

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EMPRESA**

**MASTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

**TRABAJO FIN DE MASTER**



**DISEÑO DE VENTILACIÓN POR EXTRACCIÓN  
LOCALIZADA**



Alumno: Cristina Castillo Murcia

Director: Gabriel Pérez

Septiembre 2014

## INDICE

1. Introducción .....	5
1.1. Sistemas de impulsión.....	6
1.2. Sistemas de extracción.....	7
1.3. Concepto de ventilación por extracción localizada (VEL) .....	9
1.4. Magnitudes Y Parámetros. Unidades más habituales.....	10
1.5. Perdidas de carga en conductos .....	15
1.5.1. Pérdida de carga en tramos rectos: .....	15
1.5.2. Pérdida de carga en puntos singulares: .....	18
1.6. Ventajas e inconvenientes de ambos métodos .....	25
2. Esquema circuito de ventilación .....	27
2.1. Instalación sencilla .....	27
2.2. Tipos de elementos que componen un sistema de VEL.....	28
2.2.1. Campanas.....	28
2.2.1.1. Tipos de campanas.....	29
Cabinas .....	30
Campanas exteriores.....	32
2.3. Parámetros para el diseño de campanas .....	33
2.3.1. Velocidad de captura .....	34
2.3.2. Calculo del caudal de aspiración .....	35
2.4. Elementos de conducción (Tubería).....	35
2.5. Ventiladores .....	37
2.4.1. Generalidades .....	37
2.5.2. Clasificación.....	37
2.5.2.1. Ventiladores axiales .....	38
2.5.2.1.1. La Presión .....	40
2.5.2.1.2. El Caudal.....	41
2.5.2.2. Ventiladores centrífugos .....	42
2.5.2.2.1. Clasificación.....	43
2.5.3. Curva característica de un ventilador .....	46
2.5.4. Punto de Trabajo de un ventilador .....	48
2.5.4.1. Regulación del Punto de Trabajo .....	49
2.6. Instalación y Mantenimiento de los ventiladores.....	50
3. Diseño de un sistema de VEL sencillo .....	55

4.1. Manómetros.....	63
4.2. Criterios para la selección de los instrumentos .....	72

# CAPITULO 1. PRINCIPIOS GENERALES DE VENTILACIÓN

---

## ***1. INTRODUCCIÓN***

La importancia de disponer de aire limpio y sin contaminar el ambiente de trabajo industrial es bien conocida. La industria moderna, con su complejidad de operaciones y procesos, utiliza un número creciente de sustancias y preparados químicos muchos de los cuales poseen una elevada toxicidad. El empleo de dichos materiales puede dar lugar a que en el ambiente de trabajo estén presentes, en concentraciones que excedan los niveles de seguridad, partículas, gases, vapores y/o nieblas. El estrés térmico puede originar también ambientes de trabajo inseguro o incómodo. Una ventilación eficaz y bien diseñada ofrece una solución a estas situaciones, en las que se requiere la protección del trabajador. La ventilación puede también ser útil para controlar olores, humedad y otras condiciones ambientales indeseables.

El riesgo potencial para la salud asociado a una sustancia presente en el aire viene indicado por su Valor Límite (VLA). El VLA se define como la concentración en el aire de una sustancia a la que se considera que casi todos los trabajadores pueden exponerse repetidamente, días tras día, sin sufrir efectos adversos. El valor VLA-ED se define como la concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas, que no producirá efectos adversos en la mayoría de los trabajadores, es empleado usualmente como referencia de seguridad.

En las plantas industriales se emplean dos tipos generales de sistemas de ventilación:

Los sistemas de **IMPULSIÓN** se utilizan para impulsar aire, habitualmente templado, a un local de trabajo. Los sistemas de **EXTRACCIÓN** se emplean para eliminar los

contaminantes generados por alguna operación, con la finalidad de mantener un ambiente de trabajo saludable.

Un programa completo de ventilación debe incluir tanto la impulsión como la extracción. Si la cantidad global de aire que se extrae de un local de trabajo es superior a la cantidad de aire exterior que se aporta, la presión en el interior será más baja que la atmosférica. Esta situación puede ser deseable cuando se emplea ventilación por dilución para controlar o aislar ciertos contaminantes en una zona determinada de la planta, pero a menudo el fenómeno se produce porque se han instalado sistemas de extracción sin tener en cuenta la sustitución de aire que extraen. Cuando ello ocurra, el aire entrará en la planta de una manera incontrolada, a través de rendijas, puertas, ventanas, etc.

Habitualmente esta situación trae como consecuencia, en primer lugar, malestar en la época invernal para quienes trabajan cerca de los límites del local. En segundo lugar, se produce una reducción de la eficacia de funcionamiento de los sistemas de extracción, que puede dar lugar a una disminución del grado de control de los contaminantes y originar posibles riesgos para la salud.

### ***1.1 Sistemas de impulsión***

Los sistemas de impulsión se emplean con dos finalidades:

- 1) para crear un ambiente confortable en la planta (sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación).
- 2) para sustituir el aire extraído de la planta (sistemas de sustitución). En muchos casos los sistemas de impulsión y de extracción están acoplados, como en los sistemas de control por dilución.

Un sistema de impulsión bien diseñado debe incluir una sección de toma de aire, filtros, equipo de calefacción y/o refrigeración, un ventilador, conductos y registros o rejillas para la distribución del aire por el espacio de trabajo. Los filtros, el equipo de calefacción y/o refrigeración y el ventilador se encuentran a menudo integrados en un conjunto único denominado unidad de impulsión y tratamiento del aire. Si se recircula una parte del aire impulsado por el sistema es necesario instalar un sistema de RETORNO para devolver el aire recirculando a la unidad de tratamiento.

## 1.2. Sistemas de extracción

Los sistemas de ventilación por extracción se clasifican en dos grupos genéricos:

- los sistemas de extracción GENERAL
- Los sistemas de extracción LOCALIZADA

Los sistemas de extracción general pueden emplearse para el control del ambiente térmico y/o para la eliminación de los contaminantes generados en un área mediante el barrido de un espacio dado con grandes cantidades de aire.

Cuando se emplea para el control térmico, el aire debe ser templado y recirculado.

Cuando se emplea para el control de los contaminantes (sistema de dilución), estos deben mezclarse con una cantidad de aire suficiente para que la concentración se reduzca hasta niveles seguros. Normalmente el aire contaminado se descarga a la atmosfera. A la hora de reemplazar el aire extraído suele emplearse un sistema de impulsión, que funciona asociado al de extracción.

Los sistemas por dilución acostumbran a utilizarse para el control de la contaminación sólo cuando no es posible el empleo de la extracción localizada, pues las grandes

cantidades de aire templado que son necesarios para sustituir el aire que se extrae pueden dar lugar a elevados costes de funcionamiento.

Los sistemas de extracción localizada se basan en el principio de capturar el contaminante en, o muy cerca de, su origen, es el método de control preferido porque es el de mayor eficacia y, al emplear caudales más pequeños, redundan en menores costes de calefacción con respecto a los elevados caudales requeridos por los sistemas de extracción atmosférica refuerza la necesidad del empleo, en los sistemas de ventilación industrial, de equipos de depuración eficaces, cuyo coste es más reducido en los sistemas de extracción localizada debido al menor caudal de aire que utilizan.

Los sistemas de extracción localizada se componen de hasta cuatro tipos de elementos básicos: el (los) elemento(s) de captación, el sistema de conductos (incluyendo la chimenea de salida y/o el conducto de recirculación), el depurador y el ventilador. El objetivo del elemento de captación es captar el contaminante atrapándolo en una corriente de aire dirigida hacia dicho elemento, que en lo sucesivo denominaremos genéricamente campana. Para transportar el aire contaminado hasta el depurador, cuando existe, o hasta el ventilador, es necesario disponer de un sistema de conductos. En el depurador el contaminante es separado por el aire. El ventilador ha de vencer las pérdidas debidas al rozamiento, la entrada a la campana y las uniones de conductos y, al mismo tiempo, producir el caudal de aire previsto. A la salida del ventilador existe habitualmente un conducto dispuesto en tal forma que el aire descargado por él no sea reintroducido en el local por la impulsión de aire en el mismo, o por el sistema de aire acondicionado o calefacción. En ciertos casos el aire depurado es reintroducido en el local.



### 1.3. Concepto de ventilación por extracción localizada (VEL)

La ventilación de los seres vivos, las personas entre ellos, les resuelve funciones vitales como el suministro de oxígeno para su respiración y a la vez les controla el calor que producen y les proporciona condiciones de confort, afectando a la temperatura, la humedad y la velocidad del aire.

La ventilación en máquinas o de procesos industriales permite controlar el calor, la toxicidad de los ambientes o la explosividad potencial de los mismos, garantizando en muchos casos la salud de los operarios que se encuentran en dichos ambientes de trabajo.

Para efectuar una ventilación adecuada hay que atender a:

- a) Determinar la función a realizar (el calor a disipar, los tóxicos a diluir, los sólidos a transportar, etc.)
- b) Calcular la cantidad de aire necesaria.
- c) Establecer el trayecto de circulación del aire.

#### 1.3.1. Tipos de VEL

Una clasificación práctica y habitual de los sistemas de su 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.

### 1.4. Magnitudes Y Parámetros. Unidades más habituales

MAGNITUD	UNIDADES	MAGNITUD	UDS
A: Área	mm <sup>2</sup>	g: aceleración de la gravedad	m/s <sup>2</sup>
C: Concentración másica	mg/m <sup>3</sup> ; µg/ m <sup>3</sup>	H: altura	m
C <sub>v</sub> : Concentración volumétrica	Ppm/ppb	K: constante	A definir
D: Diámetro	m	L: Longitud	m
d: Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	m: masa	Kg; g
f: factor de fricción de moody	Adimensional	NHR: número de renovaciones hora	Hora <sup>-1</sup>
G: Caudal másico	Kg/min	n: factor de pérdida de carga o factor de forma	Adimensio nal
P: Presión	Pa; atm, mmca	PC: Presión de Carga	mmca
P <sub>d</sub> : Presión dinámica	mmca	R <sub>H</sub> : Radio hidraulico	m
P <sub>e</sub> : Presión estática	mmca	T: temperatura	K
P <sub>t</sub> : Presión Total	mmca	t: tiempo	s; min; h
P <sub>ev</sub> : Presión estática del ventilador	mmca	V: Volumen	m <sup>3</sup>
P <sub>dv</sub> : Presión dinámica del ventilador	mmca	v: Velocidad	m/s
Q: Caudal volumétrico	m <sup>3</sup> /s; m <sup>3</sup> /h	Y: Peso específico	N/ m <sup>3</sup>
R: Constante de los gases	0.082 atm·l/mol·K	µ: viscosidad	Poise [g/(cm s)]
E: Rugosidad media del conducto	m		

Tabla 1. Magnitudes y parámetros

#### 1.4.1. Definiciones magnitudes más importantes

**1.4.1.1. Caudal (Q):** La cantidad o caudal Q de aire que circula.

- La sección **S** del conducto
- La velocidad **v** del aire.

Vienen ligados por la fórmula: **Q =v S**

**1.4.1.2. La presión estática (PE)** se define como la presión que tiende a hinchar o colapsar el conducto, y se expresa en milímetros de columna de agua (mmca). Se ejerce en todas las direcciones del conducto, en la misma dirección del aire, en dirección contraria y en dirección perpendicular, sobre las paredes del mismo. Si el conducto fuese cerrado, como un recipiente con el aire en reposo, también se manifestaría este tipo de presión.

Normalmente se mide con un manómetro de columna de agua, de ahí las unidades empleadas. La presión estática puede ser positiva si es superior a la atmosférica o negativa, si está por debajo de ella. La presión estática puede medirse empleando un tubo de Pitot o a través de un orificio perforado (nunca con un punzón) en la pared del tubo, cuidando de evitar las rebabas en la pared interna, que distorsionan el flujo del aire.

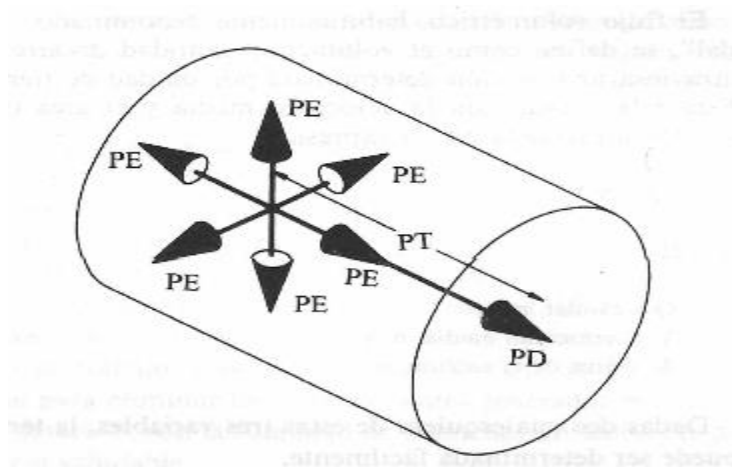
**1.4.1.3. La presión dinámica (PD)** se define como la presión requerida para acelerar el aire desde velocidad cero hasta una cierta velocidad (V), y es proporcional a la energía cinética de la corriente del aire. Se manifiesta solo en la dirección del aire y viene relacionada con la dirección del mismo. La relación entre PD y V viene dada por:

$$V = 4.43 \sqrt{PD/d}$$

Dónde:

V: velocidad, m/s

PD: presión dinámica, mmca



*Figura 1.1 PE, PD y PT EN UN PUNTO*

PD se ejerce únicamente en la dirección del flujo y es siempre positiva. La Figura 1.1. muestra gráficamente la diferencia entre PE y PD.

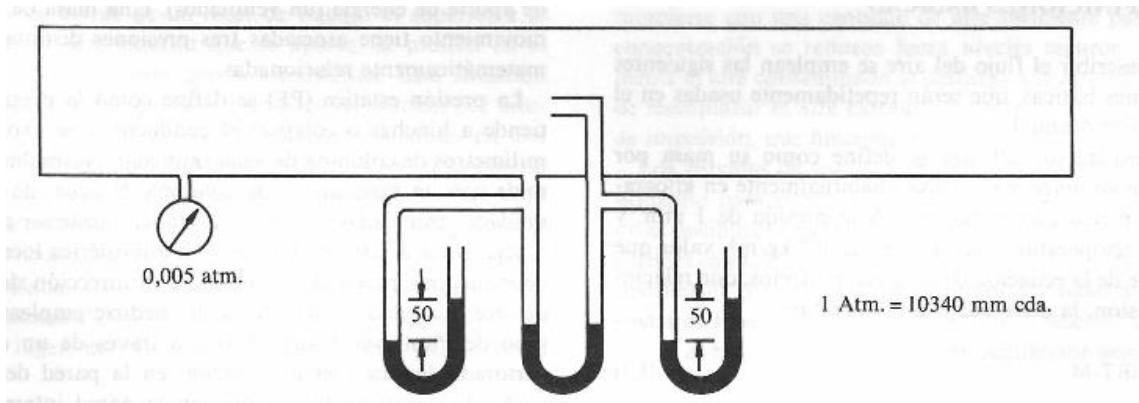
**1.4.1.4. La Presión total (PT)** es la presión que ejerce el aire sobre un cuerpo que se opone a su movimiento. Esta presión es la suma algebraica de las presiones estática y dinámica:

$$PT = PE + PD$$

La presión total puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica, y es una medida del contenido energético del aire, por lo que va siempre descendiendo a medida que se produce el avance del aire por el interior del conducto. Únicamente aumenta al pasar a través del ventilador.

