



# sumario

Capítulo 1. EL AIRE	5
Capítulo 2. LA VENTILACIÓN	6
2.1 Funciones de la Ventilación	6
2.2 Conceptos y Magnitudes: Caudal y Presión	6
2.3 Unidades	7
2.4 Aparatos de Medida	8
2.5 Tipos de Ventilación	9
2.6 Ventilación Ambiental	9
2.6.1. Ventilación de Viviendas	9
2.6.2. Ventilación de Locales Terciarios	11
Demanda Controlada de Ventilación - DCV	12
Filtración	15
Recuperación de Calor	15
2.6.3. Ventilación Industrial	17
2.6.4. Ventilación de Aparcamientos	19
2.7 Ventilación Localizada	24
2.7.1. Captación Localizada	24
2.7.2. Elementos de una Captación localizada	24
2.7.3. Principios de diseño de la captación	26
2.7.4. Casos de Ventilación Industrial Localizada	28
2.7.5. Cocinas Domésticas	29
2.7.6. Cocinas Industriales	30
Capítulo 3. CIRCULACIÓN DE AIRE POR CONDUCTOS	33
3.1 Pérdida de carga	33
3.2 Cálculo de la pérdida de carga. Método del coeficiente «n»	34
3.3 Ejemplo de aplicación	38
Capítulo 4. VENTILADORES	39
4.1 Generalidades	39
4.2 Definiciones	39
4.3 Clasificación	39
4.3.1. Según su función	39
4.3.2. Según la trayectoria del aire del ventilador	40
4.3.3. Según la presión del ventilador	40
4.3.4. Según las condiciones del funcionamiento	41
4.3.5. Según el sistema de accionamiento de la hélice	41
4.3.6. Según el método de control de las prestaciones del ventilador	41
4.4 Curva característica	42
4.5 Punto de Trabajo	44
4.6 Leyes de los Ventiladores	45
Capítulo 5. RUIDO	46
5.1 Nivel Sonoro	46
5.2 Silenciadores	48
5.3 Ruidos mecánicos	49
Capítulo 6. PROCESO PARA DECIDIR UN SISTEMA DE VENTILACIÓN	50

## 1. EL AIRE

El aire es un gas que envuelve la Tierra y que resulta absolutamente imprescindible para la respiración de todos los seres vivos. Está compuesto de una mezcla mecánica de varios gases, prácticamente siempre en la misma proporción y en la que destaca el Nitrógeno que es neutro para la vida animal y el Oxígeno, que es esencial para la vida en todas sus formas.

En la tabla 1.2 puede verse su composición media, que de forma sinóptica representamos en la Fig. 1.1

Nótese que se cita «aire seco» y no simplemente «aire». Esto se debe a que el aire que nos rodea es «aire húmedo», que contiene una cantidad variable de vapor de agua que reviste gran importancia para las condiciones de confort del ser humano.

Además del aire seco y vapor de agua mencionados, el aire que respiramos contiene otros elementos de gran incidencia sobre la salud. Éstos son gases, humos, polvo, bacterias...

La tabla 1.1 muestra la composición de aires reales, el que puede considerarse «limpio» y un ejemplo de «aire contaminado».

	AIRE LIMPIO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AIRE CONTAMINADO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Medida anual en una gran ciudad
Óxido de Carbono CO	máx. 1000	6.000 a 225.000
Dióxido de Carbono $\text{CO}_2$	máx. $65 \cdot 10^4$	65 a $125 \cdot 10^4$
Anhidrido Sulfuroso $\text{SO}_2$	máx. 25	50 a 5.000
Comp. de Nitrógeno $\text{NO}_x$	máx. 12	15 a 600
Metano $\text{CH}_4$	máx. 650	650 a 13.000
Partículas	máx. 20	70 a 700

(Datos de IEAL, John Shenfield, Madrid 1978)

