

NTP 615: Medición de la presión estática para la comprobación rutinaria de sistemas de extracción localizada



Mesure de la pression statique pour le controle routinier des systémes d'extraction locale
Routine checking of local exhaust systems using static pressure measurements

Vigencia	Actualizada por NTP	Observaciones	
Válida			
ANÁLISIS			
Criterios legales		Criterios técnicos	
Derogados:	Vigentes: SI	Desfasados:	Operativos: SI

Redactores:

Núria Cavallé Oller
Ingeniero Químico

Félix Bernal Domínguez
Ingeniero Químico

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Esta Nota Técnica de Prevención expone el método de medición de la presión estática en boca de campana para obtener una estimación aproximada del caudal circulante por un sistema de extracción localizada. Asimismo, describe las alteraciones que pueden identificarse en el sistema midiendo la presión estática en puntos clave.

Introducción

Antes de la puesta en marcha de un sistema de extracción localizada debe comprobarse que se cumplen sus especificaciones de diseño. Posteriormente, cuando el sistema ya se encuentra funcionando se efectúa su control periódico y mantenimiento, con el fin de asegurar que su eficacia no disminuye o que lo hace dentro de unos límites aceptables. Existen pues, dos fases diferenciadas en las que es necesario realizar medidas experimentales en el sistema: la puesta en marcha del equipo y su control rutinario.

Al plantear el diseño del sistema se calcula el caudal de aspiración necesario para no sobrepasar un determinado nivel de concentración ambiental de acuerdo con el tipo de tóxico y las características físicas de la campana. Esta magnitud, por lo tanto, pasa a ser la indicadora del correcto o incorrecto funcionamiento de un sistema de extracción localizada. Se define como:

$$Q = S \times \bar{V}$$

donde

Q: caudal de aspiración, m³/s

S: sección del conducto medida perpendicularmente a la dirección del caudal, m²

\bar{V} : velocidad media del fluido en el conducto, m/s

Para conocer experimentalmente el caudal de aire que circula por un conducto se mide la velocidad media y la sección y se realiza el cálculo.

La sección de un conducto es una magnitud fácilmente medible siempre que podamos escoger el punto de medida (preferentemente tramo recto accesible). En este caso el problema de la determinación del caudal se reduce a la determinación de la velocidad media del aire en un tramo recto de dicho conducto. La medición puede llevarse a cabo de tres formas distintas:

- con instrumentación específica para medir la velocidad del fluido (anemómetros o velómetros),
- con un manómetro que mida la diferencia de presión entre el interior del conducto y la atmósfera (presión estática), realizando después los cálculos pertinentes para obtener el valor de caudal circulante.
- midiendo la presión dinámica con un tubo de Pitot. Este instrumento, desarrollado por Henri Pitot en 1734, consiste en dos tubos concéntricos uno de los cuales mide la presión total de la corriente de aire en la que es insertado y el otro mide

únicamente la presión estática. Si se conecta un manómetro entre las salidas de ambos tubos la lectura muestra la diferencia entre ambas presiones, que no es más que la presión dinámica, magnitud directamente relacionada con la velocidad y la densidad del fluido.

En el cuadro 1 se exponen, de forma simplificada, las características, ventajas e inconvenientes de cada uno de estos métodos así como su ámbito de aplicación.

En esta Nota Técnica de Prevención se describe el método de la presión estática para el control rutinario de los sistemas de extracción localizada. Este método no es adecuado para mediciones en la puesta en marcha del equipo (para lo que se requieren medidas más exactas), ni para determinar la eficacia de un sistema, cuestión que no es objeto del presente documento y que se evalúa midiendo la concentración ambiental remanente de los contaminantes con el equipo funcionando.

Sin embargo, posee especial utilidad por su rapidez y sencillez en la detección de problemas en un sistema de extracción localizada, y realiza una buena aproximación del valor del caudal circulante con pocas medidas experimentales.