La presión total puede medirse con un tubo de impacto dirigido aguas arriba de la corriente de aire y conectado a un manómetro. Los valores PT en distintos puntos de una misma sección no son coincidentes debido a las diferencias de velocidad entre ellos; por esta razón una sola lectura del valor de PT no es indicativa del contenido energético del aire.

El significado de estas presiones puede explicarse cómo sigue. Supongamos un tramo de un conducto, sellado por ambos extremos, que es presurizado a una presión estática de 0.005 atm por encima de la presión atmosférica, tal como se indica en la figura 1.2. Si se perfora en la pared del tubo un pequeño agujero (de 2 a 3 mm de diámetro) y se le conecta una de las ramas de un manómetro de U, la lectura será aproximadamente de 50 mmca. Obsérvese la diferencia de niveles entre las 2 ramas del manómetro. Si el agua de la rama abierta a la atmósfera se encuentra a un nivel superior al de la rama conectada al conducto, la presión es positiva (mayor que la atmosférica). Puesto que no hay velocidad, la presión dinámica es nula, y  $PE = PT$ . Una sonda cuyo extremo este dirigido en sentido opuesto al del movimiento del aire se denomina tubo de impacto (el situado a la derecha), indicará también 50 mmca. Finalmente, si uno de los lados del manómetro se conecta al tubo de impacto y el otro a la sonda de presión estática (el central en el dibujo), manómetro indicara la diferencia entre ambas presiones. Puesto que  $PD = PT - PE$ , un manómetro conectado de esta forma indicará directamente PD manómetro indican si los valores respectivos de PE y PT son positivos o negativos con respecto a la presión atmosférica local.



*Figura 1.2. Medición de PD, PE y PT en un conducto presurizado*

Si se destaparan los extremos del conducto y en su interior se colocara un ventilador, la situación podría modificarse hasta la indicada, por ejemplo, en la Figura 1.3. Aguas arriba del ventilador PE y PT son negativas (inferiores a la atmosférica). Es el llamado lado de aspiración. Aguas abajo del ventilador PE y PT son ambas positivas. Este es el llamado lado de impulsión. Independientemente del lado del ventilador, PD es siempre positiva. Obsérvese que las diferencias de nivel en cada manómetro indican si los valores respectivos de PE y PT son positivos o negativos con respecto a la presión atmosférica local.

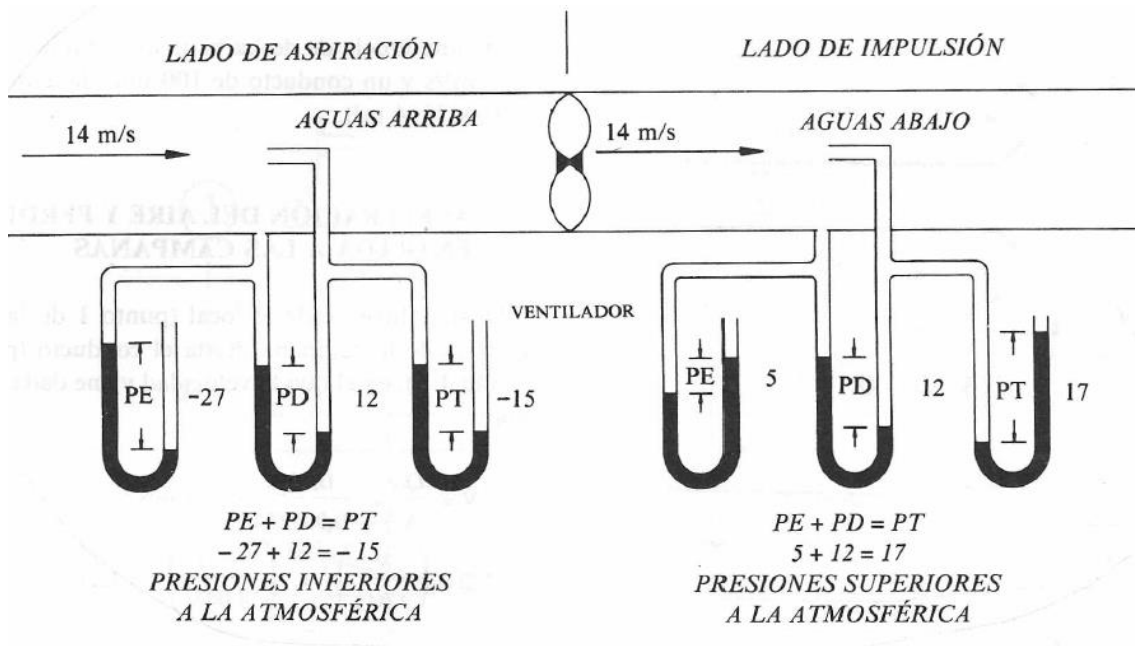


Figura 1.3. PD, PE y PT en distintos puntos de ventilación

## 1.5. Pérdidas de carga en conductos

Existen dos componentes de la pérdida global de presión total en un tramo de conducto:

- 1) pérdida de carga en los tramos rectos
- 2) pérdida de carga en los puntos singulares (codos, uniones, etc.).

**1.5.1. Pérdida de carga en tramos rectos:** La pérdida de carga en los tramos rectos es una función compleja de la velocidad del aire, del diámetro del conducto, de la densidad y viscosidad del aire, y de la rugosidad superficial del conducto.

Los efectos de la velocidad, diámetro, densidad y viscosidad se combinan en el número de Reynolds ( $Re$ ), que se define como:

$$Re = \frac{dVD}{\mu}$$

dónde:

$d$ = densidad, Kg/m<sup>3</sup>

$V$ = Velocidad, m/s

$D$ = diámetro, m

$\mu$ = viscosidad, Kg/m s

L. F. Moody combinó todos estos efectos en un gráfico único, usualmente llamado diagrama de Moody (ver Figura 1.4), mediante el cual, si se conoce el número de Reynolds y la rugosidad relativa, es posible hallar el factor de fricción ( $f$ ).

Una vez determinado, el factor de fricción se utiliza en la ecuación del factor de fricción de Darcy- Weisbach a fin de determinar la pérdida de carga global en el tramo:

$$h = f \frac{L}{D} PD$$

dónde:

$h$  = pérdida de carga en el conducto, mmcda

$f$  = factor de fricción del diagrama de Moody (adimensional), depende del número de Reynolds ( $Dvd/\mu$ ) y de la rugosidad relativa de la tubería ( $\epsilon/D$ ) (adimensional)

$L$  = longitud el tramo, m

$D$  = diámetro del conducto, m

$L/D$ = factor de forma

$PD$  = presión dinámica, mmcda



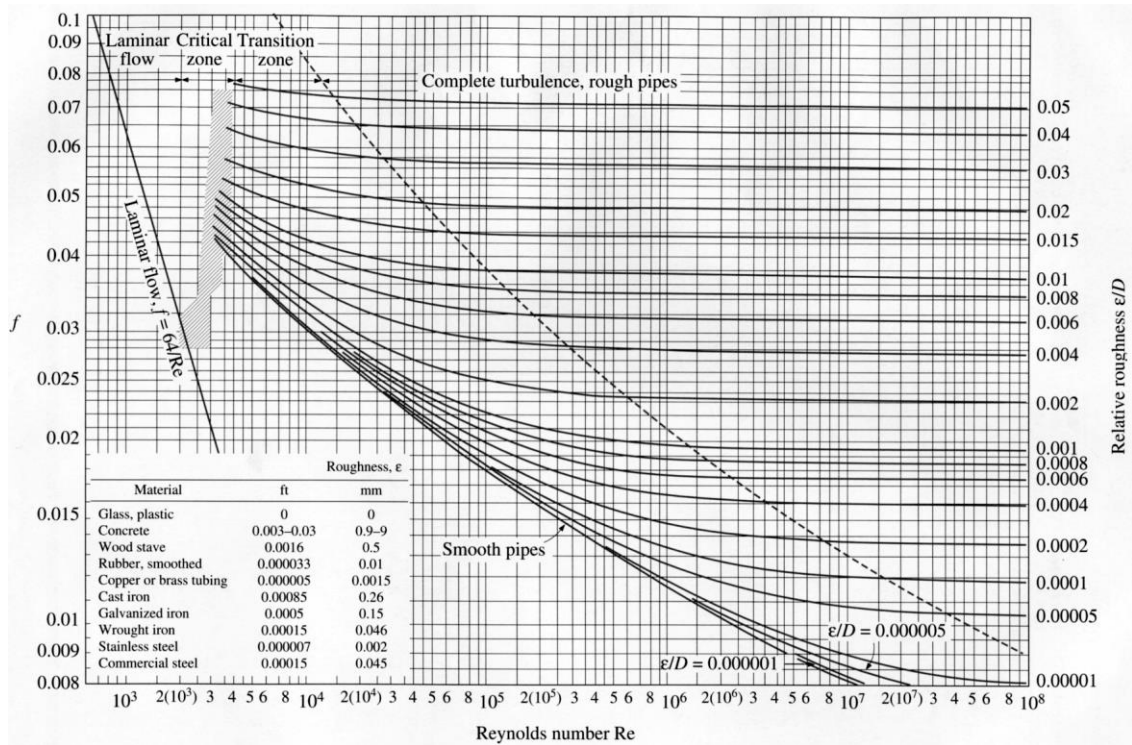
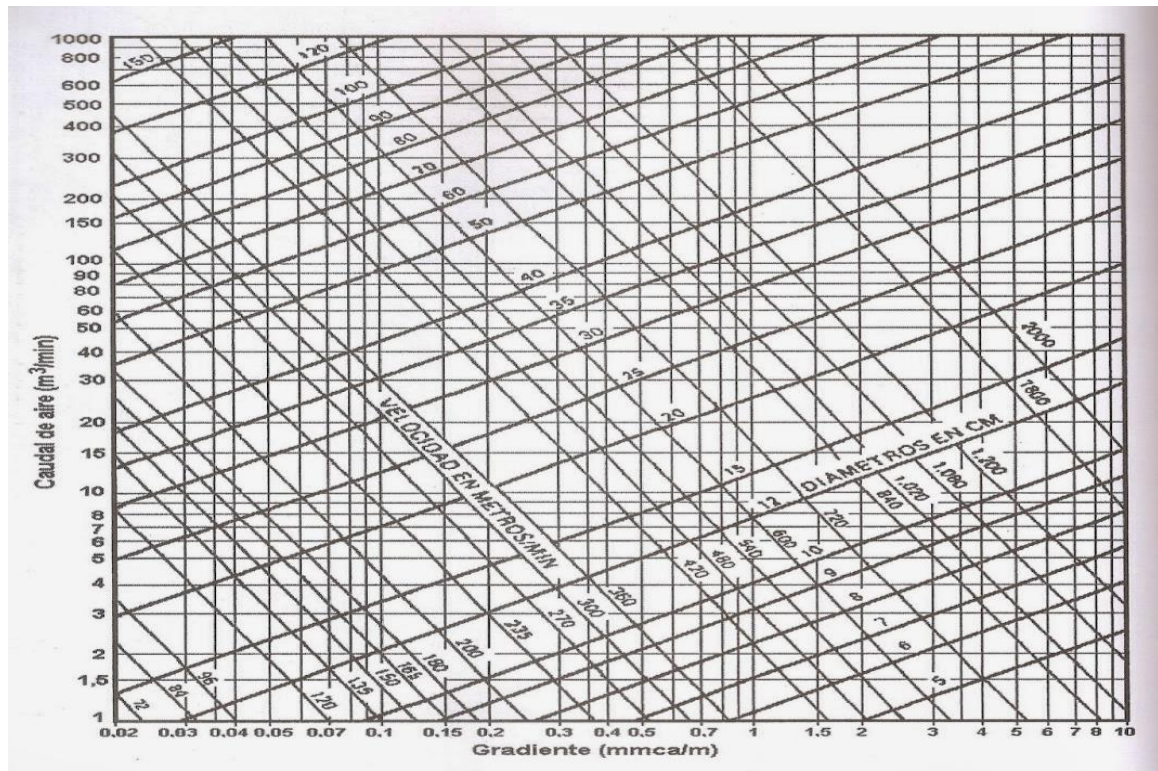


Figura 1.4. Diagrama de Moody

Si se dispone del siguiente monograma facilita la determinación de PC, en función de D (mm) y del caudal ( $m^3/min$ ) o de la velocidad (m/s).



### 1.5.2. Pérdida de carga en puntos singulares:

Los puntos singulares (codos, uniones, etc.) de un conducto también producen una pérdida de presión total. Estas pérdidas se calculan mediante uno de los *dos siguientes métodos*:

#### 1) Método de la presión dinámica

Este método se basa en el hecho de que todas las pérdidas de carga, por rozamiento en conductos y resistencia de forma por desprendimientos en accesorios, son función de la presión dinámica, y pueden ser calculadas multiplicando la presión dinámica por un factor. Los factores para campanas, conductos rectos, codos, uniones, y otros accesorios se indican en las Figuras 1.5 a 1.6.2. De esta manera sólo es preciso establecer al inicio del proceso de diseño los valores de los factores de pérdidas de codos y uniones. Para mayor comodidad, los factores de pérdidas están incluidos en las hojas de cálculo.

