

CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

A la hora de pensar el control de las emisiones tenemos que partir por analizar qué podemos hacer para mejorar las condiciones en el punto de generación de modo de reducir la cantidad de emisiones generadas. Esto tiene que ver con la tecnología utilizada, las condiciones de uso, etc. Luego debemos asegurarnos de captar todas esas emisiones, que no haya escapes no controlados. Seguirá una etapa de enfriamiento, motivada por la necesidad de recuperar energía, pero también por las necesidades del tratamiento posterior y el evitar lanzar una masa de aire excesivamente caliente a la atmósfera (el enfriamiento también tiene sus limitaciones, técnico-económicas y en función de mantener una temperatura de humos que minimice la formación de dioxinas y furanos).

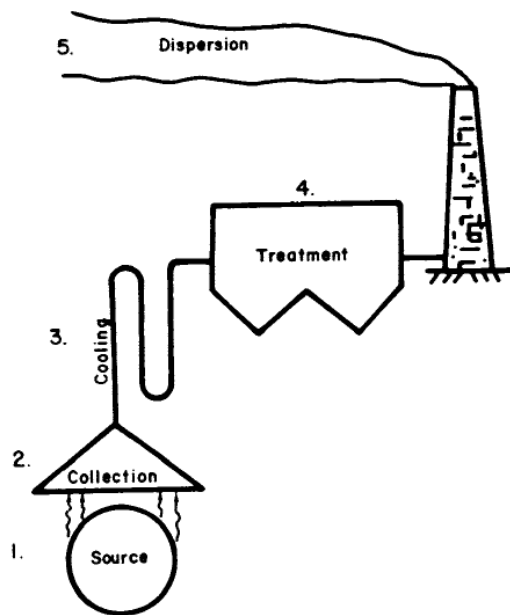
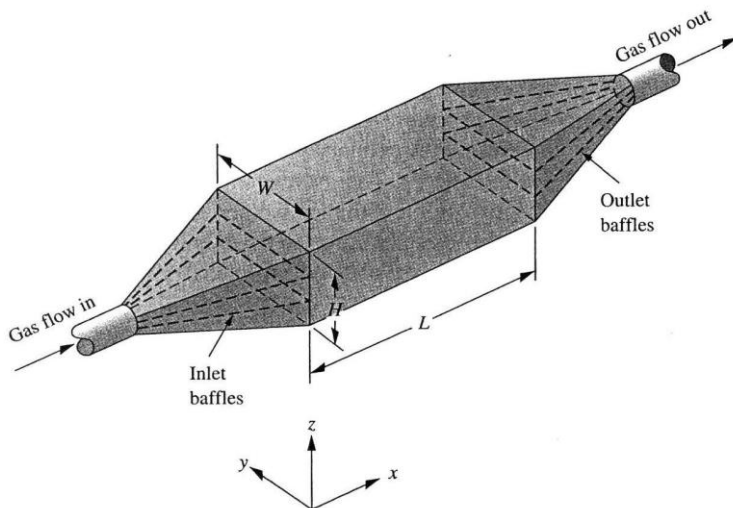


FIGURE 21-1. Points of possible air pollution control

En la etapa de tratamiento (antes de la liberación definitiva de los humos a través de la chimenea) se abre una serie de posibilidades tecnológicas, cuya selección dependerá del tamaño de las instalaciones, las características de los contaminantes, la normativa vigente, etc.).

Focalizando en el control de partículas primarias, el concepto más sencillo que podemos utilizar es el de sedimentación por gravedad. Se trataría de un equipo en cuyo tránsito la partícula tiene el tiempo de residencia suficiente como para sedimentar y separarse de la corriente gaseosa.

Consideremos el siguiente esquema sencillo:



La velocidad promedio en la cámara de sedimentación es

$$V_{\text{avg}} = \frac{Q}{WH}$$

por lo que el tiempo que pasa una partícula en esa cámara es

$$t = \frac{L}{V_{\text{avg}}}$$

La distancia vertical utilizable para sedimentar sería a lo sumo

$$\text{Vertical settling distance} = tV_t = V_t \frac{L}{V_{\text{avg}}}$$

La eficiencia de captura depende del modelo de flujo que exista en la cámara de sedimentación. Para un modelo de tipo pistón, también denominado "block flow" la fracción capturada será directamente la relación entre la distancia vertical de sedimentación y la altura H de la cámara

$$\text{Fraction captured} = \eta = \frac{LV_t}{HV_{\text{avg}}} \quad \text{for block flow}$$

