

CONSIDERACIONES TECNICAS

El lavador ciclónico de rocío tiene una entrada rectangular y las velocidades de funcionamiento se encuentran entre los 15 y 60 m/s, el líquido se rocía radialmente hacia fuera utilizando boquillas en una tubería vertical.

Los lavadores ciclónicos de rocío industrialmente están sobre volúmenes de gas de 14 a 50 m³/s. Las condiciones corrosivas están casi siempre presentes cuando se lava con agua; se pueden evitar utilizando materiales inertes para su construcción, tales como: material alcalino, ladrillo ácido, acero inoxidable, baldosas, gres, etc. Para las boquillas, materiales resistentes a la corrosión.

Entre los datos comúnmente utilizados por los diseñadores se pueden considerar los siguientes:

- La velocidad de ascenso del gas a través de la torre puede ser del orden de 1 a 1,5 m/s.

- El agua puede ser rociada a favor o en contra de la corriente de aire o en ambas direcciones por diferentes juegos de boquillas eliminadoras. Los requerimientos de agua para los rociadores son del rango 1,5 a 5,5 litros por cada 28 m³ de gas.

- La aceleración centrífuga se considera de 50 a 300 veces mayor que la gravitacional.

- Las velocidades superficiales de la torre son generalmente estipuladas en el rango de 1,2 a 2,5 m/s.

- La caída de presión en el lavador se establece entre 5,0 y 25,4 cm de agua.

- Los requerimientos de potencia son de 1 a 3 HP por cada 28 m³/s

- El tamaño óptimo de gota para los lavadores, es de 40 a 200 veces el diámetro de la partícula.

- El tamaño de la partícula para el cual el lavador trabaja eficientemente es considerado superior a 2 micras. La partícula de polvo de carbón se encuentra entre 1 a 100 micras.

- La eficiencia de recolección para este tipo de lavadores es directamente proporcional al número de veces de barrido de gas y está comprendida entre el 95 y el 99%

- Los lavadores ciclónicos se construyen especialmente para cada trabajo de limpieza.

PARAMETROS DE DISEÑO

Densidad del aire: $\rho_a = 1.20 \text{ kg/m}^3$

Densidad del carbón: $\rho_c = 1200 \text{ kg/m}^3$

Presión a la salida del ciclón: $P_a = 24.1 \text{ cm agua}$

Velocidad de transporte: $V_v = 0,35 \text{ m/s}$

Las velocidades de transporte, son aquellas que deben tener las partículas en la corriente del flujo de aire para que no se decanten, y deben ser lo suficientemente bajas para minimizar la fricción, pero lo suficientemente altas para evitar el asentamiento de los sólidos suspendidos.

Velocidad de Emanación: $V_e = 40,72 \text{ m/s}$

La velocidad de emanación, es la velocidad de salida de la mezcla de polvo de carbón y aire, del ciclón. De ésta velocidad se parte para los cálculos en el diseño del proyecto. Se debe tener en cuenta que la presión de velocidad a la salida del ciclón, es mayor que la velocidad de transporte horizontal (0,85m/s) lo cual garantiza la no sedimentación.

Flujo a través del sistema: $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

Colocando una tubería de 228 mm (9 pulgadas) a la salida del ciclón y conectada al lavador.

Velocidad de Captación: $V_{cp} = 0,0036\text{m/s}$.

Debe cumplirse que: $V_e > V_{cp}$
 Por seguridad: $V_{cp} = 0,0072\text{m/s}$

Velocidad captación, es la velocidad mínima necesaria que se le imprime al aire para mover la partícula.

DISEÑO DEL CONDUCTO O BAJANTE

Se debe considerar que la velocidad del aire no sea menor de una mínima denominada velocidad de transporte y que las pérdidas por fricción sean mínimas. Se toman longitudes equivalentes para las pérdidas por los accesorios.

Con una longitud del conducto de 19,3 m y tres codos de $R/D = 2,5$ (Figura 2), las pérdidas producidas serán de:

$h_{ad} = 22,39 \text{ cm Agua}$ Para el tramo AD.

$h_{de} = 3,1413 \text{ cm Agua}$ Para el tramo DE

Se utilizó una lámina negra (acero al carbono) por su facilidad de soldabilidad en las costuras de diámetro de 228 mm.

Para soportar el conducto se utilizó una estructura parecida al soporte del carbo ducto con hierros en ángulo y travesaños.