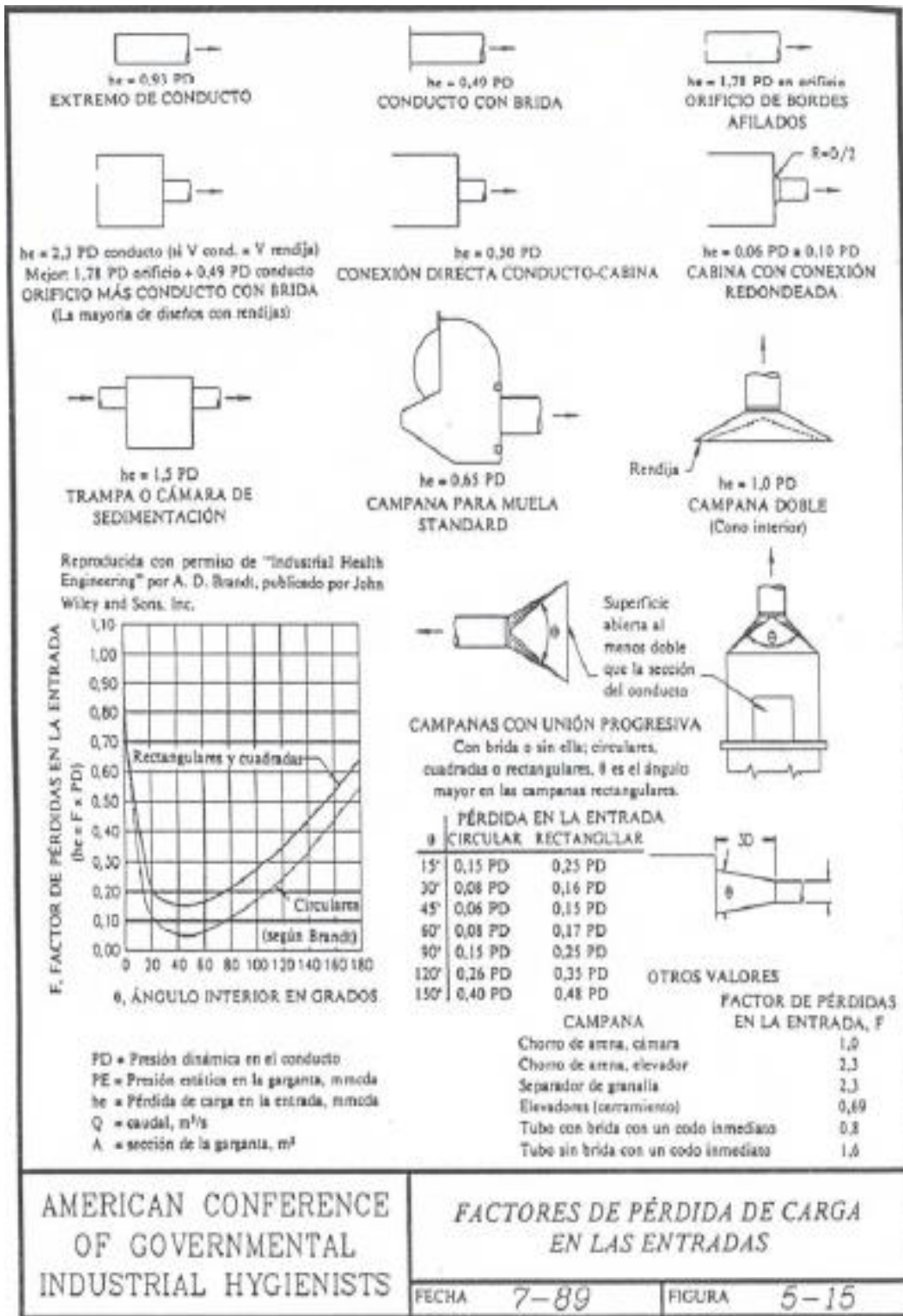


Figura 1.5. Factores de pérdida de carga en las entradas

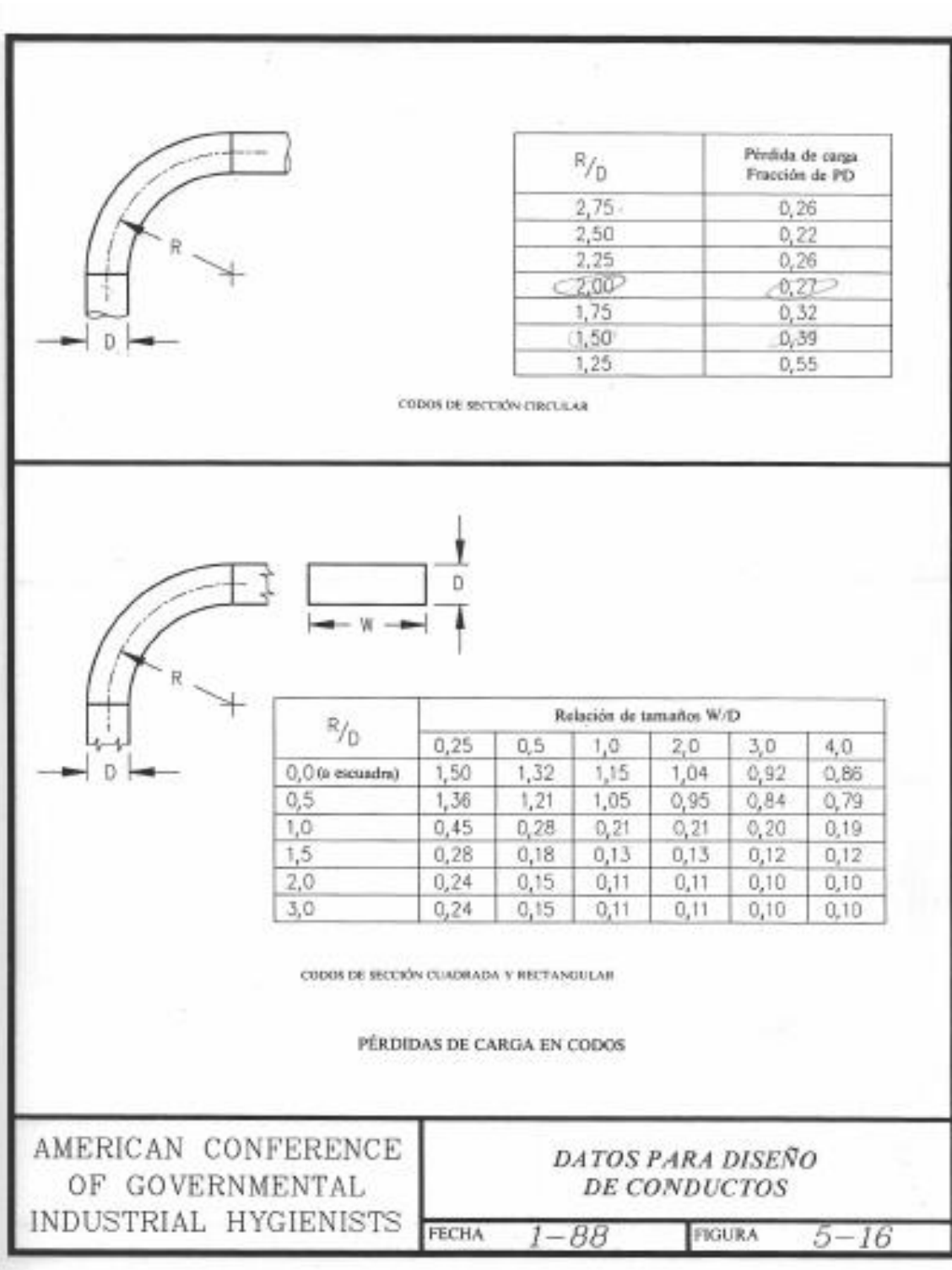


Figura 1.6. Factores de pérdida de carga en conductos

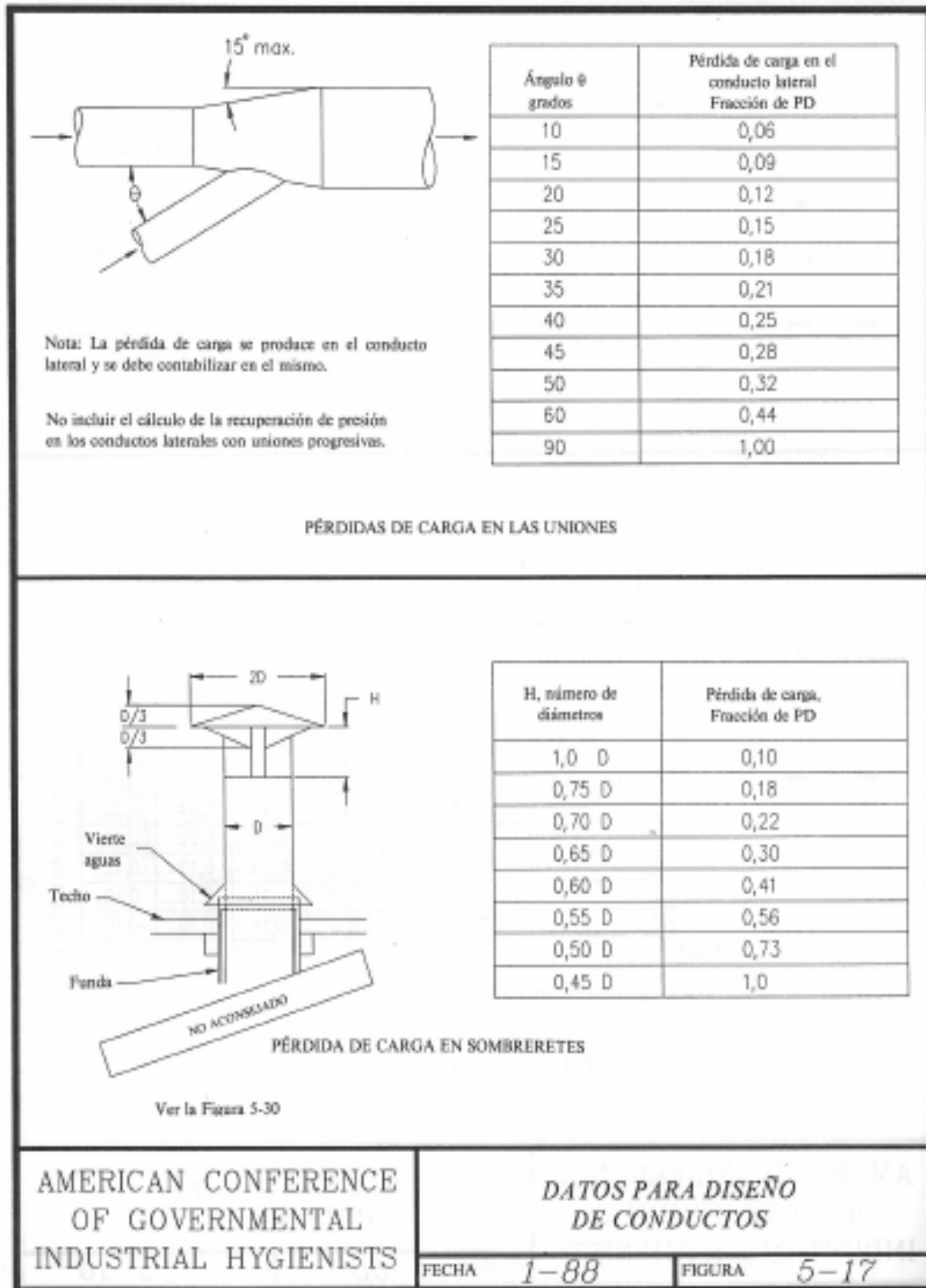


Figura 1.6.1. Factores de pérdida de carga en conductos



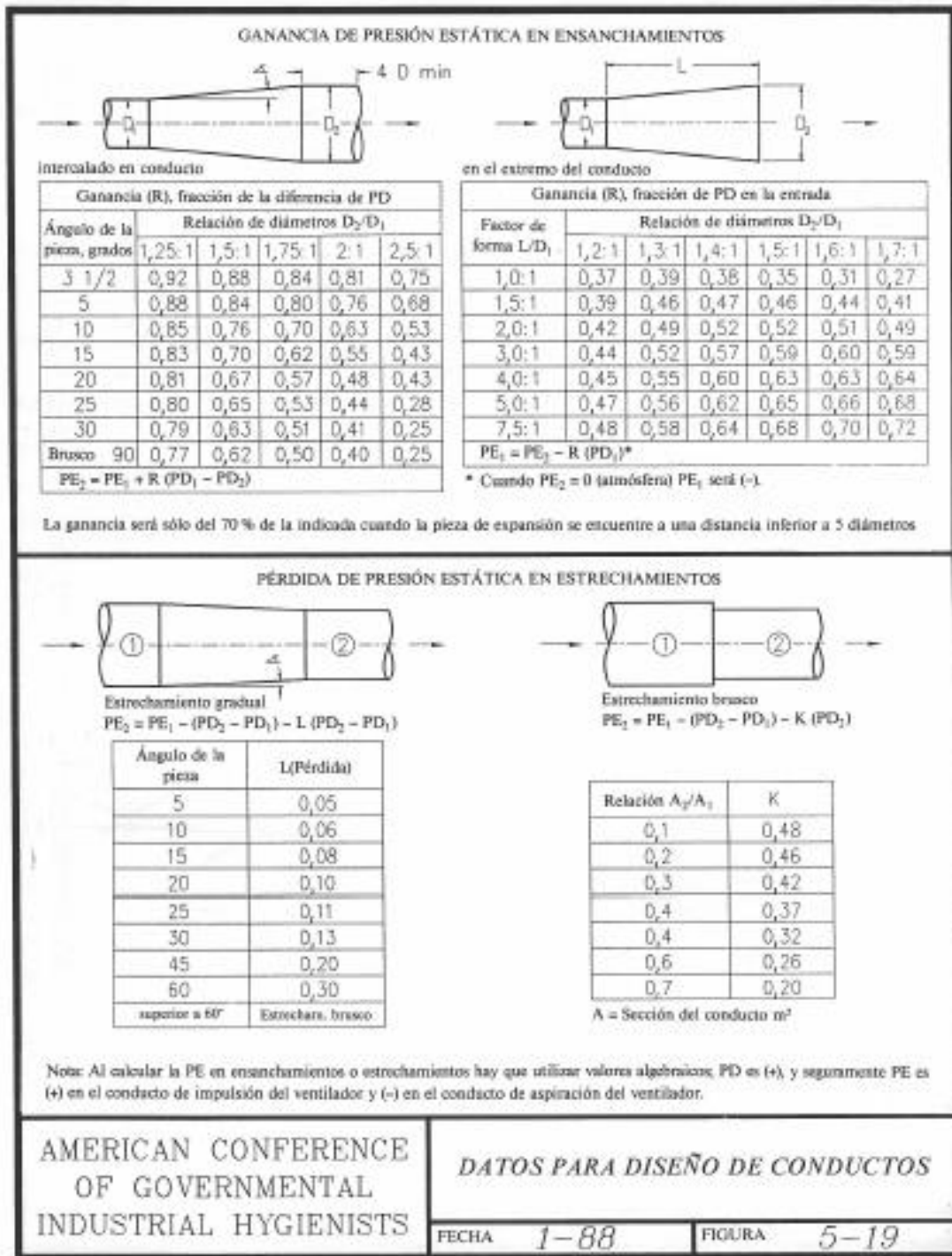


Figura 1.6.2. Factores de pérdida de carga en conductos

Las etapas que se indican a continuación permiten el cálculo de la pérdida de carga total de un tramo de conducto que empieza en una campana:

1. Calcular la velocidad real dividiendo el caudal por la sección del conducto disponible comercialmente.

Calcular la presión dinámica correspondiente a partir de la fórmula del Capítulo 1.

2. Calcular la succión en la campana (PEc) con la ecuación.

$$PEc = PDC + hec$$

PEc: Presión estática de la campana (mmcda)

hec: pérdida de carga en la entrada del conducto, mmcda.

PDC: presión dinámica en el conducto, mmcda.

3. Multiplicar la longitud de diseño del conducto por el factor de pérdida por unidad de longitud leído en la siguiente Figura.

4. Determinar el número y tipo de accesorios en el tramo. Para cada tipo de accesorio hay que determinar el factor de pérdidas y multiplicarlo por el número de accesorios.

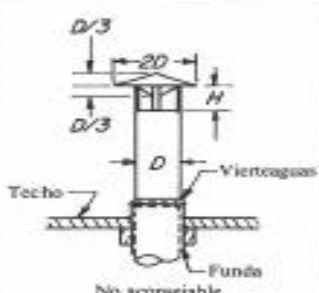
5. Sumar los resultados de las etapas 3 y 4, y multiplicarlo por la presión dinámica en el conducto. El resultado es la pérdida de carga del tramo en mmcda.

6. Sumar el resultado de la etapa 5 a la succión de la campana (PEc). También se debe sumar cualquier otra pérdida de carga que pueda darse en el tramo, como la provocada por un depurador por ejemplo, expresada en mmcda. El resultado es el requerimiento total de energía, expresada en términos de presión estática, necesario para hacer circular el caudal de diseño a través del tramo.

