica la proporción de granos de tamaños comprendidos entre dos límites estrechamente fijados, que una mezcla de polvos dada. Se puede usar esta curva en el caso de la cámara de polvos para calcular el polvo separado, y el polvo que queda en el gas limpio, en relación con la cantidad y la granulo-

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

metría por medio de la integración gráfica. Esto se puede hacer de tal manera que se dibuja la curva de distribución del grano del polvo que entra, y luego se calcula el camino de caída de las diferentes fracciones por medio de la longitud de la cámara y de la velocidad en dirección horizontal y vertical (vease la fig. 1a). La relación de este camino de caída a la altura de la cámara de polvo nos da la parte de cada fracción que es separada, es decir, el grado de desempolvado de las fracciones. Estas líneas se dibujan como diferencia de la curva de distribución del grano de polvo en el gas limpio (véase fig. 1b). Empleando la escala de porcentajes de la ordenada de la curva de tamizado se puede dibujar el grado de desempolvado de las fracciones, en forma de curva. Por medio de una integración gráfica puede calcularse entonces el grado parcial de eliminación de polvos - hasta cualquier tamaño de grano y también el grado total de desempolvado de la cámara de polvos.

Los dos ejemplos calculados indican las clases de construcciones que son técnicamente posibles, y muestran grandes diferencias. Es evidente que hay un rendimiento mejor para el polvo grueso de los calcinadores, que para el polvo fino de los molinos de cemento; en nuestro caso 75% contra 25%, (zonas rayadas de las figs. 1b y 1c).

Los ciclones.

La fuerza que actúa en los ciclones es la fuerza centrífuga, tal como ya hemos dicho. También en ellos está en vigor la ley de Stokes y - también una ley parecida de la resistencia, pero sufren una variación por causa del movimiento giratorio, que hay que considerar más hoy en día que antes, en la construcción de los ciclones. En principio consisten todos los ciclones en tambores cilíndricos con un embudo cónico para recoger el polvo. El aire cargado con polvo entra tangencialmente, pasa periféricamente en un remolino alrededor del eje del ciclón y sale del aparato por un tubo que entra axialmente desde abajo o desde arriba. Las partículas pasan rápidamente por la corriente de gas por causa de la fuerza centrífuga, y caen al suelo en una corriente continua cerca de las paredes del aparato, donde se verifica la eliminación. Los ciclones separan fácilmente - sobre todo las partículas más gruesas. Pueden hacerse las mismas consideraciones con estos aspiradores de fuerza centrífuga que con los de las cámaras de polvos. Pero como se han empleado hasta ahora generalmente ciclones de una construcción sencilla y con diámetros grandes, se ha obtenido una recuperación muy pobre, debido a la poca velocidad del gas y a los remolinos irregulares, así como a la poca curvatura y longitud del camino re

corrido por el polvo. Se debe tender a un diámetro de curvatura bajo, un camino corto para el polvo, y largo para la limpieza del gas. El aumento de la velocidad del gas está limitado a 25 m. por segundo, porque por encima de este límite se reduce mucho el rendimiento a consecuencia de la pérdida grande de aspiración. Por esta causa se construyen recientemente multi-ciclones, es decir, varios ciclones conectados paralelamente, que causan un movimiento giratorio más rápido, por medio de turbinas especiales, y que tienen también un diámetro menor. El rendimiento de estas construcciones es bastante más elevado que el de los ciclones sencillos.

Se dice que, recientemente, van Tongern ha construido un ciclón especial, que permitiría separar económicamente incluso el polvo fino por debajo de 15μ . Ha desarrollado diferentes tipos de construcción, por medio de un número considerable de pequeños ciclones y con una conducción especial de corrientes parciales en ciclones secundarios. A corta distancia del fin de la curvatura, en forma de espiral, se separa del casco la zona llena de polvo del gas de salida y la dirige a un ciclón secundario lateral. La masa principal del gas limpio en el ciclón principal pasa por una segunda limpieza. Estos ciclones son suficientes para la mayor parte de los casos, y son baratos en cuanto a construcción y entretenimiento. Se dice que estos ciclones de alta calidad alcanzan la eficacia de los aspiradores eléctricos, pero son bastante sensibles a las variaciones de las calderas; por medio de válvulas de regulación se ha subsanado también esta desventaja.