Tabla 1.1

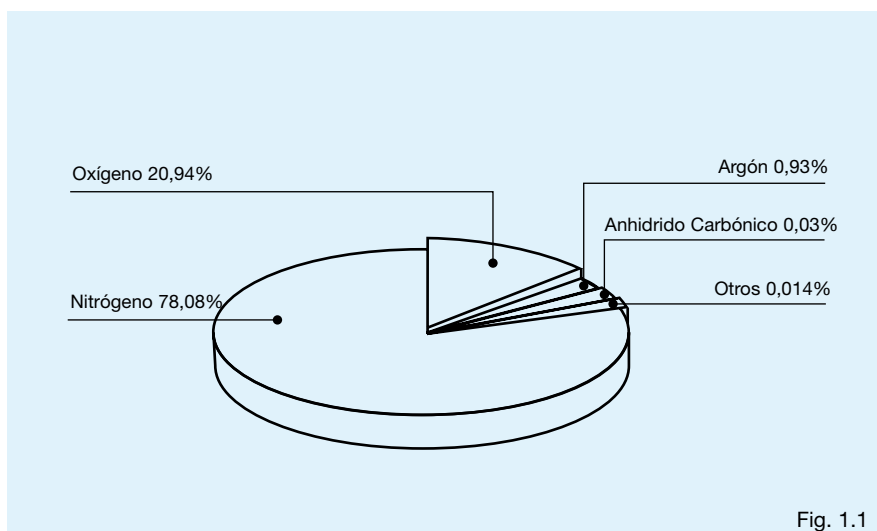


Fig. 1.1

COMPONENTES DEL AIRE SECO (1'2928 $\text{kg}/\text{m}^3$ , a 0 °C 760 mm)					
	Símbolo	En volumen %	En peso %	Contenido en el aire, $\text{g}/\text{m}^3$	Peso específico $\text{kg}/\text{m}^3$
Nitrógeno	$\text{N}_2$	78'08	75'518	976'30	1'2504
Oxígeno	$\text{O}_2$	20'94	23'128	299'00	1'428
Argón	Ar	0'934	1'287	16'65	1'7826
Anh. Carbónico	$\text{CO}_2$	0'0315	$0'4 \cdot 10^{-6}$	0'62	1'964
Otros		0'145	0'0178	0'23	-

Tabla 1.2

## 2. LA VENTILACIÓN

Se entiende por ventilación la sustitución de una porción de aire, que se considera indeseable, por otra que aporta una mejora en pureza, temperatura, humedad, etc.

### 2.1 FUNCIONES DE LA VENTILACIÓN

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 de 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:

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

### 2.2 CONCEPTOS Y MAGNITUDES

En el movimiento del aire a través de un conducto distinguiremos, Fig. 2.1:

#### Caudal

- La cantidad o Caudal  $Q$  ( $m^3/h$ ) de aire que circula.

- La sección  $S$  ( $m^2$ ) del conducto.

- La Velocidad  $v$  ( $m/s$ ) del aire.

Vienen ligados por la fórmula:

$$Q = 3600 v S$$

#### Presión

El aire, para circular, necesita de una determinada fuerza que le empuje. Esta fuerza, por unidad de superficie, es lo que se llama Presión. Existen tres clases de presión:

#### PRESIÓN ESTÁTICA, $P_e$

Es la que ejerce en todas las direcciones dentro 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.

La Presión Estática puede ser positiva, si es superior a la atmosférica o bien negativa, si está por debajo de ella.

#### PRESIÓN DINÁMICA, $P_d$

Es la presión que acelera el aire desde cero a la velocidad de régimen. Se manifiesta sólo en la dirección del aire y viene relacionada con la dirección del mismo, aproximadamente por las fórmulas:

$$P_d = \frac{v^2}{16} \text{ (mm c.d.a.)}$$

$$v = 4\sqrt{P_d} \text{ (m/s)}$$

La gráfica de la fig. 2.2 relaciona ambas magnitudes, la Velocidad del aire  $v$  y su correspondiente Presión Dinámica  $P_d$ .

