

Introducción

Un sistema de ventilación por extracción localizada, abreviadamente VEL, es un conjunto de elementos dispuestos convenientemente, con la finalidad de captar en su mismo punto de generación o emisión, los contaminantes químicos presentes en una actividad laboral.

La captación puntual de los contaminantes tiene por objetivo impedir la incorporación de los mismos al medio ambiente laboral, evitando de esta manera su inhalación por los trabajadores que realizan sus tareas en las inmediaciones de los focos de emisión.

Es uno de los primeros métodos a tener en cuenta cuando se trata de implantar un sistema para el control de agentes químicos, cuando estos no han podido sustituirse por otros de baja o nula nocividad o evitar su existencia.

Tipos de VEL

Una clasificación práctica y habitual de los sistemas de ventilación por extracción localizada es la que se refiere a su complejidad estructural. Así los clasificamos en:

- Sistemas de VEL sencillos o simples.
- Sistemas de VEL ramificados o compuestos.

La ilustración a pie de texto muestra gráficamente la diferencia entre cada uno de sistemas.



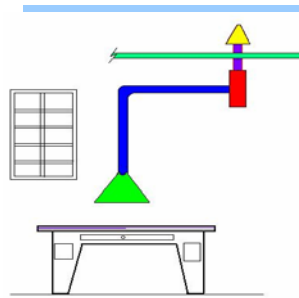
Elementos de un sistema de VEL sencillo o simple.

Un sistema de VEL sencillo consta de los siguientes elementos indispensables:

- *Elemento de captación*: campana, cajón o cualquier otro elemento dispuesto para la captación del contaminante.
- *Elemento de conducción*: tubería sea cual sea la sección transversal de la misma.
- *Elemento de aspiración*: ventilador, generalmente centrífugo por su facilidad para vencer elevadas pérdidas de carga.

En algunos sistemas es necesario instalar también los siguientes elementos:

- *Filtro de depuración*: unas veces instalados por la propia eficacia del circuito y otras por imperativo legal.
- *Chimenea de salida*: como sistema de protección.
- *Válvulas y compuertas de regulación*: para sistemas con regulación de caudal mediante estos elementos.



Diseño de un sistema de VEL sencillo

Diseñar un sistema de VEL sencillo implica fundamentalmente determinar las dimensiones de los elementos que lo constituyen y las características del ventilador a instalar.

El diseño de un sistema de VEL sencillo requiere la siguiente secuencia operativa ejecutada en el orden que se indica:

- 1º.- Considerar las características de los contaminantes, bien sean gases, vapores o aerosoles más o menos pesados.
- 2º.- Obtener las dimensiones del foco origen de la generación o emisión del contaminante.
- 3º.- Estimar la posibilidad de corrientes de aire.
- 4º.- Observar las necesidades de espacio del trabajador.
- 5º.- Determinar el tipo de elemento de captación y las dimensiones del mismo. El sistema ideal sería aquel que encierra el foco de emisión de forma total, pero esto no siempre es posible porque el operario necesita un espacio mínimo para realizar su trabajo.
- 6º.- Deducir, mediante tablas disponibles al efecto, la velocidad de captura del contaminante.
- 7º.- A partir de la velocidad de captura, de la geometría del elemento de captación y de su distancia al foco de emisión, determinar el caudal de aspiración. Este caudal es el que ha de proporcionar el ventilador de la instalación.
- 8º.- Establecer si la velocidad del aire en los conductos ha de estar necesariamente por encima de un valor determinado. Si es así, esa será la velocidad mínima del aire en los conductos.
- 9º.- Conocidos el caudal y la velocidad, determinamos las dimensiones de los conductos y de los accesorios.
- 10º.- Determinar la suma de las pérdidas de carga que se producen en todos los elementos del sistema. Esta será, generalmente si no hay variaciones de sección, la pérdida de carga total que ha de vencer el ventilador.
- 11º.- Calcular la ecuación de funcionamiento del sistema.
- 12º.- Seleccionar un ventilador cuya curva de funcionamiento sea congruente con la ecuación de funcionamiento del sistema con un rendimiento óptimo.