Un invento nuevo lo representan también los aspiradores Rotex; una instalación de ensayo está trabajando actualmente. Este separador de polvo consiste en varios tambores verticales con dispositivos que giran a gran velocidad alrededor de sus ejes. El gas de salida entra en estos tambores y a causa de la fuerza centrífuga se depositan las partículas de polvo en la pared interior y al desconectar uno de los tambores pasa el polvo automáticamente hacia una salida debido a que la velocidad giratoria es menor. Conocemos, en la práctica, el principio de la acumulación de polvo en las poleas de transmisión. La eficacia de esta instalación se aproxima posiblemente a la de los aspiradores eléctricos, y la instalación de ensayo justifica las esperanzas puestas en ella.

Los filtros de tela (filtros de tubo).

La manera de trabajar de estos filtros es bien conocida. El aire con polvo se aspira por tubos de filtros. La tela es de algodón, que

retiene con seguridad solamente aquellas partículas de polvo que son mayores que sus poros, cuando el filtro está limpio. Las partículas finas de polvo son retenidas en una manera progresiva en la tela de filtro, es decir; cuando tocan casualmente la pared de la tela y entran en contacto por el roce y las fuerzas moleculares. La tela de filtro vá cerrándose poco a poco; los poros disminuyen de tamaño y el grosor de la capa aumenta lentamente. Con eso se aumenta la resistencia y también la eficacia del filtro. Cada filtro tiene varias cámaras, que se limpian alternativamente. Es norma permitir, para los molinos de cemento, secadores de materia prima y molinos de crudo, una carga de 150 m³ por hora y por m² de la superficie del filtro. Tratándose de instalaciones para secar y de molinos de polvo de carbón, las cifras correspondientes son 100 m³. El desgaste anual de las telas de filtro y las reparaciones se elevan a 60,- Marcos aproximadamente para 1000 m³ por hora, y los costes de construcción y montaje se elevan a unos 600,- Marcos y aún más, para 1000 m³/hora.

La precipitación eléctrica de polvos.

El fundamento de la recuperación eléctrica de polvo es también conocido. Se basa en el hecho que las partículas cargadas electricamente, se dirigen en una cierta dirección en un campo eléctrico. Entre placas metálicas delgadas (electrodos de salida), conectadas a una tensión de corriente continua muy alta, con lo que se forma un campo eléctrico. Cuando la tensión es muy alta, los hilos dan chispas y los electrones pasan al gas, que de este modo será ionizado. Las partículas reciben a la vez una carga eléctrica y pasan hacia las placas, con lo que se logra un efecto de limpieza. Prácticamente se separan todas las partículas en el filtro eléctrico, y solamente a causa de un cierto efecto de remolino quedan retenidas algunas partículas muy pequeñas. De todos los sistemas de recuperación de polvos es el eléctrico el más eficaz, especialmente en relación con las partículas más finas, porque se basa en la velocidad igual y continua de las partículas y es prácticamente independiente del tamaño del grano y de la densidad. Puede alcanzarse grados de eficacia de 95-99,5%, con gastos de instalación prácticamente posibles. El aspirador eléctrico se parece exteriormente a una cámara de polvo, que se puede construir en hormigón hasta 100° de temperatura del gas, y para más de 100° en hierro y ladrillos. La pérdida de aspiración es muy pequeña y es igualada a menudo por medio de una fuerza ascensional en superestructuras. Los aspiradores eléctricos deben tenerse en cuenta especialmente en los desempolvados de gases de salida de los hornos, y en los molinos de carbón en polvo.

Todas estas clases de aspiradores solamente pueden ser eficaces, cuando la caperuza de aspiración, que se encuentra por encima de la máquina que produce el polvo, y la tubería intermedia están bien instaladas, especialmente en relación con el aire innecesariamente aspirado. Rige en la práctica la norma de que hay que elegir una velocidad del gas de 0,5 - 2,5 m/seg. para las caperuzas, y unos 5 - 10 m/seg. para la tubería que tiene inclinación. Pero hoy en día se instalan también tuberías en dirección horizontal; entonces hay que aumentar la velocidad del gas en ella, y con 15 - 20 m/seg. se puede evitar que el polvo se deposite en los tubos. También es importante que se instale exhaustores (ventiladores) en el gas limpio, sobre todo a causa del desgaste de las ruedas de paletas y de la caja respectivamente.