La Presión Dinámica es siempre positiva.

#### PRESIÓN TOTAL, $P_t$

Es la presión que ejerce el aire sobre un cuerpo que se opone a su movimiento. En la fig. 2.1 sería la presión sobre una lámina  $L$  opuesta a la dirección del aire. Esta presión es suma de las dos anteriores.

$$P_t = P_e + P_d$$

En hidráulica esta expresión recibe el nombre de Ecuación de Bernoulli.

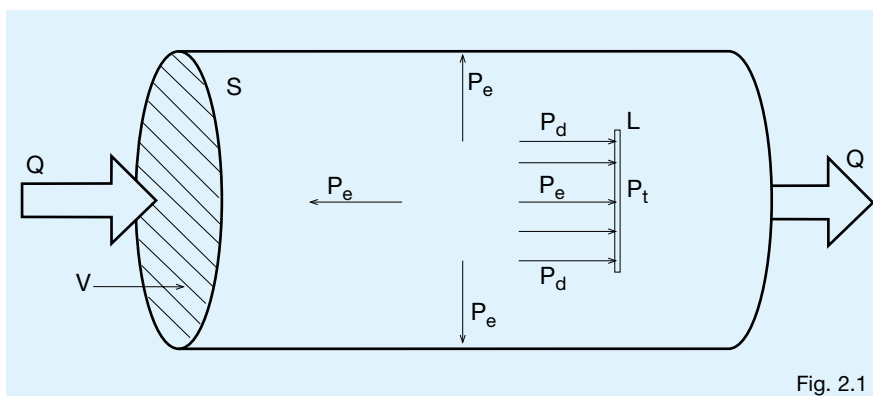
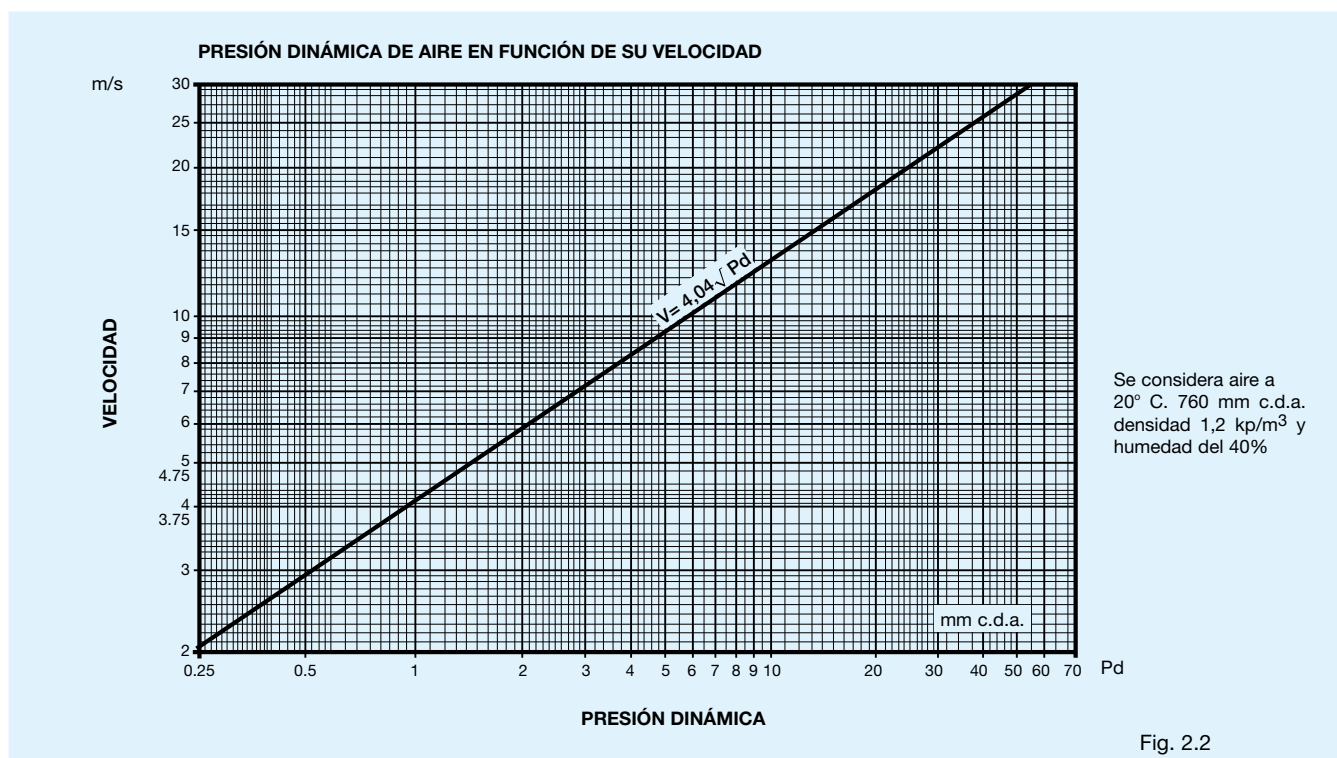