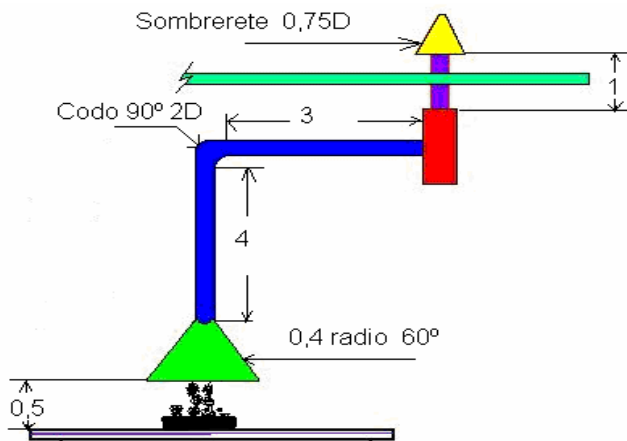
Es necesario indicar, que cuando se trata de diseñar un sistema de extracción sencillo para una máquina o equipo donde el fabricante ya ha dispuesto el lugar donde conectar la tubería y además facilita el caudal mínimo de aspiración necesario, la secuencia de diseño puede comenzar en el punto 8º y finalizar en el punto 12º.

Acabada la secuencia de diseño habremos determinado:

- Las dimensiones de los conductos y accesorios.
- Las características del ventilador a instalar: caudal y altura de elevación.

Elementos de cálculo de la instalación sencilla de VEL

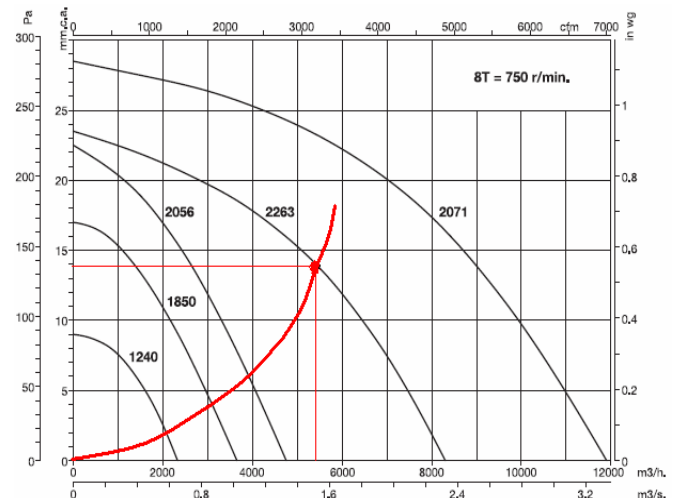
Un ejemplo nos permitirá desarrollar todos los puntos indicados en el apartado anterior.



La primera referencia bibliográfica indicada en el último apartado de esta ficha técnica, es prácticamente imprescindible para el diseño de estos sistemas.

Punto	Aplicación de criterios y operaciones
1º	Captación de humos de soldadura para la unión de pequeñas piezas sobre banco de trabajo.
2º	El foco de emisión se extiende por una superficie igual $30 \times 30 \text{ cm}^2$.
3º	No hay corrientes de aire.
4º	El trabajador necesita que la boca de aspiración esté situada 50 cm por encima de la mesa. $X = 0,50 \text{ m}$
5º	Elegimos una campana circular de 40 cm de radio, lo que supone un área: $A = \pi \times 0,40^2 = 0,503 \text{ m}^2$
6º	La velocidad de captura recomendada para humos de soldadura es $V = 0,5 \text{ m/s}$
7º	El caudal necesario es $Q = V (10X^2 + A) = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$
8º	Velocidad mínima en conducto = $12,5 \text{ m/s}$
9º	Sección = $Q / V = 0,12 \text{ m}^2$ Tubería: 391 mm Ø Se toma la más próxima normalizada: 350 mm Ø
10º	Longitud de tubería instalada..... 8,0 metros Un codo de 90°, $R=2D$ equivale a.. 6,0 metros Un sombrerete 0,75 D equivale a.. 3,8 metros Longitud total de tubería..... <u>17,8</u> metros <u>Pérdida de carga en tubería y accesorios:</u> Pérdida por metro de tubería = 0,7 mmca/m $H_{\text{tubería+acces.}} = 17,8 \text{ m} \times 0,7 \text{ mmca/m} = \underline{12,46} \text{ mmca}$ Pérdida de carga en campana de aspiración: Coeficiente n de la campana: 0,05 Velocidad del aire en conducto: $Q/A = 15,59 \text{ m/s}$ Presión dinámica: $(V^2 / 2g) \times 1,2 = 14,87 \text{ mmca}$ Pérdidas en campana: $0,05 \times 14,87 = \underline{0,74} \text{ mmca}$ <u>Pérdida de carga total:</u> $12,46 + 0,74 = \underline{13,2} \text{ mmca}$
11º	Ecuación del sistema: $H = K \times Q^2$ $H = 13,2 \text{ mmca}$ $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ $K = H / Q^2 = 5,87 \text{ mmca} / (\text{m}^3/\text{s})^2$ $H = 5,87 \times Q^2$
12º	Seleccionar ventilador