## 2) Método de la longitud equivalente

Este método es muy similar al anterior. Se diferencia en la forma de calcular las pérdidas por fricción y en accesorios. La longitud de conducto recto se determina igual que antes. Los accesorios se sustituyen por la longitud de un conducto recto que tenga la misma pérdida de carga. Estas longitudes equivalentes son función del diámetro del conducto, sus valores están indicados en la Figura 5-20. La longitud equivalente de los accesorios se añade a la longitud geométrica del tramo.

En la siguiente tabla se facilita las equivalencias en pérdidas entre el elemento considerado y un tramo recto de tantas veces su diámetro. Este método es muy sencillo pero adolece de la falta de datos referentes a multitud de variaciones cuando las conducciones son complicadas.

LONGITUDES EQUIVALENTES DE ACCESORIOS EN METRO																					
Diámetro en mm	Codo de 90° Radio de curvatura R			Ángulo de la unión		H. expresada en diámetros															
	1,5D	2,0D	2,5D	30°	45°	1,0 D	0,75 D	0,5 D													
	75	100	125	150	175	200	250	300		350	400	450	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
75	1,4	0,9	0,7	0,5	0,9	0,3	0,5	2,0													
100	2,0	1,3	1,1	0,8	1,3	0,5	0,8	3,4													
125	2,6	1,7	1,4	1,1	1,7	0,6	1,1	4,4													
150	3,2	2,2	1,8	1,4	2,2	0,8	1,4	5,5													
175	3,9	2,6	2,2	1,7	2,6	0,9	1,7	6,6													
200	4,6	3,1	2,5	2,0	3,1	1,1	2,0	7,8													
250	6,0	4,0	3,3	2,6	4,0	1,4	2,6	10													
300	7,4	5,0	4,1	3,2	5,0	1,8	3,2	13													
350	8,9	6,0	5,0	3,8	6,0	2,1	3,8	15													
400	10	7,0	5,8	4,5	7,0	2,5	4,5	18													
450	12	8,1	6,7	5,2	8,1	2,8	5,2	21													
500	14	9,2	7,6	5,9	9,2	3,2	5,9	23													
600	17	11	9,5	7,3	11	4,0	7,3	29													
700	21	14	11	8,8	14	4,8	8,8	35													
800	24	16	13	10	16	5,7	10	41													
900	28	19	15																		
1000	32	21	18																		
1200	39	26	22																		
1400	47	32	26																		
1600	55	37	31																		
1800	64	43	36																		
2000	72	49	40																		

\* Para codos de 60° — x 0,67  
Para codos de 45° — x 0,5

AMERICAN CONFERENCE OF  
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

*DATOS PARA DISEÑO DE CONDUCTOS*

FECHA *1-70* FIGURA *5-20*

Figura 1.7. Longitudes equivalentes de accesorio en metro



## 1.6. Ventajas e inconvenientes de ambos métodos

Equilibrado por diseño	Equilibrado por compuerta
1. Los caudales no pueden ser modificados fácilmente por los trabajadores o por deseo del operador.	1. Los caudales pueden ser modificados con facilidad. Estos cambios son necesarios cuando el proceso puede verse afectado si se captan cantidades excesivas de producto.
2. Poca flexibilidad para adaptar futuros cambios o ampliaciones. El conducto es un “traje a medida” para el trabajo.	2. En función del motor y del ventilador seleccionados existe una mayor flexibilidad para cambios futuros o ampliaciones
3. La selección de un caudal para una operación no conocida puede ser incorrecta. En este caso puede ser necesaria la revisión de los conductos.	3. La corrección de caudales mal estimados es relativamente fácil dentro de ciertos márgenes.
4. No se presentan problemas de abrasiones inusuales o acumulaciones de polvo.	4. En las compuertas parcialmente cerradas se pueden producir abrasiones y en consecuencia cambiar la pérdida de carga o bien aparecer acumulaciones de polvo.
5. Los conductos no se obstruirán si se eligen las velocidades adecuadas.	5. Los conductos se pueden obstruir si la compuerta está muy cerrada.
6. El caudal total puede ser superior al diseñado debido a necesidades de caudales adicionales para lograr el equilibrio del sistema.	6. El equilibrado se puede conseguir con el caudal teórico de diseño; sin embargo el consumo de energía es generalmente mayor que con el método de equilibrado por diseño.
7. La implantación del sistema debe ser conocida en detalle con medidas exactas de todas las longitudes de los tramos y de los pasos por obstáculos. La ejecución de la instalación debe adaptarse exactamente al esquema de implantación.	7. Son posibles pequeñas variaciones sobre el esquema de implantación.

*Tabla 2. Ventajas e inconvenientes de ambos métodos*

## CAPITULO 2. ESQUEMA DE INSTALACIÓN Y ELEMENTOS QUE LO COMPONEN

---

## 2. Esquema circuito de ventilación

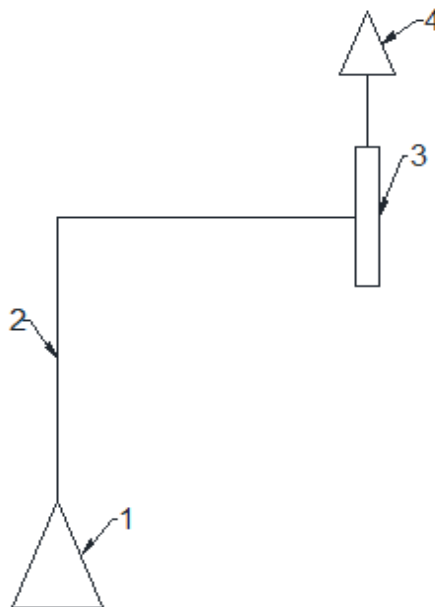
Antes de pasar a realizar los esquemas del circuito podemos hacer una clasificación de los sistemas por extracción localizada a lo que se refiere a su complejidad estructural.

Se clasifican en:

- Sistemas de VEL Sencillos o simples
- Sistemas de VEL ramificados o compuestos

### 2.1. Instalación sencilla

Esquema del circuito VEL para una instalación sencilla sería el siguiente:



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

- 1. Elemento de captación:** campana, cajón o cualquier otro elemento dispuesto para la captación del contaminante.

- 2. Elemento de conducción:** Tubería sea cual sea la sección transversal de la misma.
- 3. Elemento de aspiración:** ventilador, generalmente centrífugo por su facilidad para vencer pérdidas de carga.
- 4. Chimenea de salida:** Como sistemas con regulación de caudal mediante estos elementos.

En algunos sistemas es necesario instalar también los siguientes elementos:

- 5. Filtro de depuración:** unas veces instalados por la propia eficacia del circuito y otras por imperativo legal.

## 2.2. Tipos de elementos que componen un sistema de VEL

### 2.2.1. Campanas

La campana es el punto de entrada al sistema de extracción, y le daremos dicho nombre independientemente de cuál sea su configuración física. La función esencial de la campana es crear un flujo de aire que capture eficazmente el contaminante y lo transporte hacia la campana. En la Figura 2.1 se indica la nomenclatura asociada a las campanas de extracción.

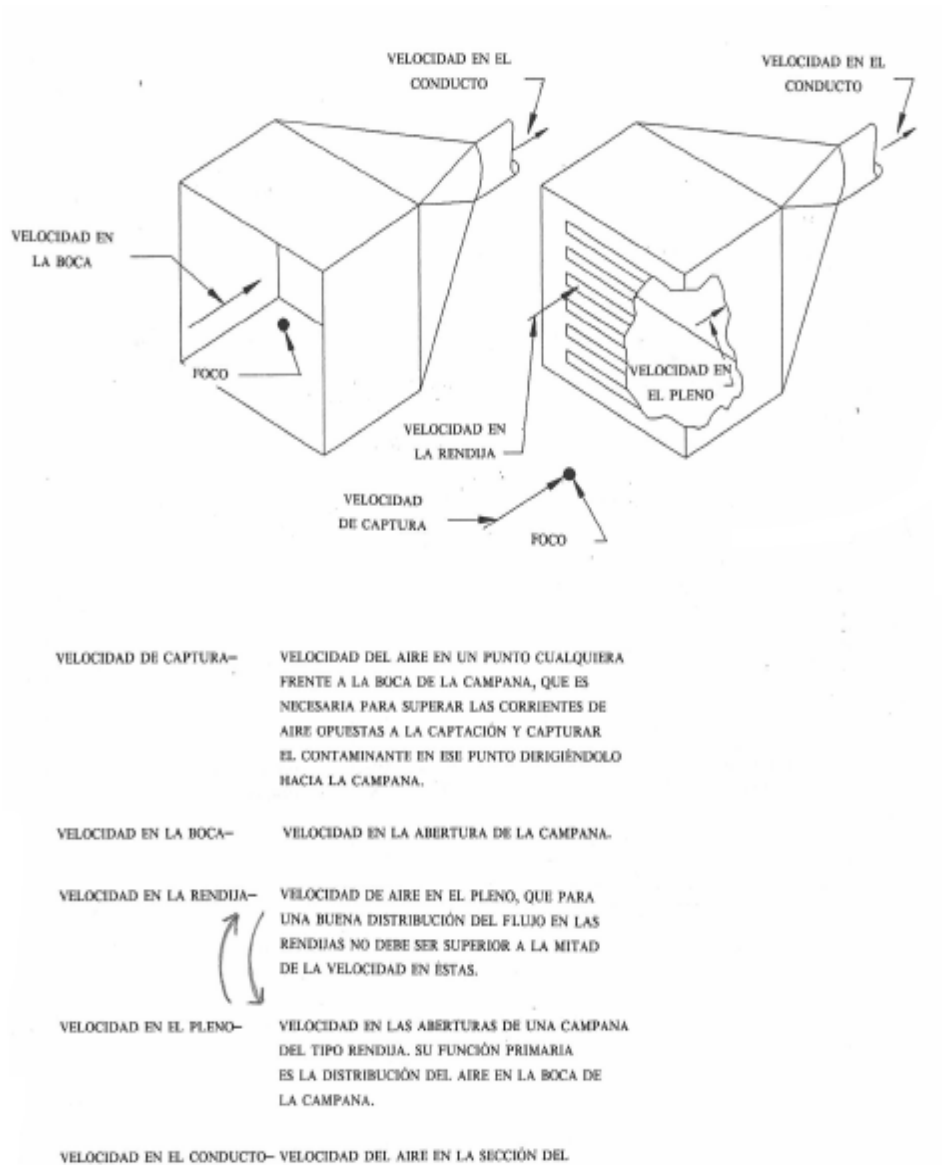


Figura 2.1 Campanas de extracción: Nomenclatura

### 2.2.1.1. Tipos de campanas

Aunque las campanas se construyen en una amplia variedad de configuraciones, es posible clasificarlas en dos grandes familias: *cabinas* y *campanas exteriores*. El tipo de campana a emplear dependerá de las características físicas del equipo o instalación, del mecanismo de generación de contaminante y de la posición relativa del equipo y el trabajador.

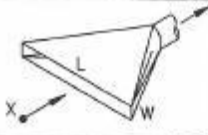

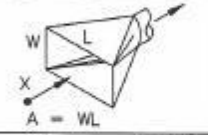
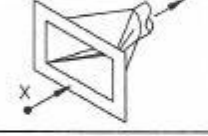
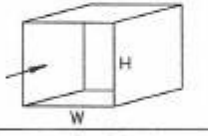
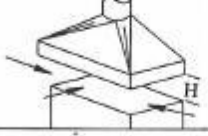
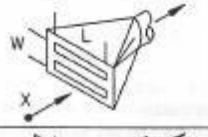
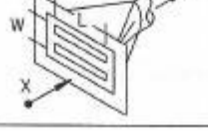
TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE FORMA W/L	CAUDAL
	RENDIJA	0,2 Ó MENOS	$Q = 3,7 LVX$
	RENDIJA CON PESTAÑA	0,2 Ó MENOS	$Q = 2,6 LVX$
	CAMPANA SIMPLE	0,20 Ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = V(10X^2 + A)$
	CAMPANA SIMPLE CON PESTAÑA	0,2 Ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$
	CABINA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = VA = VWH$
	CAMPANA ELEVADA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = 1,4 PVH$ VER VS-903 P = PERIMETRO H = ALTURA SOBRE LA OPERACIÓN
	RENDIJA MÚLTIPLE. 2 Ó MÁS RENDIJAS	0,2 Ó SUPERIOR	$Q = V(10X^2 + A)$
	RENDIJA MÚLTIPLE CON PESTAÑA. 2 Ó MÁS RENDIJAS	0,2 Ó SUPERIOR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$

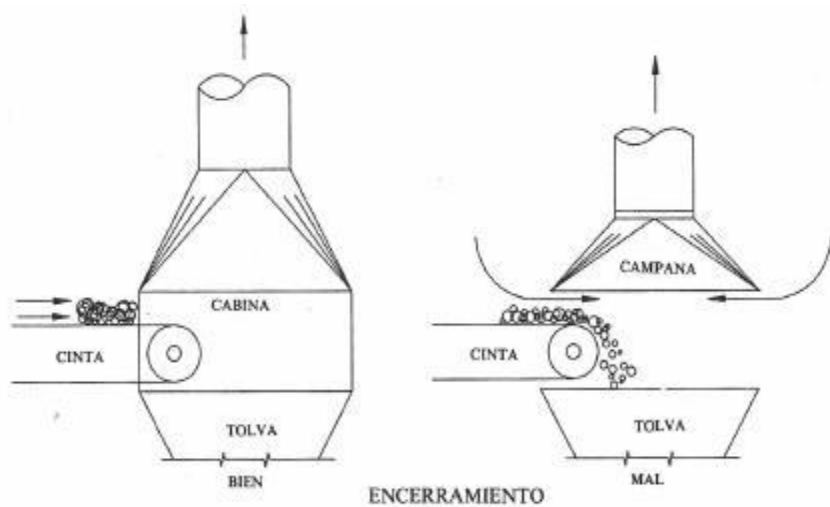
Figura 2.2. Tipos de Campanas de extracción

## Cabinas

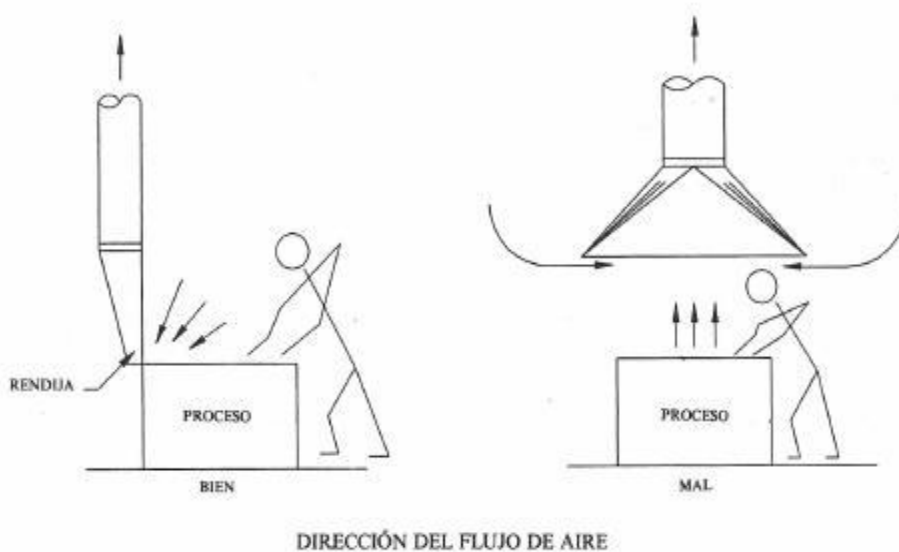
Las cabinas son campanas que encierran total o parcialmente el proceso o el punto de generación del contaminante. Una cabina completa sería, por ejemplo, una cabina de laboratorio con manoplas, donde no existen apenas aberturas. Una cabina parcial sería una campana de laboratorio o la clásica cabina de pintura. Una corriente de aire que

penetre en la cabina a través de su abertura retendrá el contaminante en el interior de la misma, impidiendo que llegue al ambiente de trabajo.