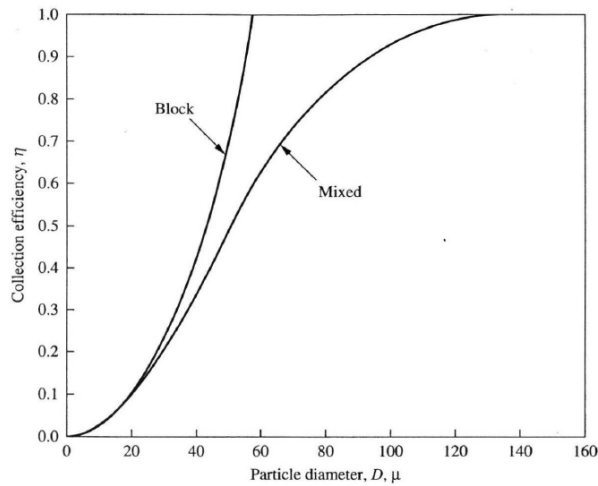
Sustituyendo la expresión de Velocidad de sedimentación que se deduce de la Ley de Stokes

$$\eta = \frac{LgD^2\rho_{\text{part}}}{HV_{\text{avg}}18\mu} \quad \text{for block flow}$$

En el otro extremo, en condiciones de mezcla completa se llega a la siguiente expresión

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{LgD^2\rho_{\text{part}}}{HV_{\text{avg}}18\mu}\right) \quad \text{mixed flow}$$

Podría pensarse que estas expresiones son muy diferentes y que en realidad no conocemos exactamente el modelo de flujo. En realidad, la diferencia se magnifica solo para partículas grandes (por encima de las 50 micras), para las que el modelo tubular llega a predecir un 100% de eficiencia lo cual puede no ser una buena aproximación a la realidad:



Si bien nos sirven como modelo conceptual, en la realidad se han buscado mejorar el efecto de la fuerza de gravedad como clave para la sedimentación sustituyéndola por la fuerza centrífuga en equipos denominados ciclones.

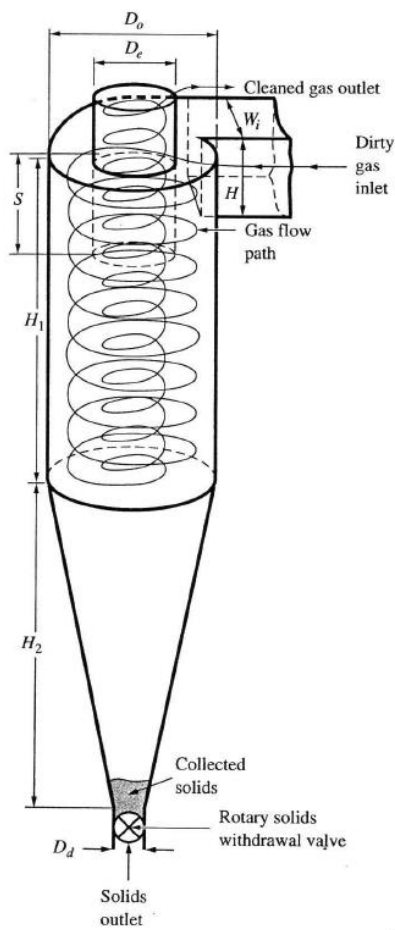


FIGURE 9.4
Schematic of a cyclone separator. Dimensions are typically based on the overall diameter D_o . Taken as ratios to that dimension, $W_i = 0.25$, $H = 0.5$, $H_1 = 2$, $H_2 = 2$, $D_e = 0.5$, $S = 0.625$, $D_d = 0.25$. For example, if $D_o = 1$ ft, then $W_i = 0.25$ ft, etc. Ashbee and Davis [2] show a table with six sets of values for these dimension ratios. The principal differences are that high-efficiency cyclones have smaller values of W_i whereas high-throughput cyclones have larger values of W_i and of D_e . The dimension ratios here are for the "conventional" design.

En un ciclón, el gas a tratar ingresa por la parte superior y es obligado a realizar una trayectoria en espirales descendentes en las que las partículas tienden a sedimentar contra la parte externa. Luego el aire depurado asciende por la parte central hasta la salida y los sólidos se deslizan hacia el fondo tronco-cónico, donde pueden descargarse continua o intermitentemente.

En este caso, en la ley de Stokes en lugar de la fuerza de la gravedad debe usarse la “fuerza centrífuga”

$$\text{Centrifugal force} = \frac{mV_c^2}{r} = m\omega^2 r$$

Y por lo tanto la velocidad terminal de las partículas será

$$V_t = \frac{V_c^2 D^2 \rho_{\text{part}}}{18\mu r}$$

Nuevamente debemos considerar ahora el modelo de flujo, los dos extremos nos dan

$$\eta = \frac{\pi N V_c D^2 \rho_{\text{part}}}{9W_i \mu} \quad \text{block flow}$$

and

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\pi N V_c D^2 \rho_{\text{part}}}{9W_i \mu}\right) \quad \text{mixed flow}$$

Donde antes aparecía L ahora aparece $N\pi D_o$, siendo N el número de vueltas de la espiral, que en general está en el entorno de $N = 5$.