El punto de funcionamiento de la instalación se determina mediante la intersección de la curva de la instalación y la curva del ventilador.



Comentario al proceso desarrollado

Realizado el cálculo del sistema de VEL sencillo, se muestra el siguiente comentario correspondiente a cada uno de los puntos desarrollados ordenadamente:

- 1º.- El contaminante puede ser corrosivo y precisar un determinado tipo de material para la instalación. Puede ser pesado y necesitar velocidades de captura altas.
- 2º.- Las dimensiones del foco darán una idea aproximada de la forma y dimensión del elemento de captación
- 3º.- La existencia de corrientes de aire altera notablemente el diseño del elemento de captación, siendo a veces preciso modificar el proceso y apantallar en el lado desde donde se recibe el viento.
- 4º.- El trabajador precisa de un espacio libre que no podemos invadir.
- 5º.- Inicialmente se considera el foco de emisión totalmente encerrado. Posteriormente se va abriendo hasta una posición en la que el trabajador pueda realizar su tarea libremente.
- 6º.- En diversas publicaciones se dan las velocidades de captura más idóneas para cada tipo de procesos.
- 7º.- Existen unas expresiones que permiten obtener para cada tipo de elemento de captación, el caudal de aire que ha de circular por la instalación en función de la velocidad de captura, la distancia al foco de emisión y el área del elemento de captación.
- 8º.- Los contaminantes pesados tienden a depositarse en el interior de los conductos horizontales por lo cual es preciso dotarlos de una velocidad que evite dicha sedimentación.
- 9º.- La relación es $Q = \text{Velocidad} \times \text{Sección}$.
- 10º.- Se ha de calcular para el caudal establecido y el diámetro de los conductos, la pérdida de carga en cada uno de los elementos que constituyen la instalación.
En la bibliografía se puede obtener la pérdida de carga para el caudal y dimensión de tubería. Los elementos diferentes de la tubería como codos, sombreretes, etc, siempre se pueden sustituir por su equivalente en metros de tubería de igual diámetro. Los elementos de captación determinan su pérdida de carga mediante $h = n \times PD$, donde n es un coeficiente propio del elemento y PD es la presión dinámica en el conducto al que está unido.

11º.- La ecuación del sistema es una función que relaciona la pérdida de carga en el sistema en función del caudal circulante.

Esta ecuación se simplifica notablemente al considerar que el coeficiente de fricción f , permanece prácticamente constante para cualquier caudal, toda vez que al ser el régimen turbulento y el número de Reynolds muy elevado, la curva dibujada en el diagrama de Moody es prácticamente horizontal para las rugosidades relativas que se contemplan.

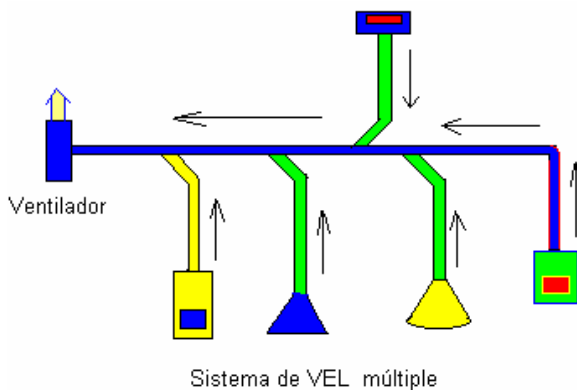
De ahí que la ecuación del sistema se pueda expresar por: $H = K \times Q^2$. Conociendo para un valor de Q el correspondiente de H , se determina la constante K .

12º.- De un catálogo de ventiladores seleccionaremos el tipo más adecuado y comprobaremos que la curva de funcionamiento del ventilador se corresponde con la de funcionamiento del circuito. El punto de trabajo será la intersección de ambas curvas.

Diseño de un sistema de VEL múltiple.