PRESION A LA ENTRADA DEL LAVADOR

La presión a la entrada del lavador ciclónico se determina mediante la ecuación de la energía, desde el punto A hasta el Punto E. Figura 2.

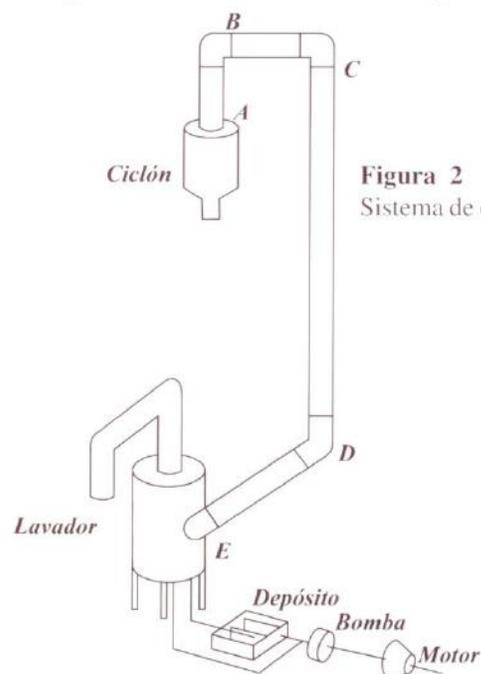


Figura 2
Sistema de captación

Conociendo las velocidades, la presión a la salida del ciclón, las pérdidas y las diferencias de alturas, se tiene la caída de presión en el sistema de captación, como:

$$PA-PE = 0,0267 \text{ m Agua}$$

$$\text{Luego : } PE = 21,56 \text{ cm Agua}$$

DISEÑO DE LA CAMARA CICLONICA

Consiste en la determinación de sus dimensiones: Diámetro, altura, área de la entrada tangencial, etc., logrando de manera eficiente el movimiento ciclónico dentro de la cámara, de tal forma que se tengan en cuenta parámetros de diseño en función de la velocidad de entrada. (Figura 1)

Diámetro de la cámara:

$$D = 4 * 19.4 \text{ cm} = 77,60 \text{ cm}$$

Altura de entrada a la cámara:

$$h = B = 19,4 \text{ cm}$$

Altura de la cámara:

$$H = 2 * D = 2 * 77,60 \text{ cm} = 155,20 \text{ cm}$$

Diámetro salida del lavador:

$$d = 0,5 * D = 0,5 * 77,60 = 38.8 \text{ cm}$$

B = ancho de la entrada a la cámara, que para este caso es igual a h. Para el calculo de B se tiene en cuenta la siguiente formula:

$$B = \frac{2 * \pi * N * D_p * \rho_p * V_p}{18 * \mu * E}$$

Obtenida de. $E = S/B$

Eficiencia del lavador = E

Distancia de la partícula a la pared de la cámara ciclónica = S

N = 2.0 ciclos

$D_p = 10^{-3} \text{ cm}$

$\rho_p = 1.2 \text{ g/cm}^3$

$V_p = 4065 \text{ cm/s}$

$\mu = 1,81 * 10^{-4} \text{ g/cm-s}$

E = 0,97

El material de la cámara será de lámina negra con revestimiento de material anticorrosivo, con un peso de 28.36 kg

La cámara del lavador estará soportada por hierro de ángulo con los travesaños para darle la rigidez necesaria.

Todos estos valores que aparecen tienen sus soportes científicos y cálculos ceñidos a las recomendaciones de fabricantes.

SISTEMA HIDRAULICO

El sistema consiste en el diseño del múltiple de aspersión, el cual se encarga de formar una cortina de rocío dentro del lavador ciclónico. El múltiple de aspersión (Figura 1), consiste en una tubería vertical, la cual contiene un determinado número de orificios (boquillas), dispuestos verticalmente en varias hileras.

Para la asignación del número de hileras y la separación entre boquillas, se tiene en cuenta parámetros, como la longitud del múltiple y la formación efectiva de la cortina de agua por la cual el sistema debe realizar, para una efectiva captación de las partículas que pasan a través de ella.

BOQUILLA

Para determinar el diámetro de la boquilla se tiene en cuenta el tamaño de la gota que saldrá por ella. Se toma el diámetro de la gota 200 veces el diámetro de la partícula, luego:

$$D_G = 200 * D_p$$

$$D_G = 200 * 10^{-3} \text{ cm} = 0,2 \text{ cm} = 2 \text{ mm}$$

El diámetro de la boquilla debe ser menor al diámetro de la gota, luego: $D_B = 1,8 \text{ mm}$.