Fig. 2.1



## 2.3 LAS UNIDADES

Las unidades de presión usadas en ventilación son:

**1 mm c.d.a.** (milímetro columna de agua)

**1 Pascal, Pa**

Ambas, y la unidad industrial de presión, la atmósfera o Kp/cm², se equivalen de la siguiente forma:

$$1 \text{ atmósfera} = 1 \text{ Kp/cm}^2$$

$$= 10.000 \text{ mm c.d.a.}$$

$$= 98 \times 1.000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mm c.d.a.} = 9'81 \text{ Pascal}$$

$$= 0'0001 \text{ atmósferas}$$

En la práctica, aproximadamente:

$$1 \text{ mm c.d.a.} = 10 \text{ Pa}$$

En la tabla 2.1 se establece la correspondencia entre distintas unidades de presión. Obsérvese la diferencia entre la Atmósfera y la Presión atmosférica.

El milibar es la unidad usada por los meteorólogos.

CONVERSIÓN ENTRE DISTINTAS UNIDADES DE PRESIÓN							
	kp/m² mm c.d.a.	mm c.d.m.	kp/cm²	Presión atmosférica	bar	milibar	dinas/cm²
1 mm c.d.a.	1	0,07355	10 <sup>-4</sup>	10.337 · 10 <sup>-4</sup>	98 · 10 <sup>-6</sup>	98 · 10 <sup>-3</sup>	98,1
kp/m²							
1 mm c.d.m.	13,6	1	13,6 · 10 <sup>-4</sup>	13,15 · 10 <sup>-4</sup>	1,33 · 10 <sup>-3</sup>	1,334	1.334
1 kp/cm²	10.000	735,5	1	0,966	0,981	9,81 · 10 <sup>2</sup>	9,81 · 10 <sup>5</sup>
1 presión atm.	10.334	760	1,0334	1	1,013	1.013	1,01334 · 10 <sup>6</sup>
1 bar	10.200	750	1,02	0,985	1	1.000	10 <sup>6</sup>
1 milibar	10,2	0,75	1,02 · 10 <sup>-3</sup>	0,985 · 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>3</sup>

Tabla 2.1

## 2.4 APARATOS DE MEDIDA

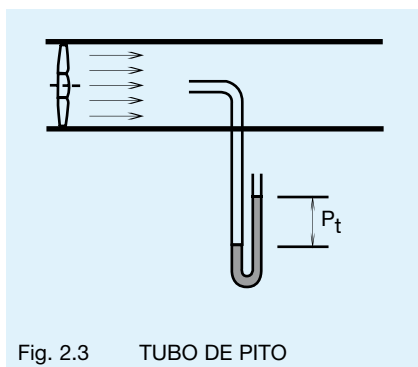
Las presiones ABSOLUTAS se miden a partir de la presión cero. Los aparatos usados son los barómetros, utilizados por los meteorólogos, y los manómetros de laboratorio.