Un sistema de VEL múltiple consta de diversos elementos de captación, convenientemente unidos mediante conductos a una tubería principal, en el extremo de la cual se sitúa el ventilador.

Generalmente la descarga del ventilador se realiza sobre un equipo de filtración adecuado al contaminante que se captura.



El diseño de un sistema de VEL múltiple puede realizarse de diversas maneras en función de las características propias de la emisión del contaminante y consecuentemente del uso de la instalación. Así, si todos los elementos de una instalación de VEL múltiple se utilizan simultáneamente, el diseño más apropiado será aquel que equilibre el sistema para que por cada elemento de captación circule el caudal necesario para la adecuada captación del contaminante.

Por el contrario, si los diversos elementos de captación de la instalación funcionan de una forma secuencial y aislada, de tal manera que en un momento dado solamente se utilizan una pequeña fracción del conjunto de elementos de captación disponibles, un método de diseño adecuado sería el de regulación por compuertas.

Este último método es considerablemente más sencillo que el referido en primer lugar, consistente en el equilibrado de todas y cada una de las ramas que constituyen la instalación.

Abordaremos pues el diseño de un sistema de VEL múltiple por el método del equilibrio.

Secuencia de cálculo de una instalación de VEL múltiple.

Diseñar un sistema de VEL múltiple implica determinar las dimensiones de todos los elementos que constituyen la instalación, así como las características del ventilador a instalar, de tal manera que los caudales recogidos por cada elemento de captación se correspondan con los necesarios para una eficaz captación de los contaminantes.

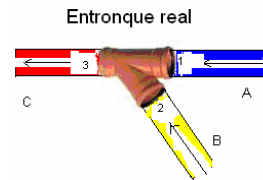
Un sistema de VEL múltiple, en su etapa de diseño inicial, tiene ciertas similitudes con un sistema de VEL sencillo por lo que habiendo considerado con anterioridad 12 pasos en el diseño de este último, podemos afirmar que los 9 primeros pasos son comunes a ambos sistemas.

A partir de ahí, los pasos siguientes son diferentes.

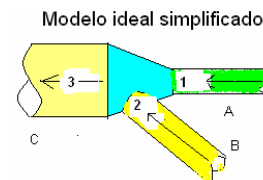
Antes de continuar con ellos, es preciso detenerse en un elemento fundamental en el diseño de sistemas de VEL múltiples: el entronque.

El entronque real y el modelo simplificado

El entronque es el lugar donde convergen dos o más tuberías.



Dado que existen una gran variedad de entronques diferentes, es necesario crear un modelo idealizado que los represente con el fin de poder llevar a cabo los cálculos necesarios.



Método de trabajo:

1º.- Se han de fijar los caudales en las ramas A y B en función de la velocidad de captura, la geometría y distancia al foco del elemento de captación.

2º.- Se han de dimensionar ambas ramas para que la presión estática en el punto 1 sea igual a la del punto 2.

3º.- Conocidos los caudales y las áreas en los puntos 1 y 2 se calcula un término auxiliar denominado PD_r .

Donde

$$PD_r = \left[\frac{Q_1 + Q_2}{4,043 (A_1 + A_2)} \right]^2$$

4º.- Se calcula la presión dinámica en el punto 3, sabiendo que $Q_3 = Q_1 + Q_2$, y que la sección en la tubería C,

$$A_3 = \pi \times r_3^2, \text{ donde } r_3 \text{ es el radio de la tubería C.}$$

$$PD_3 = \frac{(Q_3/A_3)^2}{2 \times g} \times 1,2$$

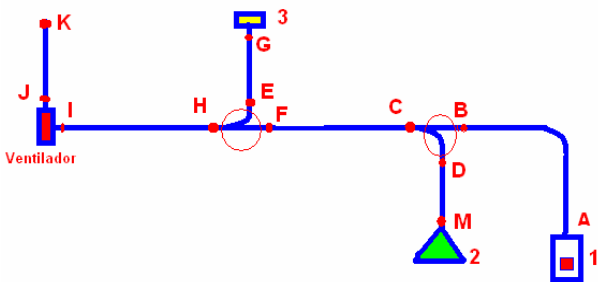
- 5º.- Realizamos la siguiente comprobación y rectificación,
 Si PD_3 es menor que PD_r , entonces $PE_3 = PE_1 = PE_2$
 Si PD_3 es mayor que PD_r , entonces $PE_3 = PE_1 - (PD_3 - PD_r)$

Así hemos obtenido:

- La presión estática en el punto 3
- La presión dinámica en el punto 3
- El caudal en la rama C

Secuencia de cálculo de una instalación de VEL múltiple. (continuación)

Un ejemplo nos ayudará a comprender el procedimiento de cálculo de la instalación de VEL múltiple. El breve espacio destinado a esta ficha técnica no permite desarrollar un ejemplo numérico de una instalación completa, por ello sobre la base de un esquema adecuadamente rotulado describiremos la secuencia de cálculo.