CUADRO 1. Medición del caudal en sistemas de extracción localizada

MÉTODO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ÁMBITO DE APLICACIÓN
Instrumentos de medida directa de la velocidad	<p>Cubren cualquier rango de velocidades escogiendo el instrumento adecuado</p> <p>Algunos modelos disponen de sondas de temperatura y humedad relativa</p> <p>Proporcionan distintos niveles de exactitud según el aparato</p> <p>Para bocas de impulsión grandes y velocidades bajas se puede colocar el aparato en la boca de campana si es accesible</p>	<p>Mayor coste de los instrumentos y de su mantenimiento</p> <p>Requieren calibración</p> <p>Algunos modelos no son adecuados para medir en conducto por su tamaño</p> <p>Pueden dañarse si se trabaja en condiciones extremas o con fluidos corrosivos o pulverulentos</p> <p>Requieren varias medidas en una misma sección para cada estimación</p> <p>Debe medirse en un tramo recto de conducto</p>	<p>Comprobación de las especificaciones de diseño del equipo en su puesta en marcha.</p> <p>Comprobaciones periódicas del funcionamiento del sistema</p>
Medida de la presión dinámica con un tubo de Pitot	<p>No requiere calibración</p> <p>Proporciona resultados muy exactos</p> <p>Bajo coste del instrumento</p>	<p>Debe medirse en un tramo recto de conducto.</p> <p>Requieren varias medidas en una misma sección para cada estimación</p> <p>Inadecuado para velocidades bajas (<3 m/s, óptimo a partir de 10 m/s)</p> <p>Debe medirse separadamente la temperatura y humedad relativa del fluido.</p>	<p>Comprobación de las especificaciones de diseño del equipo en su puesta en marcha.</p> <p>Comprobaciones periódicas del funcionamiento del sistema</p>
Medida de la presión estática	<p>Rápido y simple: con una sola medida se obtiene una aproximación al caudal circulante.</p> <p>Bajo coste del instrumento (puede ser un simple manómetro en U)</p> <p>Adecuado para cualquier rango de caudales</p>	<p>Menor exactitud que los anteriores</p> <p>Debe medirse separadamente la temperatura y humedad relativa del fluido.</p>	<p>Comprobaciones periódicas del funcionamiento del sistema</p>

Mediciones experimentales de la presión estática

La medición de la presión en un conducto se realiza con un manómetro, en el caso más sencillo del tipo en U. En su interior un líquido (alcohol, agua, aceite,...) indica la diferencia de altura entre las dos ramas, lo cual es ya una medida de diferencia de presión si se conoce la densidad del líquido. Si el líquido es agua las unidades utilizadas son milímetros de columna de agua (mmcda). La lectura, por tanto, es directa.

Se trata de instrumentos muy simples, fáciles de utilizar, robustos y aptos para medir en puntos fijos o variables. Una variación del manómetro en U es el manómetro inclinado, que proporciona una ampliación de la escala y por lo tanto una mayor sensibilidad de la

lectura. Es aconsejable que la base del manómetro esté bien nivelada, por lo que se aconseja medir en puntos fijos.

Existen modelos más sofisticados, como los manómetros aneroides, de mayor sensibilidad que los anteriores y sin fluidos en su interior, lo que simplifica su mantenimiento. Sin embargo, requieren calibración periódica y son más susceptibles de sufrir un fallo mecánico.

El manómetro en U se conecta sucesivamente a cada uno de los puntos de medida mediante un tubo de goma y se lee la diferencia de presión entre el interior del conducto y la atmósfera (en milímetros de columna de agua, mm cda). La medición se realiza colocando una de las ramas del manómetro perpendicular a la dirección del flujo. Los orificios en el conducto deben tener diámetros comprendidos entre 1,5 y 3 mm y no deben realizarse por punzonamiento puesto que las rebabas que ello generaría en la cara interna podrían ocasionar turbulencias en la corriente.

Dado que estamos describiendo un procedimiento de rutina, sería conveniente disponer de conexiones fijas para los manómetros en U, que deberían contemplarse ya en la fase de proyecto del sistema.

El perfil típico de presiones estáticas en un sistema de extracción localizada se muestra en la figura 1. En el punto 1 la presión que mediremos será la presión atmosférica¹. Aguas abajo de la campana los valores son negativos, aumentando la diferencia con la presión atmosférica hasta llegar al ventilador, donde se comunica la suficiente energía mecánica al ventilador para mover el fluido hasta fuera del sistema. En el punto 5 la presión estática es nuevamente nula.