La cabina es el tipo de campana a elegir siempre que la configuración y funcionamiento del proceso lo permitan. Si no es posible un encerramiento completo debe emplearse un encerramiento parcial en la mayor medida posible.



ENCIERRE LA OPERACIÓN TANTO COMO SEA POSIBLE. CUANTO MÁS ENCERRADO ESTÉ EL POCO, MENOS AIRE ES NECESARIO PARA CONTROLARLO



SITÚE LA CAMPANA DE FORMA QUE EL CONTAMINANTE SEA ALEJADO DE LA ZONA RESPIRATORIA DEL TRABAJADOR

Figura 2.3. Tipos de Campanas de extracción

## Campanas exteriores

Denominamos campanas exteriores a las que se encuentran situadas adyacentes al foco de contaminante pero sin encerrarlo, como por ejemplo las rendijas a lo largo de la boca de una cuba o una abertura rectangular sobre una mesa de soldadura.

Cuando el contaminante es un gas, vapor o polvo fino, y no es emitido con una velocidad significativa, la orientación de la campana no es crítica. Sin embargo, si el contaminante incluye partículas grandes que son emitidas con una velocidad apreciable, la campana debe colocarse en la dirección de dicha emisión.

Si el proceso emite aire contaminado muy caliente, éste ascenderá por efecto de su menor densidad. El empleo de una campana exterior situada lateralmente a la corriente de aire ascendente puede no producir una captación adecuada a causa de que la corriente de aire inducida por la campana sea insuficiente para contrarrestar el flujo de aire de origen térmico. Esto será especialmente cierto para los procesos a muy alta temperatura, como los hornos de fusión. En tales casos puede ser indicado el empleo de una campana colocada en la parte superior del proceso.

Una variante de campana exterior es el sistema de impulsión-extracción. En este caso se impulsa un chorro de aire a través del foco contaminante, hacia una campana de extracción. El contaminante es controlado, esencialmente, por el chorro, mientras la función de la campana es "recibir" el chorro y aspirarlo. La ventaja esencial del sistema de impulsión-extracción es que el chorro impulsado puede desplazarse de forma controlada a través de una distancia mucho más grande de lo que es posible controlar el flujo de aspiración de una campana. El sistema de impulsión-extracción se utiliza con éxito para ciertas operaciones de tratamiento de superficies, donde se emplean cubas abiertas, pero es posible emplearlo en otros muchos procesos. Sin embargo, puede suceder que el



chorro de impulsión aumente la exposición de los trabajadores si no se diseña, instala o utiliza debidamente. Debe ponerse un especial cuidado en su diseño, ejecución y empleo.

### **2.3. Parámetros para el diseño de campanas**

La captación y control de los contaminantes se efectúa por el flujo de aire producido por la campana. El movimiento del aire hacia la abertura de la misma ha de ser lo bastante intenso como para mantener controlado al contaminante hasta que alcanza la campana. Los movimientos del aire generados por otras causas pueden distorsionar el flujo inducido por la campana y requerir caudales de aire superiores a fin de superar dichas distorsiones. La eliminación de las posibles causas de esos movimientos de aire es un factor importante para lograr un control efectivo del contaminante sin tener que recurrir a caudales de aspiración excesivos e incurrir en los elevados costes asociados a ellos.

Entre los orígenes importantes de movimiento de aire se encuentran:

- Los procesos a alta temperatura o las operaciones que generan calor, que dan lugar a corrientes de aire de origen térmico.
- Movimiento de la maquinaria, como muelas de desbarbado, cintas transportadoras, etc.
- Movimiento de materiales, como en la descarga de volquetes o el llenado de recipientes.
- Movimiento del operario.
- Corrientes de aire en el local (que se consideran habitualmente de 0,25 m /s pero pueden ser mucho mayores).
- Movimiento rápido del aire producido por equipos de enfriamiento o calentamiento localizado.

La forma de la campana, su tamaño, localización y caudal de aire son las principales variables de diseño.

### 2.3.1. Velocidad de captura

Se denomina velocidad de captura a la velocidad mínima del aire, producida por la campana, que es necesaria para capturar y dirigir hacia ella el contaminante. La velocidad de aire lograda es función del caudal de aire aspirado y de la forma de la campana.

Las campanas que aspiran caudales de aire excepcionalmente elevados (por ejemplo, las grandes campanas laterales empleadas para el desmoldeo en las fundiciones) pueden requerir caudales de aire menores que los que se deducen de las velocidades de captura recomendadas para campanas pequeñas. Este fenómeno puede atribuirse a:

- La presencia de grandes masas de aire en movimiento en dirección a la campana.
- El hecho de que el contaminante permanezca bajo la influencia de la campana durante un tiempo mayor que en el caso de campanas pequeñas.
- El hecho de que un caudal elevado proporciona una dilución considerable, tal como se ha expuesto anteriormente.

En la tabla que se muestra a continuación se presentan los diferentes tipos de velocidad de captura.

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplos	Velocidad de captura* (m/s)
<b>Liberación con velocidad prácticamente nula en aire quieto</b>	Evaporación, desengrase	0.25 a 0.50
<b>Liberación a baja velocidad en aire con movimiento moderado</b>	Soldadura, baños electrolíticos, decapado	0.50 a 1.0
<b>Generación activa en una zona de movimiento de aire rápido</b>	Aplicación aerográfica de pinturas, llenado de recipientes	1.0 a 2.50
<b>Liberación con alta velocidad inicial en una zona de movimiento de aire muy rápido</b>	Pulido, desbarbado, operaciones de abrasión en general	2.50 a 10.0

*Tabla 3: Valores recomendados para la velocidad de captura*

\*Se adoptarán valores en la zona inferior o superior de cada intervalo según los siguientes criterios:

Inferior	Superior
<b>Local con pocas corrientes de aire</b>	Local con corrientes turbulentas
<b>Baja toxicidad de los contaminantes</b>	Alta toxicidad de los contaminantes
<b>Intermitencia de las operaciones</b>	Operaciones continuas
<b>Campanas grandes y caudales elevados</b>	Campanas de pequeño tamaño

*Tabla 4: Valores zona inferior o superior*

### 2.3.2. Cálculo del caudal de aspiración

El aire se mueve hacia la boca de aspiración de una campana desde todas direcciones, salvo por las limitaciones fijadas por la existencia de pantallas deflectoras, paredes y otros impedimentos físicos. Para una cabina, la velocidad de captura en su(s) abertura(s) es el cociente de dividir el caudal de extracción por el área de la(s) abertura(s). La velocidad de captura en cualquier punto exterior a la campana será la que corresponda a la superficie de igual velocidad que pasa por ese punto para el caudal de aspiración empleado.

### 2.4. Elementos de conducción (Tubería)

El conducto circular es la solución que se aplica en la mayoría de instalaciones de ventilación, extracción humos, climatización y calefacción.

El tipo de tubería circular que se utiliza es:

- Rígida

- Acero galvanizado (generalmente helicoidal)
- Inoxidable (helicoidal y liso)
- Diámetros: 80 – 1500 mm
- Gran diámetro: 1500 – 2500 mm
- Espesores: 0.5 – 2.5 mm
- longitudes: 3 y 5 m

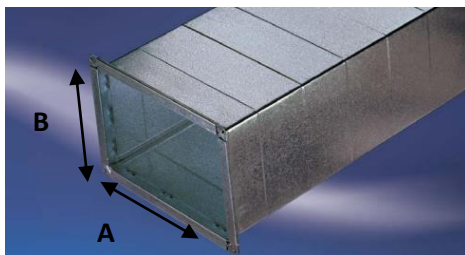


Tubería flexible circular:

- Aluminio
- Diámetro: 80 – 400 mm



Tubería rígida rectangular: acero galvanizado



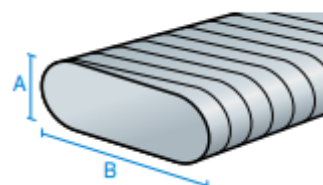
A: 400 – 2000 mm

B: 200 – 1400 mm

Tubería oval rígida: Acero galvanizado (helicoidal)

A: 100 – 500 mm

B: 320 – 1690 mm



## 2.5. Ventiladores

### 2.4.1. Generalidades

Un ventilador, en la acepción más amplia del vocablo, es una turbomáquina que transfiere, con un determinado rendimiento, potencia a un fluido comunicándole una sobrepresión e incrementando su movimiento.

Concretando un poco más en cuanto a la sobrepresión alcanzada por el fluido, llamaremos Ventilador, simplemente, cuando aquella sea inferior a 700 mmcda, Soplante si no sobrepasa los 2.000 mmcda y Turbocompresor cuando se trate de mayores presiones, hasta las máximas posibles.

Nosotros nos ocuparemos exclusivamente de los Ventiladores.

### 2.5.2. Clasificación

La primera clasificación de los ventiladores aparece al atender a la trayectoria que sigue el fluido al pasar por ellos. Según este concepto los agruparemos en tres grandes familias:

- Ventiladores Axiales
- Ventiladores Centrífugos
- Ventiladores Tangenciales

La segunda clasificación la haremos atendiendo a la utilización de ventilador y según ella los llamaremos:

- Extractores
- Tubulares
- C. Impulsores

En la figura 2.4 se representa un ejemplo de aplicación de cada una de las clasificaciones:

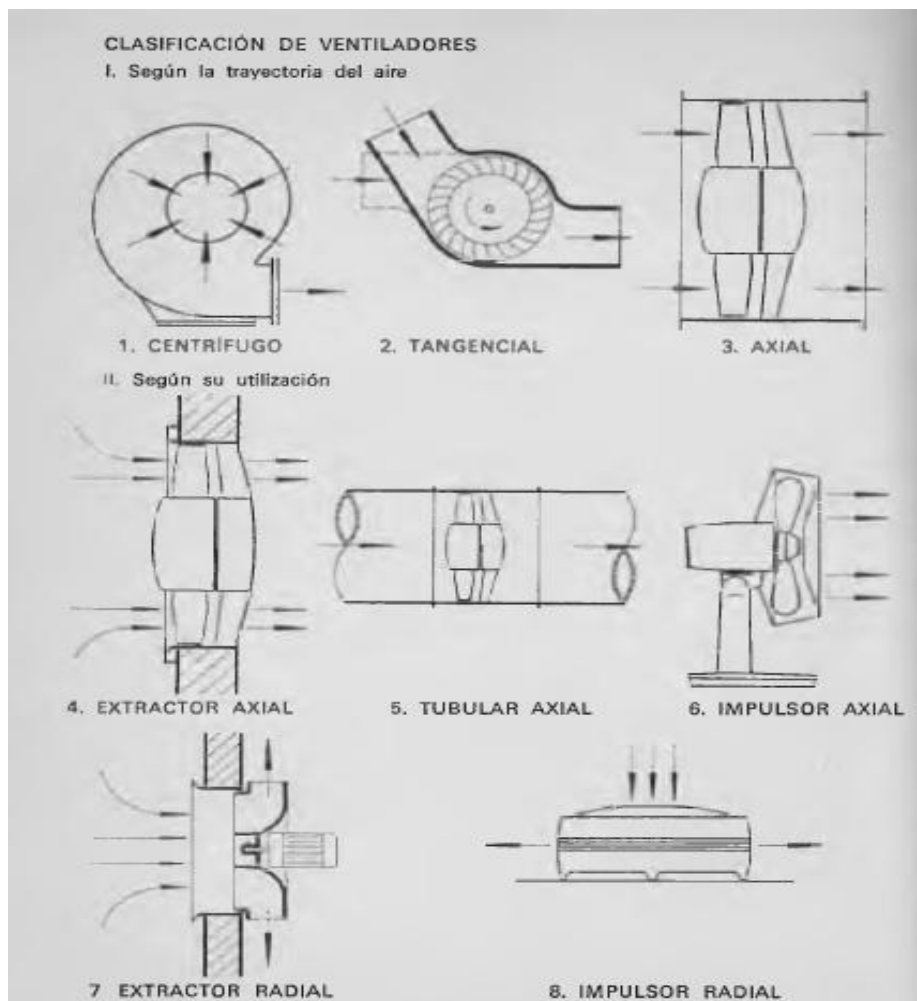


Figura 2.4. Clasificación de los ventiladores

### 2.5.2.1. Ventiladores axiales

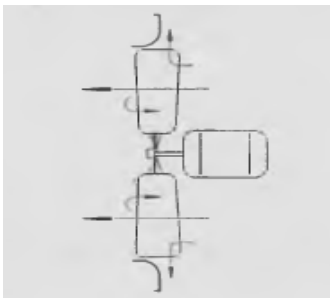
En este tipo de ventiladores el fluido sigue la dirección del eje del rodete estando alineadas la entrada y la salida del mismo.

En su forma más simple constan de un rodete con alabes inclinados respecto al eje al que puede ir acoplado directamente el motor, lo que representa ya de entrada una ventaja pudiendo prescindir de correas o de otros órganos de transmisión. Los alabes pueden ser

de disco, o sea de chapa metálica de espesor constante y anchura notable o bien estrechos y de grosor variable como las hélices de los aviones o del perfil de las alas de los mismos.

La utilización de ventiladores axiales ha entrado en franco auge en los últimos años, tanto en el campo de las bajas presiones y grandes caudales como en el de altas presiones. Han desplazado en muchos casos a los centrífugos utilizados para ventilación de grandes minas y decididamente lo han hecho en el campo de los compresores, especialmente en motores con turbinas de gas. Como resultado de utilizar longitudes de paso de aire más cortas y evitar cambios perpendiculares de dirección como en los centrífugos, se han rebajado notablemente los rozamientos alcanzándose fácilmente rendimientos del 70 al 80 % y más aún en grandes ventiladores en los que llega incluso al 90 %.

El bajo coste de un ventilador axial por otra parte, su facilidad de montaje en medio de una canalización en línea recta sin necesidad de cambios de dirección y la ventaja de que en caso de emergencia pueden trabajar de forma reversible, les han hecho ganar rápidamente terreno. (Figura. 2.5)



*Tabla 2.5: Valores recomendados para la velocidad de captura*

La capacidad de propulsión de las palas de una hélice axial varía según sea la forma de las mismas. Para un mismo diámetro y una misma velocidad desplazarán más aire y de una forma más silenciosa unas palas anchas y curvadas que unas planas y estrechas. Una hélice de alabes estrechos deberá girar a mayor velocidad que una de palas anchas para dar el mismo caudal y como, por otra parte, las palas estrechas vibran con mayor facilidad y

provocan mayores turbulencias del aire, el resultado es de un funcionamiento de mayor ruido que el de aquellas.