Las presiones EFECTIVAS se miden a partir de la presión atmosférica. Los aparatos usados son los manómetros industriales.

Las presiones Total, Estática y Dinámica son de este tipo. Los aparatos en este caso son los micromanómetros. En los laboratorios de mecánica de fluidos se utilizan los siguientes:

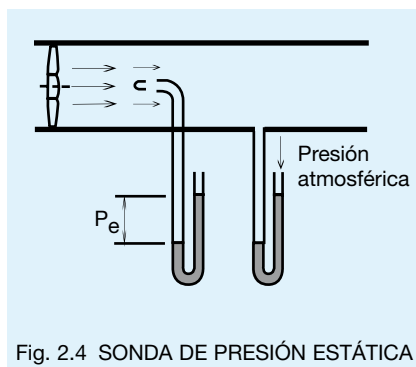
### Tubo de Pitot

Mide directamente la Presión Total  $P_t$  por medio de un tubo abierto que recibe la presión del aire contra su dirección y que conecta su otro extremo a un manómetro. Éste se representa en la Fig. 2.3 por medio de un tubo en U, lleno de agua, abierto en su otro extremo a la presión atmosférica, y cuyo desnivel del líquido en las dos ramas, señala la Presión Total en mm c.d.a.



### Sonda de Presión Estática

Mide la Presión Estática  $P_e$  por medio de un tubo ciego dirigido contra la corriente de aire y abierto, por unas rendijas, en el sentido de la misma. En el esquema de la fig. 2.4 puede verse conectado, por su otro extremo, a un manómetro de columna de agua, que está abierto a la presión atmosférica.



### Tubo de Prandtl

Es una combinación de un Pitot y una Sonda de Presión Estática. El Pitot constituye el tubo central que está abierto a la corriente de aire y está envuelto por una sonda que capta la presión estática. Como los extremos de ambos acaban en un mismo manómetro, se cumple la fórmula,

$$P_t - P_e = P_d$$

con lo que indica la Presión Dinámica  $P_d$ .

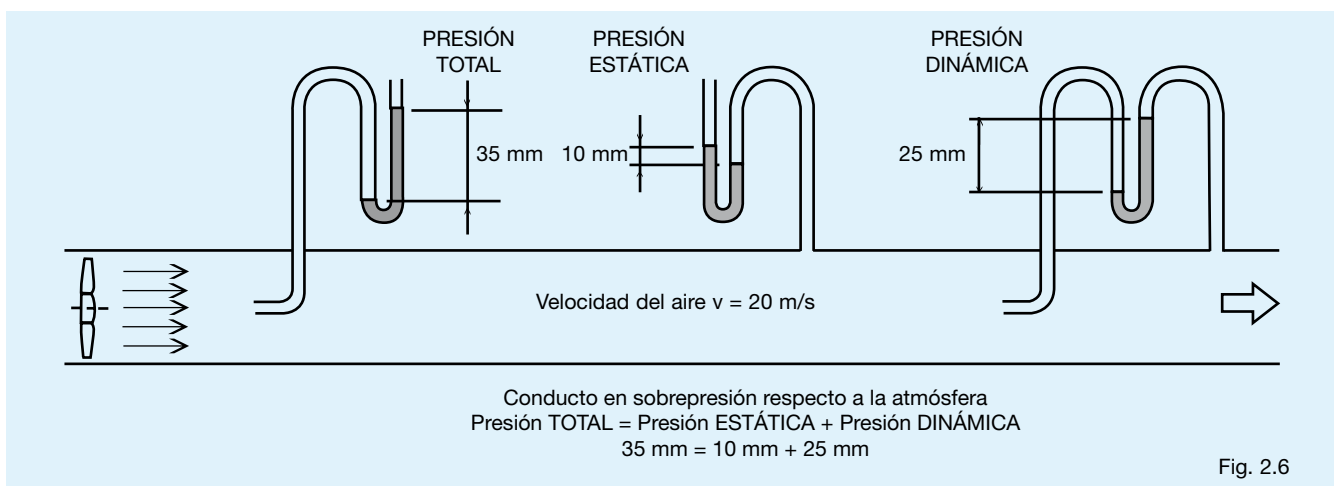
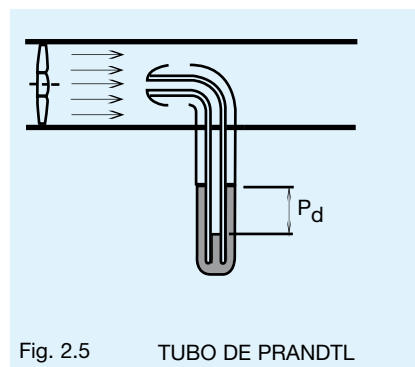
La Fig. 2.5 representa esquemáticamente este instrumento de medida.