Tabla IV

Indicaciones para recuperadores de polvos en fábricas de cemento.

	pérdida de presión mm. w. s.	velocidad del gas m/seg.	velocidad aplicable hasta %C.	consumo de fuerza kw/1000 m ³ /hora.	costes de instalación con montaje Marcos/1000 m ³ /hora.
Camara de polvo	2 - 4	- 1	500	0	3000
" " simple	30 - 70	10 - 22	350	0,2-0,4	50 - 150
" " múltiple	35 - 75	10 - 22	350	0,2-0,5	150 - 400
Rotex, separador	4 - 6	2 - 3	350	0,2-0,4	600 - 900
filtro de tubo	50 - 150	5 - 10	110	0,4-1,0	500 - 800
Precipitador eléctrico	4 - 6	1 - 2	300	0,05-0,2	800-2000

La tabla IV muestra datos de las instalaciones de desempolvado especiales para fábricas de cemento. Comparando los diferentes recuperadores, llama la atención que los ciclones y los filtros de tubos tienen las mayores pérdidas en presión. A la vez tienen naturalmente un consumo mayor de fuerza. Los costes de instalación con la construcción y el montaje son más elevados con aspiradores eléctricos y también con filtros de tubos, prescindiendo de las cámaras de polvo que resultan muy caras. Los más baratos son los ciclones. Para los precipitadores eléctricos se necesita mucho espacio, mientras que los ciclones y los aspiradores eléctricos tienen costes de conservación y de vigilancia muy bajos. Las desventajas de los

filtros de tela son el desgaste de las mangas de filtración y su gran sensibilidad contra el calor, la humedad y el polvo de carbón.

Por lo general hay que decir, referente a los recuperadores, que las más de las veces los compradores y los suministradores instalan dispositivos demasiado grandes. Hemos visto muchos que aspiran demasiado fuertemente, lo que es contraproducente en relación al producto final. Especialmente en los molinos de cemento y en las ensacadoras hemos visto este fenómeno. Como indicación práctica sirve que hay que tener a lo sumo 0,5% de residuos de polvo en el tamiz de 4900 mallas.

La fig. 2 muestra los grados óptimos de eficacia de los recuperadores, pero todavía es muy difícil fijar satisfactoriamente los grados de separación tanto para el comprador como para el suministrador. Por eso indica el grabado 2 solo aproximadamente el estado actual de la cuestión; hay que añadir que los precipitadores eléctricos podrán alcanzar una eficacia mayor, construyéndolos más grandes, y también que los modernos ciclones de van Tongeren y los aspiradores Rotex probablemente pueden alcanzar la eficacia de los aspiradores eléctricos, bajo condiciones favorables. Las explicaciones referentes a los aspiradores, y especialmente el grabado 2, tienen por finalidad combatir un desconocimiento muy generalizado acerca de la eficiencia de los diferentes aspiradores, y sugerir una discusión referente a los éxitos de las instalaciones nuevas, especialmente en fábricas de cemento.

El grado total de separación, es decir, la relación del polvo separado en el recuperador al polvo que entra en el gas bruto, es importante. Los grados de separación parcial indican el grado de eficacia para la parte más gruesa hasta el tamaño de grano o hasta una velocidad de caída que puede determinarse. El grabado 2 representa los grados de despolvado fraccional, es decir, los grados de eficacia para porciones (fracciones) que se encuentran entre dos tamaños de grano estrechamente limitados. Resulta de esto que con la distribución granulométrica que hay en las fábricas de cemento, los precipitadores eléctricos y de filtro de tubo tienen grados de eficacia de 95% hasta más de 99%; los nuevos recuperadores Rotex que todavía están desarrollándose, un 85 - 95%, los ciclones de primera calidad un 70 - 90%, los ciclones múltiples un 50 - 90%, los ciclones sencillos por debajo de 50%, y las cámaras de polvo entre 25 y 75%. En resumen puede decirse, que hoy en día probablemente cada fábrica de cemento tiene 6 recuperadores de filtro, un aspirador eléctrico y dos ciclones, cuyos rendimientos se elevan en todas las fábricas, respecto a la cantidad total que hay que de -

sempolvar, a unos 20.000.000 m³/hora. Los costes de instalación para todas las instalaciones de desempolvado se elevan a 13 millones de Marcos.

La precipitación de polvo en los alrededores de una fábrica de cemento.