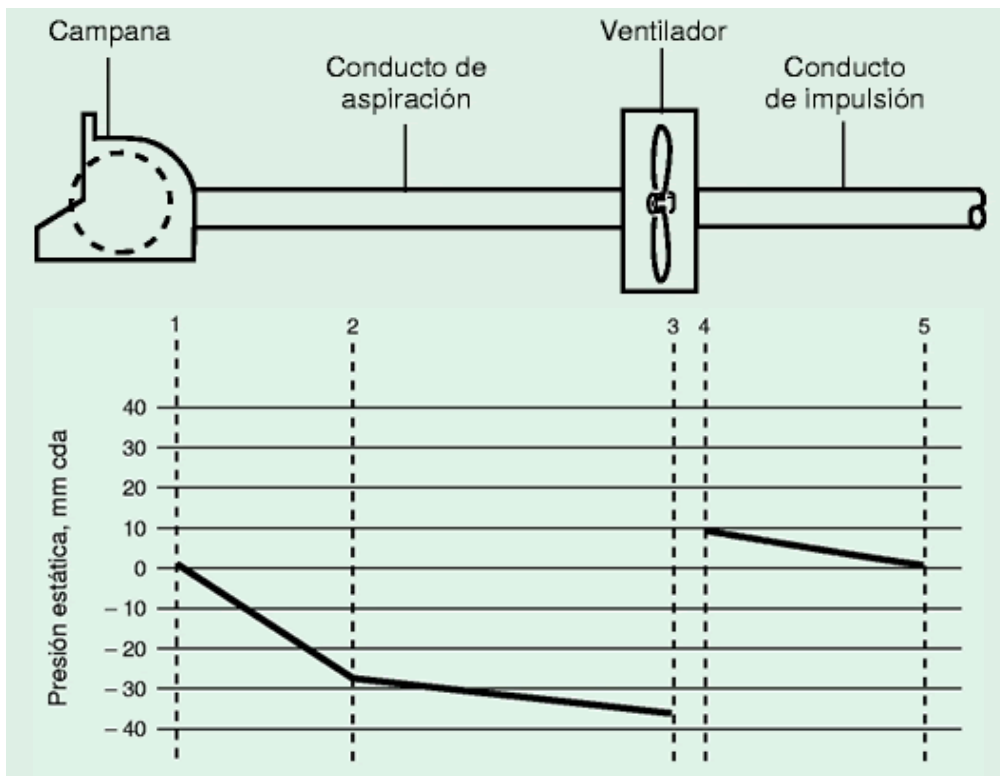


Figura 1. Perfil de presiones estáticas en un sistema de extracción localizada

1. Debe recordarse que se miden siempre diferencias de presión entre el interior del conducto y la presión atmosférica, y no presiones absolutas. Por lo tanto, cuando medimos en la atmósfera el valor de la presión estática es cero.

Cálculo del caudal a partir de la presión estática en boca de la campana

El caso particular en que la medida de la presión estática (PE) se realiza junto a la garganta de la campana nos proporciona una estimación del caudal que circula por el sistema. Se trata de un procedimiento más rápido y sencillo que el propuesto en el anexo D de la norma BS 7258 referente a las especificaciones de seguridad y rendimiento de las campanas de laboratorio de uso general. Idealmente se realizarían mediciones en 3 puntos, el primero de ellos situado un diámetro aguas abajo para las campanas con adaptación gradual y a tres diámetros para campanas simples.

El caudal se calcula según la siguiente ecuación:

$$Q = 4,43 S (PE_c / [(1 + F_c) d])^{1/2}$$

donde:

Q: caudal, m³/s

S: sección del conducto unido a la campana, m²

PE_c: presión estática en la campana, mmca

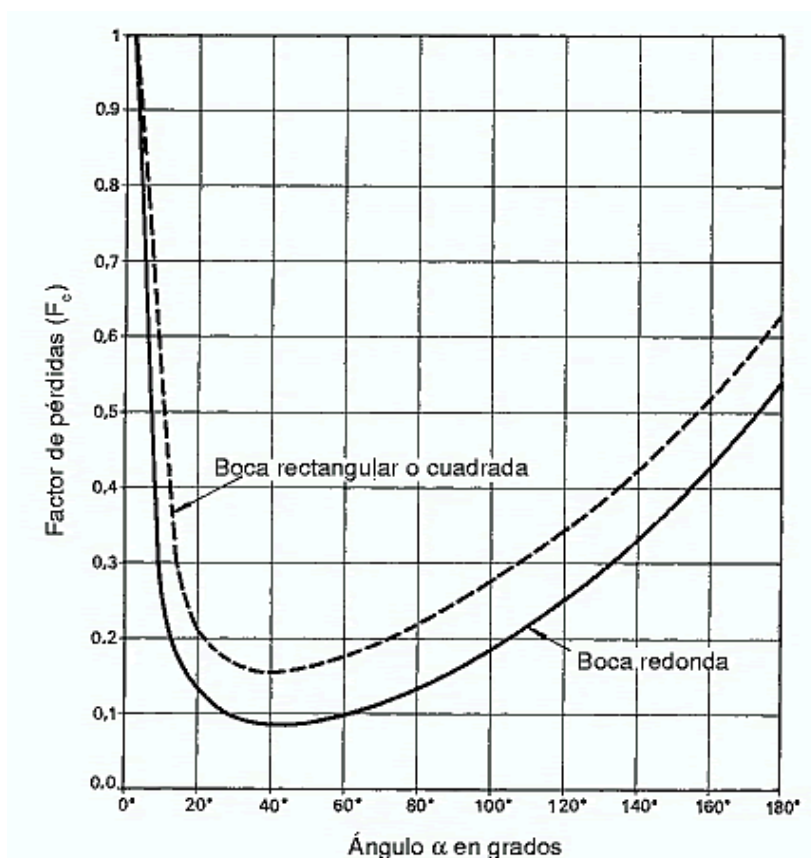
F_c: factor de pérdidas de la campana

d: densidad del aire, kg /m³

Para aire en condiciones estándar (d = 1,2 kg /m³) la ecuación anterior se convierte en:

$$Q = 4,04 S (PE_c / [(1 + F_c)])^{1/2}$$

Los factores de pérdidas de carga en la campana (F_c) en función del ángulo de abertura de la campana se muestran en la figura 2.



En las rectangulares, α es el ángulo mayor.

La superficie de la boca proyectada debe ser como mínimo dos veces la sección del conducto.

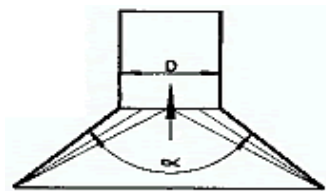


Figura 2. Factor de pérdidas (F_c) en la entrada de la campana

Si la medida de la presión estática no se realiza en boca de campana sino en otro punto del sistema, el procedimiento a seguir debe incluir el cálculo de la pérdida de carga (PC) que provocan todos los elementos existentes entre la boca y el punto de medida (conducto, codos, uniones). El valor de PC se resta de la lectura de presión estática y los diferentes resultados se promedian. Con el valor corregido de la presión estática, se acude nuevamente a las ecuaciones anteriores.

Así pues, las ventajas principales que proporciona el método de estimación del caudal midiendo en boca de campana son dos: solamente se debe tener en cuenta la pérdida de carga de la campana y por lo tanto los cálculos se ven muy simplificados, y de otra parte, puede verificarse visualmente si los elementos de la campana se encuentran en correcto estado (no hay agujeros, está bien conectada, etc), mientras que si se realiza la medida en otro punto (en conducto, por ejemplo), pueden existir problemas no detectables a simple vista y difíciles de localizar.

Evaluación del sistema

Si el sistema no ha sufrido una variación significativa de la presión estática (respecto al valor original determinado en el momento de la puesta en marcha del equipo), no ha cambiado su diseño (adición de elementos nuevos o modificación de los existentes) y no existen acumulaciones o fugas de materiales aguas arriba de donde se realiza la medición, se puede asegurar que el caudal de aspiración continua siendo el adecuado.