### MEDIDA DEL CAUDAL

Una vez determinada la Presión Dinámica del aire en un conducto, puede calcularse el caudal que circula, por la fórmula indicada antes

$$Q(\text{m}^3/\text{h}) = 3600 v S$$

La velocidad del aire  $v = 4\sqrt{P_d}$  y la Sección S de la conducción, son también muy fáciles de determinar. Gráfica de la Fig. 2.2.



## 2.5 TIPOS DE VENTILACIÓN

Se pueden distinguir dos tipos de Ventilación:

- General
- Localizada

**Ventilación general**, o denominada también **dilución o renovación ambiental** es la que se practica en un recinto, renovando todo el volumen de aire del mismo con otro de procedencia exterior.

**Ventilación localizada**, pretende captar el aire contaminado en el mismo lugar de su producción, evitando que se extienda por el local. Las variables a tener en cuenta son la cantidad de polución que se genera, la velocidad de captación, la boca o campana de captación y el conducto a través del que se llevará el aire contaminado hasta el elemento limpiador o su descarga.

## 2.6 VENTILACIÓN AMBIENTAL

A la hora de ventilar cualquier recinto hay que seguir los criterios normativos que afectan al local que se pretende ventilar, si es que existen. Las normativas que afectan a la ventilación de los recintos son los siguientes:

### 2.6.1 Ventilación de viviendas

En el **DB HS sobre Salubridad**, y en concreto en la **Parte I. capítulo 3 Exigencias básicas art. 13.3 Exigencia básica HS 3: Calidad del aire interior** se indica que:

**1 Los edificios dispondrán de medios para que sus recintos se puedan ventilar adecuadamente, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los edificios, de forma que se aporte un caudal suficiente de aire exterior y se garantice la extracción y expulsión del aire viciado por los contaminantes.**

Y el ámbito de aplicación, según el apartado del **DB HS 3 calidad del aire interior. 1 Generalidades 1.1 Ámbito de aplicación**

**1 Esta sección se aplica en los edificios de viviendas, al interior de las mismas, los almacenes de residuos, los trasteros, los aparcamientos y garajes; y, en los edificios de cualquier otro uso a los aparcamientos y garajes.**

Los aparcamientos y garajes, por su importancia constituyen un capítulo específico en este manual.

El caudal de ventilación mínimo de los locales se obtiene de la **tabla 2.2 del DB HS 3**, teniendo en cuenta que

**2 El número de ocupantes se considera igual,**  
a) en cada dormitorio individual, a uno y, en cada dormitorio doble, a dos;

**Tabla 2.2 Caudales de ventilación mínimos exigidos**

		Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ en l/s		
		Por ocupante	Por m <sup>2</sup> útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local <sup>(1)</sup>
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

<sup>(1)</sup> Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1)

**b) en cada comedor y en cada sala de estar, a la suma de los contabilizados para todos los dormitorios de la vivienda correspondiente**