En cuanto al número de hileras y la distancia entre orificios, determinó un número de seis hileras y 15 mm de distancia entre ellas, para un total de 40 boquillas por hileras, entonces se tendrá un total de 240 boquillas en el múltiple de aspersión.

VELOCIDAD DE DESCARGA

Es la velocidad con la cual la gota sale por la boquilla. Considerando una trayectoria parabólica, se tendrá:

$$R = V_D * \text{Sen}(2\theta)$$

R: alcance máximo de la gota,
Radio de la cámara. m.

V_D : Velocidad de descarga. m/s

θ : Angulo formado entre la horizontal y la trayectoria de la gota a la descarga, grados

g: Aceleración de la gravedad, m/s^2

Luego: $VD = 5,52 \text{ m/s}$

Tomando un factor de seguridad de 1,5 para asegurar que la gota llegue al extremo

$$VD = 8,28 \text{ m/s}$$

CAUDAL

El flujo a través de las boquillas será:

$$Q = 19.636 * C * d_1^2 * \sqrt{h_L} = 0,339 \text{ gpm} = 1,28 \text{ l/m}$$

C: coeficiente de descarga = 0,61

d_1 : diámetro de la boquilla, = 0,0708 inc

h_L : pérdidas en la boquilla, = 31,954 ft

La fórmula anterior se tomo para una relación de: $d_1/d_2 < 0,3$ con $d_2 = 1,5 \text{ inc}$

El caudal total será de:

$$Q_T = 240 * Q = 240 * 1,28 = 307,54 \text{ l/m}$$

CABEZA DE LA BOMBA

La cabeza de la bomba se determina sumando las pérdidas de carga en el sistema y la altura a la cual se encuentra la boquilla más lejana de la bomba, luego:

Las pérdidas de carga serán: pérdidas en tubería más pérdidas en accesorios más pérdidas en boquilla:

Pérdidas en tubería: = 1,41 m. Acero comercial cédula 40, diámetro nominal = 1,5 pulgadas.

Pérdidas en accesorios: = 4,53 m. Un codo, una válvula de compuerta, una de cheque.

Pérdida en boquilla: = 9,74 m

Luego la cabeza será de: $H = 18,00 \text{ m}$ agua para una altura de: = 2,40 m

SELECCION DE LA BOMBA

Tomando una velocidad comercial de la bomba de 1750 rpm y con los datos calculados anteriormente, se escogió la siguiente bomba:

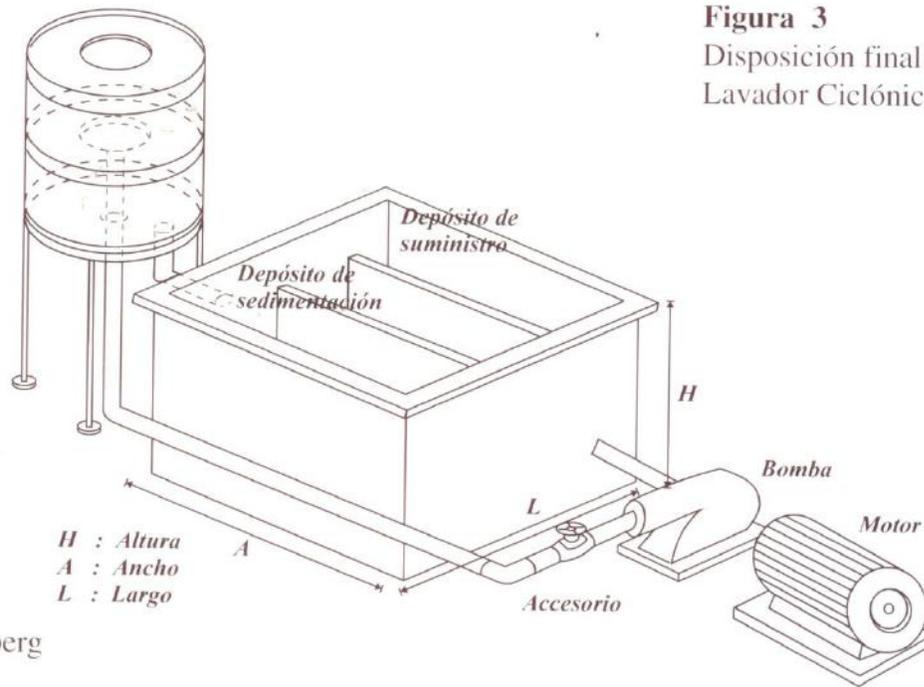


Figura 3

Disposición final del Lavador Ciclónico de Rocio

Marca: Halberg
 Tipo: Nowa
 Modelo: 4020
 Diámetro del rodete: = 8,42 in (213 mm)
 Caudal: 83 gpm. (3141/m)
 Cabeza: 62,50 ft (19m)
 RPM: 1750
 BHP: 2,4
 Eficiencia: 54%

TANQUE DE SEDIMENTACION

Considerando la velocidad de sedimentación, como el 70% de la velocidad de transporte y que para el aire será de:

$$V_t = 0,0036 \text{ m/s}$$

La velocidad de sedimentación será de:

$$V_s = 0,00252 \text{ m/s}$$

Se determina el tiempo de caída de la partícula, para un metro de altura del tanque,

$$T = 6,61 \text{ min}$$



Figura 4. Carboducto

Luego el volumen del tanque será:

$$\text{Vol} = Q_t = 2,199 \text{ m}^3$$

Para este volumen las dimensiones del tanque serán:

$$\text{Altura} = 1,0 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1,46 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 1,50$$

Se colocan: un drenaje en el fondo del tanque para retirar los lodos de carbón, y una toma para la bomba con filtro, 10 cm más arriba del fondo del tanque. La disposición final se aprecia en la Figura 3.

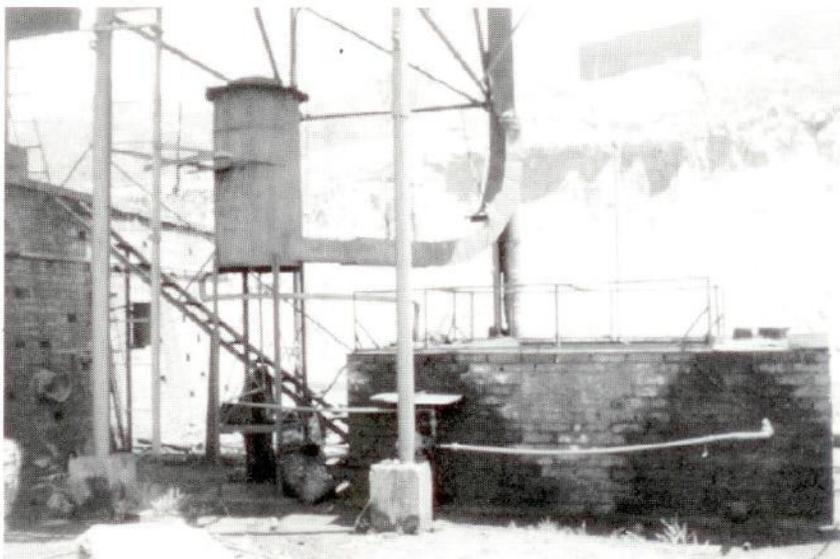


Figura 5. Lavador Ciclónico

RESULTADOS

En la Foto 1, se aprecia parte del tubo del carboducto que sube el carbón granulado hasta el ciclón y a su lado el tubo bajante que va a terminar el lavador ciclónico del rocío y su tanque de sedimentación.

En la Foto 2, se puede apreciar el lavador ciclónico de rocío, con el tubo de entrada que viene del ciclón, y el tanque para sedimentar el impalpable de carbón.

No se aprecian, a la salida del rociador ciclónico, los impalpables de carbón.

El agua de circulación esta completamente limpia de impalpables de carbón.

Se recogen aproximadamente 1,5 kg por tonelada de carbón.

La función para la cual se construyó el lavador ciclónico de rocío se cumplió a cabalidad, cual es la de evitar la contaminación ambiental por impalpables de carbón.

BIBLIOGRAFIA

FALOP, F. Transporte neumático de materiales pulverizados. Labor, 1991. 403 p.

CRANE . Flujo de fluidos. Mac Graw Hill., 1987. 312 p.

SHIGLEY, Joseph E. Diseño en Ingeniería mecánica. Mac Graw Hill. 1983. 504 p.

LARA , César y DIAZ, Pedro P. Cálculo y diseño de un lavador ciclónico de rocío. Colombia UFPS. 1996.