Introducimos ahora el concepto de diámetro de corte. Supongamos que tenemos un artefacto similar a un colador de cocina con agujeros de determinado diámetro. Partículas con un diámetro (o dimensión) menor al del agujero pasarán, y las que tengan diámetro mayor serán retenidas. O sea, tendría una eficiencia de retención del 100% para partículas grandes y de 0% para partículas pequeñas. En los equipos de retención de partículas atmosféricas se reconoce que la situación no es tan terminante y por eso es que se define el diámetro de corte como el correspondiente a una eficiencia del 50%. Entonces

$$D_{\text{cut}} = \left(\frac{9W_i \mu}{2\pi N V_c \rho_{\text{part}}}\right)^{1/2} \quad \text{block flow}$$

(Si bien la situación de mezcla puede ser más representativa, se suele usar esta otra por ser más sencilla y dar una buena aproximación).

En general los ciclones son la opción industrial elegida para corrientes que tienen pocas partículas menores a $5 \mu\text{m}$, como arena, pequeñas astillas o granos, etc, ya que tiene un costo relativamente bajo y es de fácil mantenimiento. No funcionan muy bien para partículas que puedan pegotarse o gotas.

De la ecuación que define el diámetro de corte vemos que como la viscosidad del aire y la densidad de las partículas no se pueden cambiar, para bajar el diámetro de corte tendríamos

que o bien bajar el W_i , lo cual implica tratar menos caudal o bien aumentar V_c , lo cual es caro porque implica equipos de bombeo. Como el flujo volumétrico es proporcional al cuadrado de W_i entonces bajar W_i implica trabajar con tamaños pequeños de ciclón, lo que puede servir en algún caso especial, pero en general no se adapta a las necesidades del tratamiento industrial. Una alternativa es conformar una serie de varios ciclones pequeños en paralelo o multiciclón.

Si bien la ecuación del diámetro de corte es aceptable en términos prácticos probablemente la ecuación que la origina no lo es tanto (el flujo no sería de tipo tubular sino que tendría mezcla) y estaría entre las siguientes

$$\eta = \frac{\pi N V_c D^2 \rho_{\text{part}}}{9 W_i \mu} \quad \text{block flow} \quad (9.18, \text{ libro de De Nevers})$$

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\pi N V_c D^2 \rho_{\text{part}}}{9 W_i \mu}\right) \quad \text{mixed flow} \quad (9.19)$$

y se ha desarrollado la siguiente ecuación empírica

$$\eta = \frac{(D/D_{\text{cut}})^2}{1 + (D/D_{\text{cut}})^2} \quad (9.21)$$

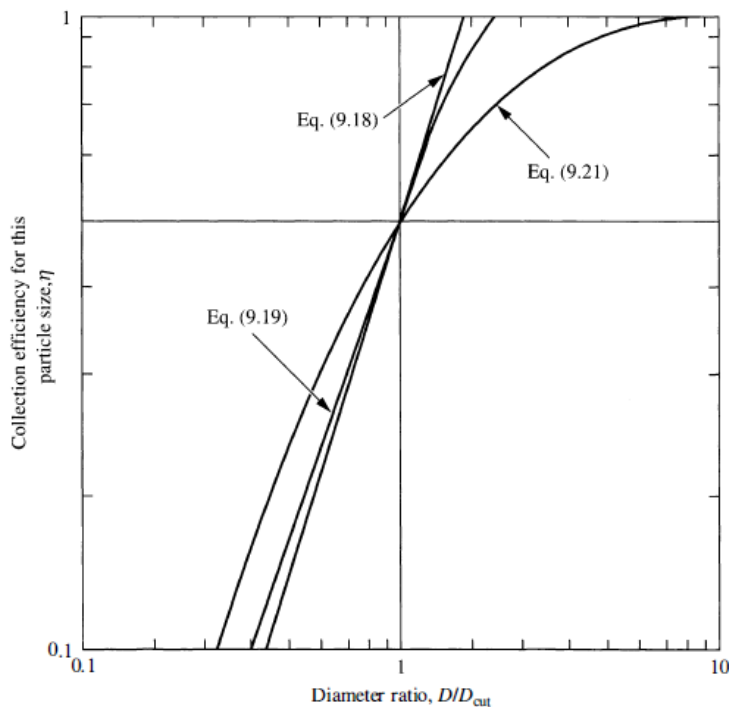


FIGURE 9.6
Collection efficiency vs. particle diameter curves for cyclones. Here, all three curves must pass through 0.5 at $D = D_{\text{cut}}$ because of the definition of D_{cut} . Equation (9.21) is very close to the experimental results for typical cyclones.

Otro tipo de alternativa para retener partículas o moléculas gaseosas es la de los denominados lavadores de gases o wet scrubbers, que básicamente consiste en rociar con una lluvia de gotitas de agua (en general) el gas, para que las gotitas puedan atrapar las partículas o

moléculas. Hay diferentes tipos, algunos son de tipo Venturi y eventualmente van acoplados con algún sistema de tipo ciclón para separar el agua (sucia) del gas (limpio). Otros generan movimientos en espiral del gas mientras son rociados por el agua desde los costados. Otros trabajan con platos inundados por los que se hace atravesar el gas. En todos los casos hay que tener en cuenta que se transfiere la contaminación del medio gaseoso al líquido, por lo que eventualmente puede ser necesario un tratamiento para ese líquido contaminado.