Para dar idea referente a las molestias que causa el polvo que sale por las chimeneas de las fábricas de cemento, en los alrededores de la factoría, se ha dibujado la fig. 3. Esta se ha confeccionado a base de una velocidad de aire anual, término medio de 4 m/seg. y a base de las direcciones anuales del viento, refiriéndose todas las demás condiciones al esquema (fig. 4; ver U.A.M. nº 11, pág. 19), de la fábrica tomada como modelo. Según éstas resulta que la mayor parte del polvo lo tenemos en la dirección Noroeste; si trabajáramos sin recuperadores, caerían, en una distancia de 100 m., más de 10 gramos, en 1 km. 0,5 gramos; es decir dentro del terreno de la fábrica más de 500 mg., y en 2 km. de distancia 0,1 gm., y en 10 km. todavía 0,001 gm/m² de superficie de terreno. Además existen las cantidades de polvo que salen del molino de cemento y de la sala de en sacado, que se elevan a 0,1 gm. en 1 km. de distancia, y en 10 km. 0,001 gm. De este modo tendríamos una gran molestia en los alrededores de la fábrica. Después de la instalación de recuperadores se elevan las cifras totales para la sección del horno giratorio y para el molino de cemento y la sala de embalaje en una distancia de 1 km., a 0,70 mg., y en 10 km. de distancia todavía a 0,02 mg. Las cifras correspondientes procedentes de publicaciones americanas e inglesas dan 50 mg/hora por m² para los distritos industriales y para las ciudades mayores; de modo que el precipitado de polvo después de la instalación de recuperadores es mucho más pequeño que en las ciudades y distritos industriales de Inglaterra y América. El porcentaje de polvos después de la instalación de recuperadores no es tan alto como el del polvo en los alrededores de las pequeñas ciudades provinciales (1 mg) El polvo ultrafino por debajo de 10 μ no se sedimentará de ninguna manera con una velocidad normal del viento, sino flotará centenares de kilómetros. Hay que recomendar el aprovechamiento extremo del calor de salida y la construcción de chimeneas altas, porque la flotación del polvo en el gas de salida disminuye cuando lo hace la temperatura. Antes, las fábricas de cemento eran conocidas como fuentes de polvo, y eran proverbiales las molestias en los alrededores. Pero, por medio de estas explicaciones, queremos demostrar que se puede disminuir muy bien a un mínimo el porcentaje de polvo en los alrededores.

A pesar de eso hay hasta hoy en día pleitos entre los propietarios lindantes o ayuntamientos, contra las fábricas de cemento, referente

al polvo de salida y el perjuicio consecuente de la agricultura, etc.

Hay que añadir lo siguiente: Investigaciones detenidas han revelado que no hay un efecto desfavorable de polvo de cemento o del polvo de cal en la fecundación o el desarrollo de las plantas, ni en la respiración de estas. También se ha revelado que los parásitos han disminuido en alto grado y que la cal que está en el polvo ha fertilizado el suelo. Además hay que hacer constar que las fábricas de cemento han intentado todo lo posible para recuperar el polvo que representa un gran valor para ellas, a pesar de la eficacia relativa de los recuperadores. Como se sabe, todavía no está resuelto satisfactoriamente el desempolvado de los hornos con su gran producción de polvo.

La fig. 4 muestra de una manera clara la distancia del vuelo posible de todos los tamaños de granos que existen en las fábricas de cemento. Se indica, por ejemplo, que el polvo con un tamaño del grano de 60μ , será llevado por el viento que tiene una velocidad media de 4 m/seg. y desde una chimenea de 60 m. de altura, a una distancia de 8 Km. dentro de una hora, y una partícula de polvo de 20μ desde la misma altura hasta 70 km. Hay que tener en cuenta que a las alturas de 100 m. existe una velocidad de viento que es 1,5 m/seg. más elevada que la de una chimenea de 50 m.

La salud.

Referente a la nocividad del polvo hay que considerar la pequeñez del grano, la densidad del polvo y la duración de la respiración del mismo. Se puede decir que solamente el polvo con menos de 10μ puede entrar en los alveolos pulmonares, porque los últimos tienen solamente $7-10 \mu$. Especialmente peligrosas son las partículas de polvo con menos de 5μ y particularmente entre ellas las de $2-0,5 \mu$ que no son visibles a simple vista. El polvo que existe en las fábricas de cemento tiene cantos romos y cantos agudos; si el polvo es producido al taladrar en las canteras, consiste en 10% de granos con menos de 10μ ; el de molinos de cemento en 60% de granos con menos de 10μ .

Referente a las enfermedades provocadas por el polvo en los pulmones (silicosis), hay que insistir en que el polvo con ácido silícico libre (por ejemplo, el cuarzo, la arena de río) es especialmente perjudicial. Pero en el cemento no hay ácido silícico libre. El polvo respirado se disuelve en la humedad pulmonar que está llena de ácido carbónico, y es absorbido; la cal que se produce es neutralizada.