Las hélices de palas anchas tienen, en cambio, el inconveniente de no poder vencer presiones ni medianas, siendo su principal campo de aplicación cuando la descarga pueda ser libre. Si se les opone cualquier resistencia al paso del aire, por encima de unos 10 mmcda., encontramos en seguida remolinos de aire de los extremos de las palas hacia el cubo y desprendimientos radiales tal como se muestra en la Figura. 2.5.

Tanto si son de palas anchas como estrechas, cuando los ventiladores se destinan a hacer pasar el aire de una cara de una pared a la otra, se les conoce comúnmente con el nombre de Extractores, siendo por lo general aparatos de característica muy plana capaces de manejar volúmenes de aire a presiones débiles.

Cuando se pretenda alcanzar presiones superiores a la señalada, llegando hasta unos 60 mmcda., los ventiladores axiales adoptan Tubular Axial, entubados dentro de un envolvente, conociéndoseles con el nombre general de Tubulares. Las palas de estos aparatos son del tipo estrecho, generatrices alabeadas y perfiles de grosor desigual tomando la forma de las secciones de las alas sustentadoras de los aviones y de ahí que se les conozca con el nombre de perfiles de Ala Portante. Por ser muy importante estos perfiles y constituir la base sobre la cual se han desarrollado la inmensa mayoría de los ventiladores axiales vamos a dedicar un espacio descriptivo de los mismos.

#### **2.5.2.1.1. La Presión**

Además de la forma de las palas, la presión depende también de la llamada relación de cubo, esto es, del cociente entre el diámetro exterior del rodete y el del cubo, siendo tanto mayor aquella como más elevado sea este, debiendo procurarse no rebasar no obstante cierto límite, ya que por encima del mismo los alabes quedan tan disminuidos que ya no



les son de aplicación los cálculos como ala portante. Así pues, en general, puede decirse que para una misma velocidad periférica y diámetro exterior, las hélices con cubos grandes dan mayores presiones, aunque ello sea a costa de sacrificar algo el caudal que proporcionan.

A igualdad de diámetro exterior de hélice y de cubo, la presión alcanzada es función de la superficie total de los alabes prescindiendo en esta cuenta de la superficie de superposición cuando las palas se proyectan en parte sobre las otras.

Puede por tanto conseguirse la misma presión con pocas palas pero anchas que con muchas y estrechas, mientras tengan la misma superficie proyectada en conjunto.

La holgura existente entre el diámetro del rodete de un ventilador axial y el de su envolvente tubular tiene una gran importancia en cuanto a la presión de que es capaz el mismo. El caso ideal sería con holgura cero, o sea los dos del mismo diámetro, pero en la práctica esta separación queda supeditada a las posibles precisiones de construcción aunque nunca debería sobrepasarse el 0,5 % del diámetro en holgura. Los ventiladores de calidad suelen alcanzar el 0,1 %. La holgura excesiva es también causante de ruido en el funcionamiento del aparato.

#### **2.5.2.1.2. El Caudal**

El caudal en cambio depende del grado de inclinación de los alabes respecto al eje. Un mismo ventilador, a una misma velocidad, puede dar caudales distintos sin más que variar la inclinación de sus palas. Existen ventiladores basados en esta propiedad que pueden cambiar el ángulo y así ajustarse exactamente al caudal que se les exija. Como es natural, los dispositivos a que hay que recurrir para ello encarecen fuertemente el aparato.

En caso de utilizar fuertes ángulos de alabes puede llegarse a un punto de trabajo donde la presión baje súbitamente y el aparato acuse una inestabilidad de funcionamiento lo que se

refleja en la curva característica por un retroceso de la presión al bajar el caudal. A ese punto se le llama de retroceso y es conveniente evitarlo haciendo trabajar el aparato en caudales mayores y presiones más bajas. En el caso simple de un ventilador axial en el que el aire entra en trayectoria rectilínea paralela al eje, al pasar por la hélice, adquiere un movimiento rotacional del mismo sentido que ella. Es indudable que la energía utilizada en imprimir esta rotación al fluido es en detrimento de la empleada en aumentar su presión, por lo que en definitiva podemos considerarla como una pérdida de presión. Si por algún medio se logra que desaparezca la rotación del aire se consigue un aumento de presión del mismo, siendo de interés que se haga con el mínimo de pérdida de energía.

De dos maneras distintas se procede para lograr hacer desaparecer esta rotación, o sea para «enderezar» el flujo de aire al salir del rodete, que son 'a base de instalar otra hélice que recibe el nombre de Directriz, pudiendo ser de alabes fijos o de alabes móviles.

### 2.5.2.2. Ventiladores centrífugos

La trayectoria del fluido en un ventilador centrífugo sigue la misma dirección del eje del rodete a la entrada del ventilador y esta perpendicular al mismo a la salida.

Si a la salida del rodete se deja libre el paso del fluido en todas direcciones el ventilador se llama Radial y si, en cambio, se recoge con una envolvente en espiral para descargarlo en una sola dirección, se llama Ventilador de Voluta.

En la figura 2.6 tenemos un ejemplo de este último.

Dentro de los centrífugos, los ventiladores más importantes desde el punto de vista industrial son los de voluta y a ellos vamos a dedicar nuestra atención entendiéndolos así en adelante aunque se los llame simplemente centrífugos.

Así pues un ventilador centrífugo consta de un rodete con paletas o alabes y una envolvente del mismo que canaliza el aire de salida en dirección perpendicular al eje. Su funcionamiento, de una forma simple, podemos explicarlo como sigue: Al girar el rodete, los alabes lanzan el aire por centrifugación en el sentido de la rotación siendo recogido por la voluta que, con sección transversal creciente, lo lleva hasta la salida. Al mismo tiempo se produce una aspiración en dirección del eje que recoge aire para reemplazar el vacío provocado en la expulsión llevada a cabo por las paletas.

La velocidad absoluta de la salida del aire de los alabes es lo que caracteriza al ventilador centrífugo y como tal velocidad depende de la forma de esos alabes podemos considerar como un factor determinante del aparato las posibles variantes de los mismos.

#### **2.5.2.2.1. Clasificación**

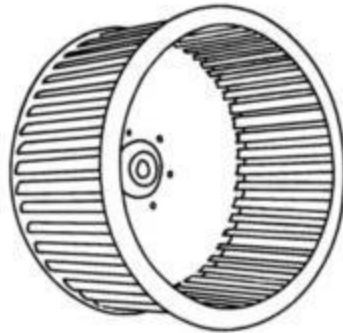
Tres son las formas más usuales de alabes y también las más importantes y a ellas nos referimos:

- a) Alabes curvados adelante
- b) Alabes radiales, rectos o curvos
- c) Alabes curvados atrás

##### **A. Ventiladores Centrífugos de álabes curvados adelante**

El triángulo de velocidades de salida de este rodete nos muestra como su velocidad absoluta es muy elevada. Es un ventilador para altas presiones que suele construirse con alabes cortos y en gran número, figura 2.7. Su rendimiento es bajo fuera del punto exacto de su proyecto, pero para un caudal y presión determinados resulta un aparato más

pequeño y puede funcionar a más baja velocidad que los otros dos, lo que le hace muy apropiado para instalaciones de tiro forzado.



*Figura 2.6. Ventilador Centrífugo de álabes curvados adelante*

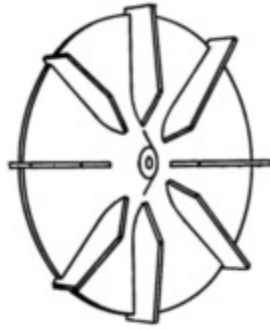
Su característica de potencia absorbida crece rápidamente con el caudal suministrado lo que exige un cuidadoso cálculo de la pérdida de carga de la instalación para no sobrecargar el motor. Su funcionamiento es bastante inestable y no es apto para funcionar en paralelo con otro, ya que siempre llega a sobrecargarse con el trabajo de los dos. Esto puede paliarse, no obstante, accionando los dos aparatos con el mismo motor.

No debe utilizarse este tipo de rodete en aquellos casos que el aire contenga materias abrasivas, ya que con la alta velocidad y la curvatura de los álabes, estos llegan a erosionarse rápidamente.

### **B. Ventiladores Centrífugos con álabes radiales**

Estos son los más clásicos y los que se han venido haciendo desde más antiguo.

Suelen construirse con las paletas largas, rectas, prolongadas hasta casi el cubo del rodete y resultan muy apropiados para transporte neumático de materiales, ya que deslizan mejor sobre paletas rectas que curvadas, auto limpiándose si trasiegan aire cargado de polvo.



*Figura 2.7 Ventilador Centrífugos de álabes radiales*

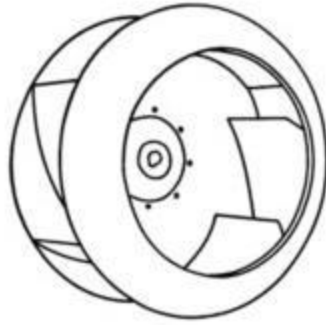
Son de funcionamiento estable y su característica de potencia absorbida aumenta con el caudal, aunque de forma discreta que no hace peligrar el motor por sobrecarga si se prevé un tanto holgado. Permiten acoplarse en paralelo con un rendimiento aceptable.

Para evitar choques del aire a la entrada de los alabes se construyen también estos con una curvatura apropiada en su arranque aunque la velocidad relativa sigue radial a la salida, consiguiendo así un mejor rendimiento.

### **C. Ventiladores Centrífugos con álabes curvados atrás**

Son los ventiladores de mayor rendimiento, ya que los alabes acompañan con su curvatura al aire a su paso evitando choques, remolinos y desprendimientos.

Se construyen con alabes más largos que los inclinados hacia adelante resultando canales de un ensanchamiento gradual más suave que en aquellos (figura. 2.8).



*Figura 2.8 Ventilador Centrífugo de álabes curvados atrás.*

La característica de su presión decrece continuamente desde el valor máximo, que corresponde al caudal cero, y la de la potencia absorbida aumenta hasta un valor a partir del cual va bajando y, decididamente, cae en la región de grandes volúmenes. No existe peligro que sobrecargue el motor al trabajar libremente.

Para alcanzar las presiones y volúmenes de los otros tipos debe funcionar a gran velocidad lo que constituye uno de sus inconvenientes, ya que exige una construcción sólida e indeformable. Su envolvente también debe ser mayor que la de los otros tipos, aunque suele soslayarse este inconveniente construyendo rodetes más anchos.

Este es el tipo de ventilador más usado en acondicionamiento y ventilación, ya que, por otra parte, es el más silencioso.

### **2.5.3. Curva característica de un ventilador**

El ensayo de ventiladores tiene por objeto determinar la capacidad del aparato en transferir potencia al aire que vehicula, siendo su expresión más caracterizada la que resulta de atender al caudal que proporciona y a la sobrepresión que le comunica. Para ello se hace trabajar el ventilador en condiciones determinadas por la normalización que se siga, obteniéndose siempre una relación de caudales distintos y sus correspondientes presiones. Llevando unos y otros a unos ejes coordenados puede trazarse una gráfica que

representara la totalidad de puntos de trabajo de que es capaz el aparato. Completada la gráfica con curvas relativas a potencia absorbida y rendimiento de cada punto, tendremos la llamada Curva Característica del ventilador, o simplemente Característica.

En la figura 2.9 hemos representado una característica tipo y sobre la misma podemos observar como varían cada una de sus magnitudes. La diferencia de las ordenadas correspondientes a las curvas de presión total y estática en cada punto da el valor de la presión dinámica en el mismo, directamente ligada al caudal que proporciona. A escape libre, esto es, cuando la presión estática es cero, o sea igual a la atmosférica, la presión total es igual a la dinámica y con el ventilador completamente obturado, o sea con caudal cero  $Q = 0$  la presión total es la máxima e igual a la estática, cumpliéndose en todo momento  $P_t = P_e + P_d$ .

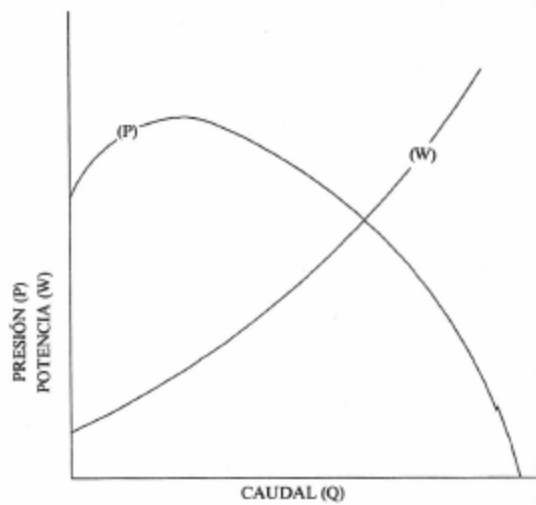


Figura 2.9 Curva Características de un Ventilador

La característica de un ventilador es la mejor referencia del mismo, ya que siempre nos indicara su capacidad en función de la presión que le exijamos.

### 2.5.4. Punto de Trabajo de un ventilador

Hemos hablado ya de la Curva Característica de un ventilador, o sea la gráfica representativa de los caudales que puede proporcionar en función de la presión que se le exija rodando a una determinada velocidad y hemos mencionado también lo que era la Característica de un Sistema, esto es, la gráfica que muestra las presiones que son necesarias para hacer circular caudales distintos a través de un sistema de conductos, filtros, compuertas, desviaciones, etc., pues bien, se llama punto de trabajo de un ventilador el de la intersección de las Curvas Características del mismo y la Característica del Sistema al que se le acople. El caudal y presión del tal punto son los que corresponderán al acoplamiento figura 2.10.

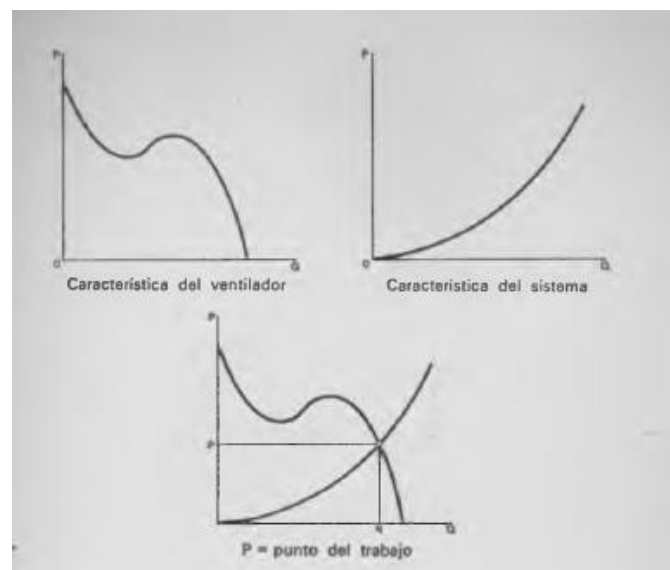


Figura 2.10. Características de un Ventilador. Característica del sistema y Punto de Trabajo.

La característica del ventilador depende solamente de este y para un ventilador concreto solo variara si trabaja a una velocidad distinta, siendo del todo independiente del sistema de conductos al que se acople e igualmente, la característica de este, es independiente del



ventilador acoplado modificándose solamente si se obstruyen los filtros con suciedad, de si están más o menos abiertos los registros, etc.