Una reducción de hasta el 25 % en el valor de la presión estática (13 % de reducción del caudal) se considera aceptable. En la tabla 1 se muestra el porcentaje de variación del caudal (ΔQ) en función del porcentaje de variación de la presión estática (ΔP_E) (relación cuadrática). Por el contrario, cualquier modificación de la medida original de la presión estática indica un cambio en el caudal aspirado por la campana. Las causas pueden ser una o más de las siguientes circunstancias, según se describe en la referencia bibliográfica (1):

1. Reducción de la eficacia del ventilador debida a:
 - desgaste o acumulación de suciedad en el rotor o la voluta, o a que la correa patine.
 - deterioro de las conducciones, tal como acumulaciones en las ramas o el conducto principal a causa de una insuficiente velocidad del aire, condensación de productos en la pared del conducto, por tener propiedades adhesivas el material extraído, o bien por fugas causadas por compuertas de limpieza desajustadas, uniones rotas, perforaciones por abrasión en el conducto (principalmente en los codos), mala conexión a la entrada del ventilador, o acumulaciones en los conductos o palas del ventilador.
2. Instalación de aberturas adicionales al sistema o a modificaciones en los ajustes de las compuertas de regulación que reparten el caudal entre las distintas ramas.
3. Aumento de la pérdida de carga en los equipos de separación de contaminantes como colectores de polvo o filtros debido a un mantenimiento inadecuado, desgaste, etc.

En la tabla 2 se describen algunas causas frecuentes de mal funcionamiento de un sistema de extracción localizada, planteando cómo serían las medidas de presión estática obtenidas en distintos puntos del mismo. Con las flechas se indica si la presión estática ha aumentado (\uparrow) o disminuido (\downarrow) respecto a su valor en la situación inicial (y correcta) a la puesta en marcha del equipo. El incremento o decremento se define en términos de valor absoluto de la presión. (Debe recordarse, tal y como se ha visto anteriormente, que la presión estática en un sistema toma valores negativos, es decir, inferiores a la presión atmosférica en la mayor parte del sistema, concretamente de la entrada hasta el ventilador. Así, el símbolo \uparrow indica un incremento del valor absoluto de la P_E , es decir, una menor presión con respecto a la presión atmosférica). Se muestran algunas situaciones de interés.

Una de las conclusiones inmediatas del análisis de la tabla es que el cumplimiento de un plan de mantenimiento de todos los componentes de un sistema de extracción localizada (campanas, conductos, filtros, colectores de polvo, depuradores, ventiladores) es un aspecto crucial para asegurar su correcto funcionamiento.

TABLA 1. Variación de PE y Q

ΔP_E (%)	10	20	30	40	50
ΔQ (%)	5	11	16	23	29

TABLA 2. Medidas de la presión estática en un sistema y su interpretación

CAMBIOS DE LA PRESIÓN ESTÁTICA RESPECTO A LA SITUACIÓN INICIAL									CAUSA MÁS PROBABLE	MEDIDAS A TOMAR
Campana	Conducto aspiración	Filtro			Ventilador			Conducto impulsión		
		entrada	salida	Δ	entrada	salida	Δ			
\downarrow	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	Obstrucción entre la campana y el punto medido en el circuito de aspiración *.	Revisión y limpieza de los conductos.
\downarrow	\downarrow	\downarrow	\uparrow	$\uparrow\uparrow$	\downarrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	Filtro obstruido.	Limpieza o cambio del filtro.
\downarrow	\downarrow	\downarrow		\uparrow				\uparrow	Rotura de tuberías, bridas o uniones en el conducto de aspiración.	Revisión periódica de los elementos y reparación de defectos.
\downarrow	\downarrow	\downarrow		\downarrow				\downarrow	La correa ventilador está floja o puede haber acumulación de suciedad en el ventilador.	Limpieza y/o reparación del ventilador.

↓	↓	↓		↓			↓	↑	Mala conexión entre el conducto y el ventilador.	Revisión periódica de los elementos.
---	---	---	--	---	--	--	---	---	--	--------------------------------------

* Una obstrucción frecuente es la que se produce en sistemas de extracción de polvo al sedimentar éste cuando se para el sistema.

Ejemplo práctico de interpretación de las lecturas de presión estática

A continuación se muestra un sistema de extracción localizada en el que se han realizado mediciones de la presión estática (expresada en mmcd). Se realiza una interpretación de los resultados, identificando los posibles problemas y proponiendo acciones correctoras. En la figura 3 se muestran los datos de la situación inicial (puesta en marcha de la instalación) y de 4 situaciones anómalas.