En investigaciones alemanas y americanas de gran alcance, con los obreros de las fábricas de cemento, quedó comprobado el carácter inofensivo del polvo de cemento. Por consiguiente es desagradable tener que ver continuamente en las exposiciones para la protección del obrero "el polvo peligroso de cemento". Nuestra investigación más reciente, hace 3 semanas en nuestra propia fábrica, demuestra que entre todos los obreros ni uno solo tiene polvo en el pulmón, ni siquiera vestigios de ello, y ninguno tiene tuberculosis activa o inactiva, delante de la pantalla de Röntgen. El tiempo de servicio de todos los obreros y empleados de nuestra fábrica es:

.. hasta 10 años	50 %
de 10 hasta 20 años	38 %
más de 20 años	12 %

Después de un servicio de 50% de los productores con más de 10 años, deberían aparecer síntomas derivados del polvo de cemento en cualquier forma, si lo hubiera. También, hasta hoy en día, no había ningún fallecimiento por causa de tuberculosis pulmonar en nuestra fábrica. En que grado la respiración de la cal influye curativamente en las enfermedades del pulmón, eso no se sabe todavía; pero hemos encontrado 10% de los obreros y empleados de nuestra empresa, preferentemente hombres jóvenes, que tenían anteriormente enfermedades en los pulmones, que han sido todos curados. Estos 10% nunca estuvieron enfermos por causa de enfermedad de pulmón durante su servicio en nuestra fábrica. Probablemente tiene el polvo de la cal la facultad de acelerar la curación de las enfermedades del pulmón de épocas anteriores.

Para aclarar este hecho hay que mencionar que en diferentes sanatorios tienen que inhalar sales de cal para fines de curación. Tampoco se ha comprobado más enfermedades de los órganos de la respiración con el polvo de cemento; más bien había éstas en la cantera, donde el cambio continuo del tiempo tiene su efecto sobre los órganos respiratorios. A pesar de esto, el porcentaje de las enfermedades de los órganos respiratorios no es mayor que el de la población general. Lo que llama la atención es que, aunque el porcentaje de los casos nuevos en Alemania es 2%, en nuestros obreros no hay ningún caso de tuberculosis activa o inactiva, como ya hemos mencionado. Pero, a pesar de esta comprobación muy favorable, es necesario que las empresas hagan todo lo posible para evitar el peligro de estas enfermedades, tal como en Alemania lo hacen por lo general todas las fábricas de cemento desde hace muchos años.

Resumen.

Por medio de las anteriores explicaciones se pretende aclarar - las opiniones acerca del grado de recuperación de los aspiradores que se poseen actualmente, acerca del polvo que existe en las fábricas de cemento y su inofensividad. Cuando se toma como base la granulometría del polvo, entonces las tablas dadas sirven como puntos de partida para los cálculos. Al fijar valores exactos para construcciones nuevas surgen todavía hoy en día muchas dificultades; las experiencias y los resultados de las investigaciones que se han mencionado anteriormente, pueden facilitar indicaciones más exactas.

Uno de los objetos principales de las fábricas de cemento, es reducir la molestia o el daño que puede causar el polvo en los alrededores - lo más posible. Y especialmente las fábricas de cemento se han ocupado - particularmente, del desempolvado de sus máquinas de producción y sus instalaciones de transporte, lo que demuestra el hecho que han invertido mucho dinero en las instalaciones de recuperadores de polvos. Pero como hay continuamente quejas de los propietarios lindantes, habrá de hacerse mucho más, especialmente por los fabricantes de recuperadores, para perfeccionar los diferentes tipos de aspiradores. A causa de la poca seguridad que hoy existe todavía referente al diseño y al grado de desempolvado, es demasiado pronto para redactar regulaciones legales acerca del contenido permitido de polvo en los gases de salida, tal como lo hicieron en Francia desde 1932. En este país no se puede dejar salir un gas con un polvo de más de 1,5 gramos por m³, o 300 mg/hora.

Especialmente quiero llamar de nuevo la atención sobre la salud, muy satisfactoria, de los obreros y empleados de la fábrica estudiada. Observando estrictamente todos los problemas del polvo en dicha fábrica, se ha logrado que cada sección corresponde a las exigencias de trabajo, con lo que se han creado las condiciones indispensables para el aumento de la producción.