#### 2.5.4.1. Regulación del Punto de Trabajo

Precisamente, variando la posición de los registros, o sea estrangulando el paso del aire, se modifica la característica del sistema y se obtienen puntos de trabajo distintos con el mismo ventilador, tal como indica la figura 2.11 siendo este un procedimiento para regular el caudal de una conducción.

Este sistema tiene el inconveniente de que se reduce el caudal absorbiendo una potencia no proporcionada al mismo, sobre todo en los ventiladores axiales que varía poco con el volumen de aire trasegado. La forma ideal de regular el caudal es a base de actuar sobre la velocidad del ventilador pues, aunque resulta de mayor costo la instalación, ya que exige medios mecánicos, eléctricos o incluso varios motores como el caso de instalaciones de varias etapas, queda plenamente compensado por la disminución de los gastos de mantenimiento.

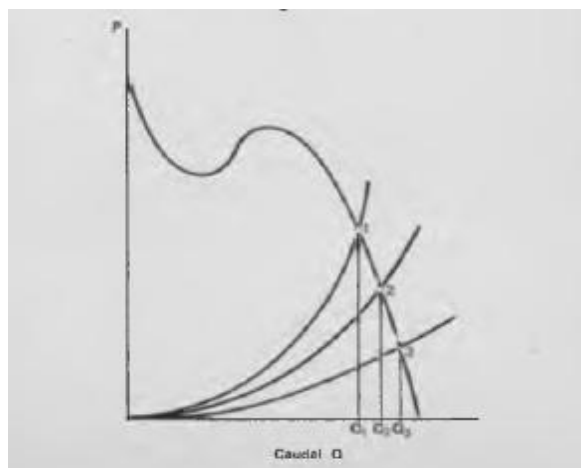


Figura 2.11: Regulación del Punto de Trabajo

## 2.6. Instalación y Mantenimiento de los ventiladores

Los ensayos para determinar el caudal, la presión y el consumo de potencia de un ventilador se realizan en condiciones ideales entre las que se incluyen un flujo uniforme y rectilíneo en la entrada y salida del ventilador. Sin embargo, si en la práctica las conexiones de los conductos al ventilador originan un flujo no uniforme, las características y el rendimiento del ventilador se verán afectados. La situación y la instalación del ventilador deben hacerse teniendo en cuenta estos elementos del conducto para minimizar las pérdidas. Si se deben utilizar conexiones desfavorables, hay que corregir los cálculos adecuadamente. Una vez que el sistema ha sido construido y se encuentra en operación, es necesario practicar inspecciones y mantenimientos rutinarios para conseguir que funcione permanentemente en las condiciones del diseño original.

**Efectos del sistema:** Los efectos del sistema se definen como la estimación de las pérdidas de rendimiento del ventilador debidas al flujo no uniforme del aire. En la figura 2.12. se ilustra la pérdida de rendimiento del ventilador en un sistema. Las pérdidas de carga del sistema se han determinado con precisión y se ha seleccionado un ventilador adecuado para trabajar en el Punto 1. Sin embargo, no se ha previsto el efecto de la conexión del ventilador al sistema.

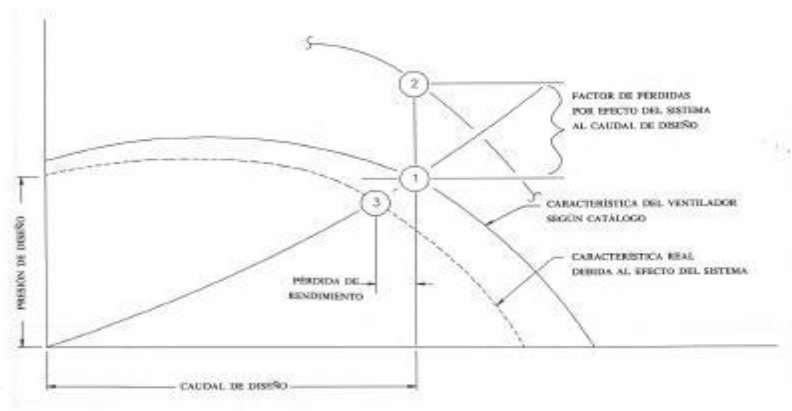


Figura 2.12 Factor por efecto del sistema

El punto de intersección de la curva efectiva de funcionamiento del ventilador y la curva del sistema es el punto 3. El caudal resultante será por lo tanto deficiente en la

Diferencia entre los puntos 1 y 3. Para compensar este efecto del sistema, es necesario añadir un “factor de efecto del sistema” a la presión calculada. Éste será igual a la diferencia de presiones entre los puntos 1 y 2 y debe añadirse a las pérdidas de carga calculadas para el sistema. El ventilador se seleccionará para trabajar en este punto de mayor presión (punto 2) pero funcionará en el punto 1 debido a la pérdida de rendimiento que ocasiona la conexión al sistema.

La magnitud del cambio en el rendimiento ocasionada por codos u otras obstrucciones situadas muy cerca de la entrada o salida de un ventilador se pueden estimar con la ecuación:

*Incremento de la presión estática del sistema = Factor de efecto del sistema x PD.*

Unas condiciones de flujo no uniforme pueden ocasionar un torbellino en la corriente de aire que entra en un ventilador. Estas situaciones se pueden originar por un mal diseño de la caja de entrada al ventilador, codos o conductos múltiples cerca de la entrada o por muchas causas. Puesto que los orígenes de torbellinos en la entrada son muy variados no existen tablas que indiquen los Factores de efecto del sistema. En los casos en que no se pueda evitar un vórtice o torbellino en la entrada, o se descubra su existencia en una instalación ya construida, el uso de aletas-guía, láminas de división del flujo o enderezadores reducirá el efecto.

**Inspección mantenimiento:** El uso habitual y/o la acumulación de materiales sobre las palas de un rodete puede ocasionar el debilitamiento de su estructura y/o vibraciones importantes. Si la vibración es muy intensa, el daño puede alcanzar también a los rodamientos y a la propia estructura del ventilador. El sentido de giro de un ventilador puede cambiarse de forma inadvertida, al realizar reparaciones, por modificación de los conexiones eléctricos. Un ventilador centrífugo girando en sentido contrario vehicula una fracción de su caudal nominal, y por lo tanto la inversión del sentido de giro sólo se

manifiesta en forma de pérdida de caudal en el sistema de extracción localizada. Se recomienda una inspección rutinaria de los ventiladores.

Los aspectos a controlar deben ser, entre otros:

1. Temperatura de los rodamientos (el engrase debe estar programado).
2. Vibración de la carcasa y rodamientos.
3. Tensión y desgaste de las correas.
4. Alineamiento de los acopladores.
5. Alineamiento y sentido de giro del rodete.
6. Desgaste y acumulaciones de material sobre las palas.

## CAPITULO 3. BASES PARA EL DISEÑO DE VEL

---

### 3. Diseño de un sistema de VEL sencillo

Diseñar un sistema de VEL sencillo implica fundamentalmente determinar las dimensiones de los elementos que los 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:

1. Considerar las características de los contaminantes, bien sean gases, vapores o aerosoles más o menos pesados.
2. Obtener las dimensiones del foco origen de la generación o emisión del contaminante.
3. Estimar la posibilidad de corrientes de aire.
4. Observar las necesidades de espacio del trabajador.
5. 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.
6. Deducir, mediante tablas disponibles al efecto, la velocidad de captura del contaminante.
7. 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.

**8.** 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.

**9.** Conocidos el caudal y la velocidad, determinamos las dimensiones de los conductos y de los accesorios.

**10.** 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.

**11.** Calcular la ecuación de funcionamiento del sistema.

**12.** Seleccionar un ventilador cuya curva de funcionamiento sea congruente con la ecuación de funcionamiento del sistema con rendimiento óptimo.

Es necesario indicar, que cuando se trata de diseñar un sistema de extracción sencillo para la 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.



### 3.1. Elementos de cálculo de la instalación sencilla de VEL

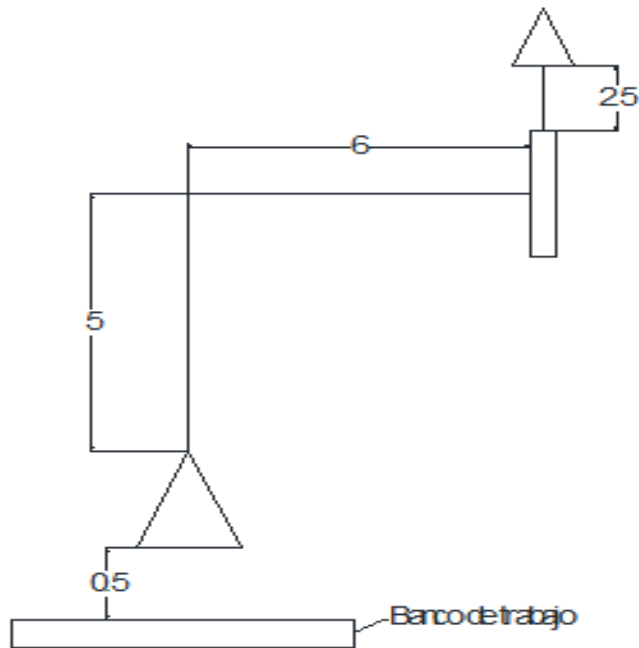


Figura 3.1. Esquema instalación sencilla

1. Captación de humos de soldadura para la unión de pequeñas piezas sobre banco de trabajo.

El contaminante puede ser corrosivo y precisar un determinado tipo de material para la instalación. Puede ser pesado y necesitar velocidades de capturas altas.

2. El siguiente paso es dimensionar la campana. El foco de emisión en este caso tiene una superficie igual **30 x 30 cm<sup>2</sup>**.

Las dimensiones del foco darán una idea aproximada de la forma y dimensión del elemento de captación.

3. No hay corrientes de aire.

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.

4. El trabajador necesita que la boca de aspiración este situada **50 cm** por encima de la mesa.

El trabajador precisa de un espacio libre que no podemos invadir.

5. Elegimos una campana **circular de 40 cm de radio**, lo que supone un área:

$$A = \pi \times 0.40^2 = 0.503 \text{ m}^2$$

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.

6. La velocidad de captura recomendada para humos de soldadura es de  $V = 0.5 \text{ m/s}$ .

Según tabla 1 perteneciente al capítulo 1.

Se trata de capturar a las partículas de los contaminantes en el punto donde se generan y para esto existen valores confirmados sobre la experiencia y aceptadas según el proceso se realice fuera o dentro de la campana. Así los valores recomendados aparecen tabulados en la literatura especializada.

En diversas publicaciones se dan las velocidades de captura más idóneas para cada tipo de procesos.

7. El caudal necesario es  $Q = V(10 \cdot x^2 + A) = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Existen unas expresiones que permiten obtener para cada tipo de elemento de captación, el caudal de aire que 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.

**8.** Velocidad mínima del conducto = 12.5 m/s.

Los contaminantes pesados tienden a depositarse en el interior de los conductos horizontales por lo cual es preciso dotarlos de una velocidad que invite dicha sedimentación.

**9.** Sección:  $S=Q/V = 0.12 \text{ m}^2$

La relación es  $Q = \textit{Velocidad} \times \textit{Sección}$

Se toma la más próxima normalizada: 350 mm de diámetro.

**10.** 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.

Tubería 391 mm de diámetro

Longitud de la tubería instalada = 8 m

Un codo de 90°, R=2D equivale a 6 m

Un sombrerete 0.75D equivale a 3.8 m

Longitud de tubería 17.8 m

Pérdida de carga en tubería y accesorios:

Pérdida por metro de tubería = 0.7 mmcd/m

$$H_{\text{tubería+acces}} = 17.8 \text{ m} \times 0.7 \text{ mmcda/m} = 12.46 \text{ mmcda}$$

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:  $(V^2/2g) \times 1.2 = 14.87 \text{ mmcda}$

Pérdidas en campana:  $0.05 \times 14.87 = 0.74 \text{ mmcda}$

Pérdida de carga total:  $12.46 + 0.74 = 13.2 \text{ mmcda}$

**11.** La ecuación del sistema es una función que relaciona la pérdida de carga en el sistema en una 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 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  $K$ .

$$H = 13.2 \text{ mmcda}$$

$$Q = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$K = H/Q^2 = 5.87 \text{ mmcda (m}^3/\text{s)}^2$$

$$H=5.87xQ^2$$

**12. Seleccionar ventilador.**

De un catálogo de ventiladores seleccionaremos el tipo más adecuado y comprobaremos que la curva de funcionamiento del circuito. El punto de trabajo será la intersección de ambas curvas.

# CAPITULO 4. ELEMENTOS DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN

---

## 4.1. Manómetros

Los manómetros son los instrumentos utilizados para medir la presión de fluidos (líquidos y gases). Lo común es que ellos determinen el valor de la presión relativa, aunque pueden construirse también para medir presiones absolutas. Todos los manómetros tienen un elemento que cambia alguna propiedad cuando son sometidos a la presión, este cambio se manifiesta en una escala o pantalla calibrada directamente en las unidades de presión correspondientes. Cuando el aparato de medición sirve para medir presiones que cambian muy rápidamente con el tiempo como por ejemplo, dentro del cilindro del motor de combustión interna, recibe el nombre de transductor, reservándose el nombre de manómetro para aquellos que miden presiones estáticas o de cambio lento. Dentro de los manómetros podemos encontrar:

### 4.1.1. Manómetro de columna de líquido

Doble columna líquida utilizada para medir la diferencia entre las presiones de dos fluidos. El manómetro de columna de líquido es el patrón base para la medición de pequeñas diferencias de presión. Los tres tipos básicos de manómetro de Tubo de vidrio son el de Tubo en U, los de tintero y los de Tubo inclinado, que pueden medir el vacío o la presión manométrica dejando una rama abierta a la atmósfera.

#### 4.1.1.1. Manómetros de Tubo en forma de U

Consiste en un recipiente de cristal en forma de la letra "U". Cuando se usa para medir la presión de dispositivo ambos extremos del Tubo están abiertos, con una presión desconocida aplicada en uno de los extremos y el otro, abierto a la presión atmosférica como se muestra en la figura 4.1. La presión de indicador desconocida del fluido (P) se

relaciona con la diferencia de los niveles de fluido ( $h$ ) en las dos mitades del Tubo y la densidad del fluido ( $\rho$ ) mediante la expresión:

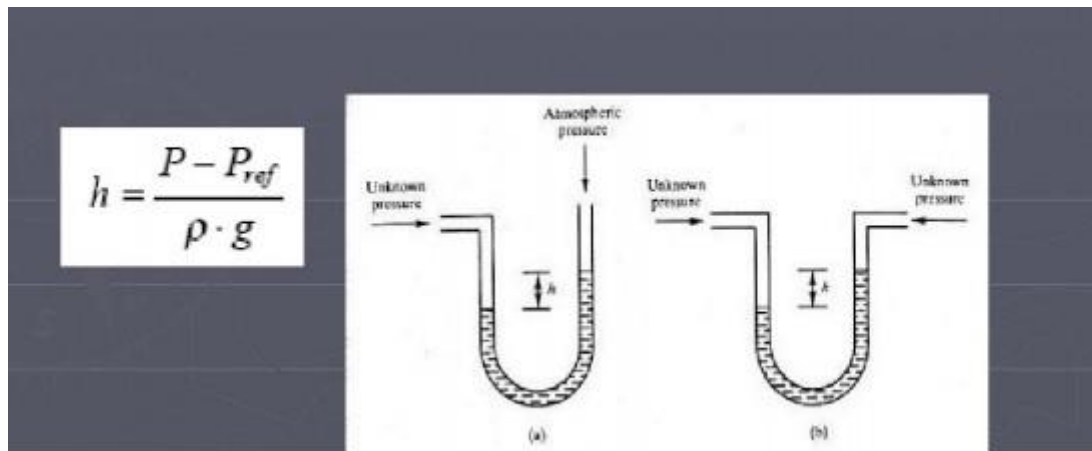


Figura 4.1 Manómetros de Tubo en forma de U

#### 4.1.1.2. Manómetro para líquidos

El manómetro para líquido es un manómetro diseñado para medir presiones hidráulicas donde el medio puede ser agresivo o no. Para medios agresivos como ácidos o bases un tratamiento debe ser aplicado sobre la superficie de contacto con el líquido. Otra alternativa es utilizar membranas de separación que actúan también de transmisor de la presión al manómetro. Los manómetros para líquidos suelen ser manómetros con sensor de galgas extensiométricas ya que este tipo de sensor presenta una buena estabilidad en el tiempo y repetitividad de la medida. No olvidemos que la precisión se cuantifica mediante la repetitividad y la exactitud mediante el error.