1º.- Determinar los caudales de aire necesarios para los elementos de captación 1 y 2: Q_1 y Q_2 . El procedimiento es el mismo que el realizado para las instalaciones simples y como se recordará el caudal es una función de la forma y la geometría del elemento de captación, así como de su distancia a la fuente de emisión y la velocidad de captura.

2º.- Determinar la sección de la tuberías A-B y M-D, de tal manera que se respeten las velocidades mínimas en conducto si las hay y las presiones estáticas resultantes en D y B sean iguales. Los puntos D y B se corresponden con los puntos 1 y 2 del modelo de entronque idealizado. El punto C se corresponde con el punto 3 del mismo modelo.

3º.- Mediante la teoría del entronque determinar las presiones estáticas y dinámicas en C.

4º.- Determinar la pérdida de carga en el tramo C-F y calcular las presiones dinámica y estática en F.

5º.- En función de las necesidades de caudal en el elemento de captación 3, determinar la sección de la conducción G-E para que satisfaciendo la condición de velocidad mínima en conductos si la hay, la presión estática en E sea igual a la presión estática en F.

6º.- Mediante la teoría del entronque determinar las presiones estáticas y dinámicas en H

7º.- Calcular la pérdida de carga en tramo H-I y determinar las presiones estática y dinámica en I.

8º.- Cuando se alcanza el ventilador, planteamos las siguientes ecuaciones:

$$a) PE_I + PD_I + PD_V + PE_V = PE_J + PD_J$$

$$b) PE_J + PD_J = PE_K + PD_K + h_{J-K}$$

Teniendo en cuenta que:

$PE_K = 0$ por estar a la presión atmosférica

$PD_V = PD_J$ es un criterio que establece que la presión dinámica del ventilador es igual a la presión dinámica a la salida

$PD_J = PD_K$ por mantenerse la sección en el tramo J-K

Queda:

$$a) PE_I + PD_I + PE_V = PE_J$$

$$b) PE_J = h_{J-K} \text{ pérdida de carga de J a K}$$

De donde despejamos PE_V que representa la presión estática del ventilador.

9º.- Seleccionamos un ventilador que suministrando el caudal correspondiente al tramo H-I sea capaz de vencer la pérdida de carga calculada PE_V .

Ventiladores

Las instalaciones de ventilación por extracción localizada, VEL, utilizan habitualmente ventiladores centrífugos, debido a su capacidad para vencer elevadas pérdidas de carga y suministrar caudales de aire suficientemente generosos.

Una vez establecido el tipo de ventilador, es necesario además que posea una serie de características adecuadas a la instalación que se proyecta y al medio donde se ubica.

El ventilador en función de su aplicación necesitará:

- ser resistente a los contaminantes
- ser antideflagante
- ser silencioso
- soportar elevadas temperaturas

La variedad de modelos existentes en el mercado, facilita considerablemente la tarea de seleccionar un ventilador adecuado a las necesidades de nuestra instalación.

Mantenimiento

Las instalaciones de ventilación por extracción localizada son susceptibles de modificar sus características y prestaciones con el uso y el paso del tiempo. Así un ventilador puede reducir su caudal de diseño, las tuberías pueden originar mayores pérdidas de carga y la falta de estanqueidad puede reducir el volumen de aire útil captado por unidad de tiempo.

Es necesario establecer un plan de mantenimiento que, de una parte, vigile que los parámetros de referencia de la instalación, fundamentalmente el caudal y las pérdidas de carga, permanezcan invariables, y de otra, sea capaz de corregir las deficiencias que pudieran detectarse.

Bibliografía básica

- Ventilación Industrial. 1ª Edición en español. Generalitat Valenciana. 1992
- Higiene Industrial. INSHT. 2ª Edición.