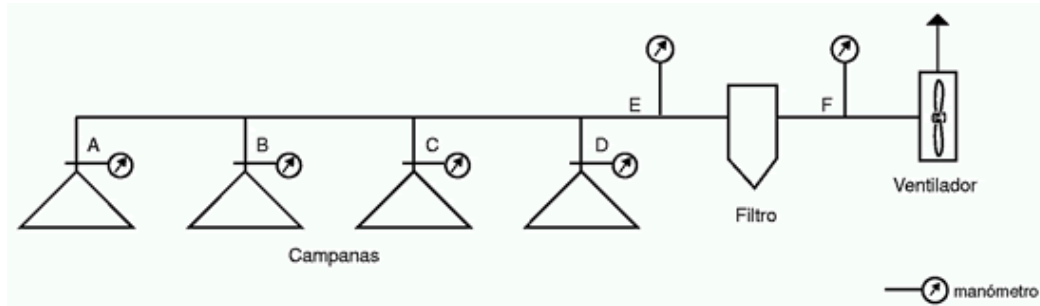


Figura 3. Caso práctico. Esquema del sistema.

Tal como se ha visto anteriormente, el caudal que circula por un punto de un sistema es proporcional a la presión estática en dicho punto. Así pues, la situación inicial muestra que el caudal que entra por la campana C es mayor que el de A y B, y éstos a su vez, mayores que el de la campana D. Inicialmente la pérdida de carga del filtro es de 100 mmcd.

TABLA 2. Caso práctico. Medidas de la presión estática (mmcd) en el sistema

Situación	PE _A	PE _B	PE _C	PE _D	PE _E	PE _F
Inicial	40	40	50	30	100	200
1	25	25	30	20	65	290
2	10	10	75	50	95	185
3	15	15	20	12	110	220
4	20	20	25	15	50	110

En la situación 1 se observa que disminuye la presión estática de todas las campanas (circula menor caudal por el sistema). Este hecho, junto con el drástico aumento de la pérdida de carga del filtro (225 mmcd) indica que éste se encuentra obstruido y que dificulta la aspiración.

En la segunda de las situaciones propuestas, circula menor caudal por las dos primeras campanas, mayor caudal por las dos siguientes y el filtro está correcto, puesto que se observa un solo un pequeño decremento de la pérdida de carga (90 mmcd) que puede ser debido a que circula un caudal algo inferior por el sistema. Esta situación indica que existe una obstrucción en el sistema que se sitúa entre los puntos B y C.

En la situación 3, la pérdida de carga del filtro sufre un pequeño aumento (110 mmcd) lo que indicaría que circula prácticamente el mismo caudal por el filtro que en la situación inicial. Sin embargo la presión de todas las campanas ha disminuido, indicando menor caudal en ellas. Probablemente sea debido a la existencia un agujero entre D y E por donde entra aire.

Finalmente, en la última de las situaciones la pérdida de carga del filtro ha disminuido (60 mmcd) al igual que las presiones estáticas en las 4 campanas. Todo ello indica que circula menor caudal. Una explicación factible es que el ventilador no funciona correctamente y trabaja a una potencia inferior a la requerida. Ello puede ser debido a que la correa se haya aflojado.

Bibliografía

- (1) AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH).
Ventilación Industrial
1ª edición en español. Generalitat Valenciana, 1992.
- (2) INRS
Contrôle pratique de l'encrassement des filtres d'un système de ventilation. Cas des cabines de peinture fermées
Cahiers de notes documentaires n° 132, 3º trimestre 1988.
- (3) ALDEN J.L, KANE J.M.
Design of Industrial Ventilation Systems
Industrial Press Inc. New York, 1982

(4) BATURIN V. V.

Fundamentos de ventilación industrial.

Editorial Labor. Barcelona, 1976.

(5) BRITISH STANDARD INSTITUTION (BSI).

BS 7258. Laboratory fume cupboards. Part 4. Method for determination of the containment value of a laboratory fume cupboard.

London, BSI, 1994.