En cuanto a su exactitud y precisión es necesario calibrar el manómetro para líquidos para trabajar conforme a un sistema de calidad. Es recomendable que la calibración de manómetro para líquidos sea realizada por laboratorios de calibración acreditados por ENAC. Estos dos parámetros son fundamentales para un buen control de la calidad de los productos. En el proceso de medición no es tan importante la precisión de la medida sino



la fiabilidad del resultado y que el técnico conozca bien los distintos conceptos estadísticos y metrológicos.

Estos manómetros se utilizan en procesos en donde exista vibración mecánica, golpes de ariete y presión variable pulsante. El líquido que se usa para su llenado es silicón. En la conexión se le integra un restrictor de presión o amortiguador de pulsaciones el cual reduce la velocidad con que entra o sale fluido.

#### **4.1.1.3. Tubo de Pitot**

Es un Tubo abierto, figura 4.2, dirigido contra la corriente del fluido y terminado, en su otro extremo, en un manómetro que indica directamente la presión total  $P_t$ .

Este Tubo es insensible a las variaciones de dirección en  $\pm 6^\circ\text{C}$ .

El Tubo de Pitot se utiliza para calcular la presión total, también denominada presión de estancamiento, presión remanente o presión de remanso (suma de la presión estática y de la presión dinámica).

Se utiliza mucho para medir la velocidad del viento en aparatos aéreos y para cuantificar las velocidades de aire y gases en aplicaciones industriales.

Mide la velocidad en un punto dado de la corriente de flujo, no la media de la velocidad del viento.

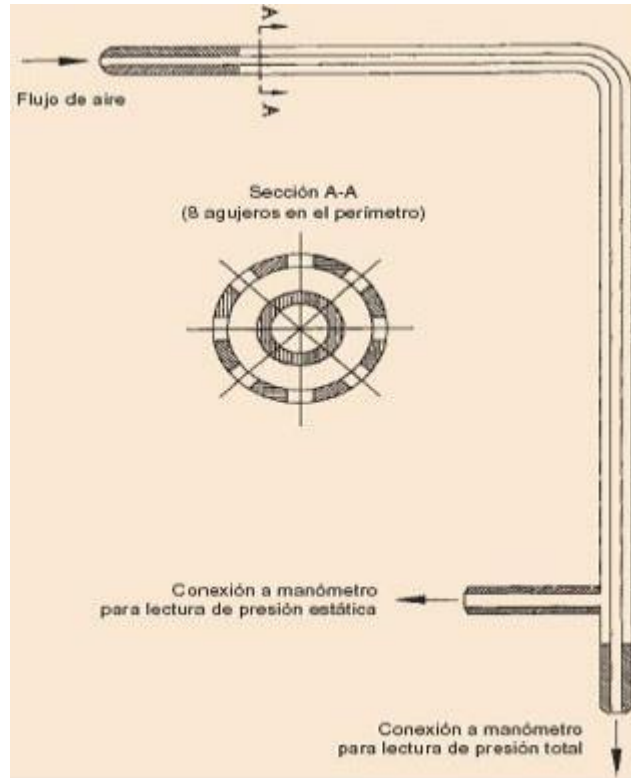


Figura 4.2: Tubo de Pitot

La presión dinámica se relaciona con la velocidad del fluido según la ecuación:

$$V = 4.043 \sqrt{PD/d}$$

Dónde:

V: velocidad, m/s

PD: presión dinámica, mmca

Si el fluido es aire en condiciones estándar (20 °C y 1 atm), la densidad del aire es 1.2 kg /m<sup>3</sup>.

O bien:

$$Pd = 1.2 \times \frac{v^2}{2g}$$

#### 4.1.1.4. Tubo de Prandtl

La idea de Ludwig Prandtl fue la de combinar en un solo instrumento un Tubo de Pitot y un Tubo piezométrico: El Tubo de Pitot mide la presión total; el Tubo piezométrico mide la presión estática, y el Tubo de Prandtl mide la diferencia de las dos, que es la presión dinámica. (Figura 4.3)

Consta de un Tubo de Pitot, unido a otro que lo envuelve y que va provisto de unas rendijas que miden la presión estática. Van acoplados a los dos extremos de un manómetro que indica la diferencia de presión de ambos, o sea:

$$H - \frac{P}{\sigma} = \frac{v^2}{2g}$$

O bien:

$$Pt - Pe = Pa$$

Sirve por tanto para medir la presión dinámica y, por ende, la velocidad del fluido. Como primera aproximación, para el aire, puede utilizarse la siguiente sencilla fórmula, ya

despejada:

$$V = 4\sqrt{Pd}$$

siendo Pd la lectura realizada en mm c.d.a. en el Tubo de Prandtl.

Este Tubo es insensible a las desviaciones de dirección en +/- 10°

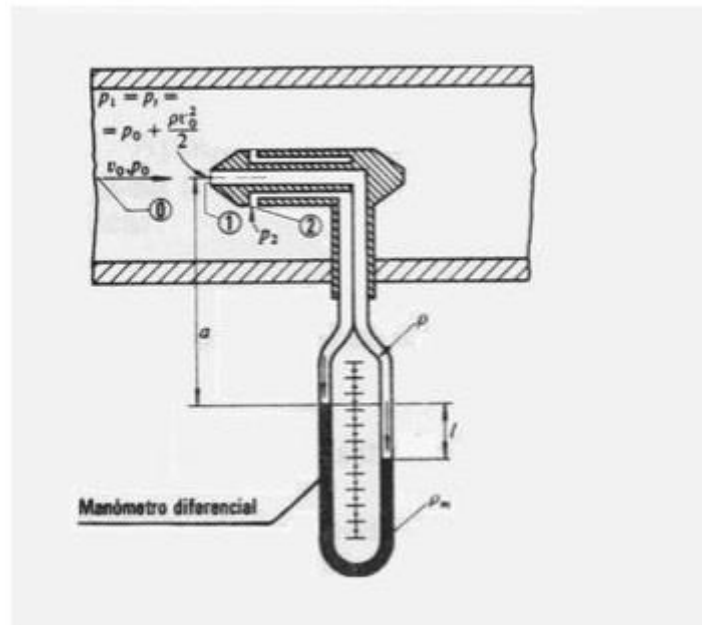


Figura 4.3: Tubo de Prandtl

#### 4.1.1.5. Manómetro diferencial

Un manómetro diferencial es un dispositivo que mide la diferencia de presión entre dos lugares. Los manómetros diferenciales pueden variar desde los más simples que pueden construirse en casa hasta un equipo digital complejo.

Los manómetros estándar se utilizan para medir la presión en un recipiente por comparación con la presión atmosférica normal. Estos dispositivos también se utilizan para

comparar la presión de dos recipientes diferentes. Revelan cuál recipiente tiene una mayor presión y qué tan grande es la diferencia entre los dos.

Los manómetros diferenciales tienen una amplia gama de usos en diferentes disciplinas. Un ejemplo es que pueden ser utilizados para medir la dinámica del flujo de un gas mediante la comparación de la presión en diferentes puntos de la tubería. (Figura 4.4.)

Su uso es muy frecuente en filtros en línea. De esta forma se puede observar fácilmente lo obturado que se encuentra el filtro midiendo la diferencia de presión entre la entrada y la salida del filtro.

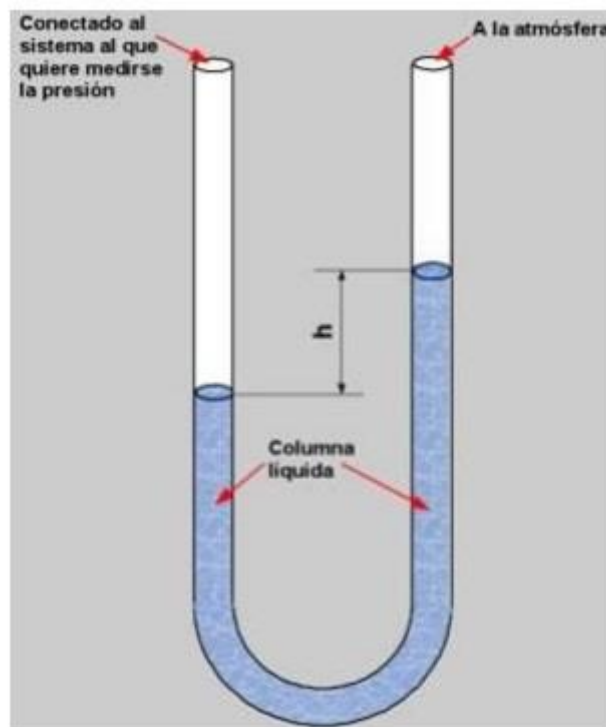


Figura 4.4: Esquema de un manómetro diferencial

#### **4.1.1.6. Termo-Anemómetro.**

El termo-anemómetro, es un equipo de medición portátil y de fácil manejo este instrumento nos puede medir la velocidad del aire o de los gases de la combustión, así como temperaturas. Para análisis posteriores de balances de energía. Este equipo es utilizado para medir la velocidad del aire a la salida de las puertas o espacios donde existan perdidas por la salida del aire frío en cuartos de refrigeración u otro sistema.

El fundamento de un termoanemómetro consiste en medir el enfriamiento de un componente metálico caliente (alambre o bola) por efecto de la corriente de aire que circula a través del conducto. Hay dos tipos de sensores de flujo másico de convección térmica: los que operan a potencia constante, y los que lo hacen a temperatura constante.

Los primeros están integrados por dos sensores másicos de caudal de convección térmica; uno de ellos está caliente y el otro a temperatura ambiente. La diferencia de temperatura (medida como voltaje o intensidad de corriente) es una magnitud directamente proporcional a la velocidad (y caudal) del fluido.

Los sensores que operan a temperatura constante disponen además de un regulador que mantiene la temperatura. En este caso se mide la corriente requerida para mantener esta temperatura, siendo también proporcional a la velocidad del fluido.

La mayoría de los termoanemómetros usan el primer sistema porque muestra tiempos de respuesta menores (alrededor de 5 segundos), tienen una línea de base más estable y un rango de temperaturas de trabajo más amplio.



Figura 4.5: Termoanemómetro

#### 4.1.1.7. Velómetros de álabes rotativos o anemómetro

Los velómetros de álabes rotativos (figura 4.6) están basados en la medición de las revoluciones por minuto del molinete, siendo este valor proporcional a la velocidad del fluido que circula por el conducto. La señal puede medirse con un reloj (velómetros mecánicos) o bien translucirse a una señal eléctrica. En este caso deben utilizarse instrumentos intrínsecamente seguros cuando las mediciones se realizan en atmósferas inflamables. Existen velómetros de distintos diámetros. Es obvio que los de mayor tamaño no son adecuados para mediciones dentro de los conductos ya que requerirían orificios demasiados grandes. En este caso, su utilidad se pone de manifiesto para medidas en boca de campana o a la descarga del sistema.

En general, las sondas de molinete pierden precisión por debajo de 0,25 m/s, lo que no significa un problema para su uso en mediciones en sistemas de extracción localizada pero sí para mediciones ambientales.



*Figura 4.6: Velómetro o Anemómetro de Molinete*

## **4.2. Criterios para la selección de los instrumentos**

La selección de cualquier instrumento de medida es función del grado de adecuación de sus especificaciones a las necesidades de la medición. Así, debe determinarse el rango de aplicación o campo nominal, sensibilidad, umbral de detección o discriminación, estabilidad, repetibilidad, exactitud, incertidumbre de medida y linealidad. La elección del instrumento está basada en un compromiso entre las anteriores características, siendo algunas de ellas principales y otras secundarias.

La primera variable a considerar para seleccionar el instrumento adecuado cuando se afronta el problema de la medida del caudal en conductos es el rango de velocidades al que se estima que circula el fluido.



Rango de velocidades (m/s)	Tipos de contaminantes
<b>0 a 10</b>	Vapores, gases, humos de combustión
<b>10 a 15</b>	Humos de soldadura, polvos extremadamente finos
<b>&gt;15</b>	Resto de polvos más gruesos

*Tabla 5: Rango de velocidades según el contaminante*

Las siguientes variables juegan también un papel importante:

Temperatura y humedad relativa del fluido.

Presencia de polvos y partículas que pudieran obturar las sondas falseando las lecturas o incluso dañando el equipo.

En la tabla 6 se muestra cuáles son los instrumentos que se aconseja usar en cada caso en función de la velocidad y la temperatura del fluido.

Instrumento	Rango de velocidades óptimo	Rango de velocidades de temperaturas	Observaciones
<b>Tubo de Pitot</b>	3 m/s (por debajo pierde presión)	Cualquiera (máx. 700°C)	Para atmósferas pulverulentas, Tubos de Pitot en S. Robusto y manejable
<b>Anemómetros de molinete</b>	5-40 m/s	<350°C	Algunos no están indicados para medidas en conducto por su tamaño
<b>Termoanemómetros</b>	< 5 m/s	< 70°C	Mecanismo delicado. Pueden incorporar sensores y software que permitan corregir por temperatura y obtener directamente la lectura de velocidad y caudal (introduciendo la sección)

*Tabla 6: Instrumentos según la velocidad y la temperatura*

Presencia de componentes corrosivos en el fluido que pudieran dañar la sonda.

Tipo de régimen del flujo, turbulento o laminar. Es siempre preferible medir la velocidad con flujos laminares y por lo tanto en el caso que nos ocupa debe optarse por un instrumento preparado para flujo turbulento.

Aspectos prácticos como: manejabilidad, coste, robustez, etc

# CAPITULO 5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

---

1. Ventilación industrial. Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales. 1992.
2. Prontuario de ventilación de Soler & Palau, S.A., con resultados, estudios y ensayos realizados en sus laboratorios de aerodinámica, electricidad y acústica. Edita Soler y Palau, S. A. - Vinas, 1 - Ripoll (España). 1972.
3. Temario impartido por Francisco Marzal en la especialidad de higiene Industrial. Ventilación local y generalizada. 2014.