**3 En los locales de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor.**

Las opciones de ventilación de las viviendas son:

### 3 Diseño. 3.1. Condiciones generales de los sistemas de ventilación. 3.1.1. Viviendas

**1 Las viviendas deben disponer de un sistema general de ventilación que puede ser híbrida (Ventilación en la que, cuando las condiciones de presión y temperatura ambientales son favorables, la renovación del aire se produce como en la ventilación natural y, cuando son desfavorables, como en la ventilación con extracción mecánica) o mecánica (Ventilación en la que la renovación del aire se produce por el funcionamiento de aparatos electro-mecánicos dispuestos al efecto. Puede ser con admisión mecánica, con extracción mecánica o equilibrada) con las siguientes características :**

a) El aire debe circular desde los locales secos a los húmedos, para ello los comedores, los dormitorios y las salas de estar deben disponer de aberturas de admisión (abertura de ventilación que sirve para la admisión, comunicando el local con el exterior, directamente o a través de un conducto de admisión); los aseos, las cocinas y los cuartos de baño deben disponer de aberturas de extracción (abertura de ventilación que sirve para la extracción, comunicando el local con el exterior, directamente o a través de un conducto de extracción); las particiones situadas entre los locales con admisión y los locales con extracción deben disponer de aberturas de paso (abertura de ventilación que sirve

para permitir el paso de aire de un local a otro contiguo);

Los caudales solicitados en la tabla 2.2 sirven para ventilar todos los locales, tanto secos como húmedos, pero en ningún caso han de sumarse, sino que ha de determinarse cual es el mayor de los valores (si el caudal necesario para los locales secos o bien para los locales húmedos por separado) y posteriormente realizar la instalación para conseguir la circulación del caudal mayor resultante, ya que, obviamente, el aire usado para ventilar locales con baja carga contaminante (locales secos) puede usarse posteriormente para ventilar locales cuya carga contaminante es mayor (locales húmedos).

c) Como aberturas de admisión, se dispondrán aberturas dotadas de aireadores o aperturas fijas de la carpintería, como son los dispositivos de microventilación con una permeabilidad al aire según UNE EN 12207:2000 en la posición de apertura de clase 1; no obstante, cuando las carpinterías exteriores sean de clase 1 de permeabilidad al aire según UNE EN 12207:2000 pueden considerarse como aberturas de admisión las juntas de apertura;

d) Cuando la ventilación sea híbrida las aberturas de admisión deben comunicar directamente con el exterior

e) Los aireadores deben disponerse a una distancia del suelo mayor que 1,80 m.

g) Las aberturas de extracción deben conectarse a conductos de extracción y deben disponerse a una distancia del techo menor que 200 mm y a una distancia de cualquier rincón o esquina vertical mayor que 100 mm.



h) Un mismo conducto de extracción puede ser compartido por aseos, baños, cocinas y traseros.

Descartada la opción de la ventilación híbrida por los inconvenientes referidos, se ventilarán las viviendas con ventilación mecánica.

### 3 Diseño. 3.2. Condiciones particulares de los elementos 3.2.4 Conductos de extracción para la ventilación mecánica

1 Cada conducto de extracción debe disponer de un aspirador mecánico situado, salvo en el caso de la ventilación específica de la cocina, después de la última abertura de extracción en el sentido del flujo del aire, pudiendo varios conductos compartir un mismo aspirador (véanse los ejemplos de la figura 3.4), excepto en el caso de los conductos de los garajes, cuando se exija más de una red.

Hay que contemplar las alternativas para ventilación de viviendas unifamiliares y colectivas.

Para unifamiliares puede usarse el modelo OZEO-E, con 4 tomas de 125 cm, para baños y aseos, y cocina.

Para la viviendas colectivas, se dimensionará el conducto en el punto más desfavorable conforme a:

#### • 4.2.2 Conductos de extracción para ventilación mecánica

1. Cuando los conductos se dispongan contiguos a un local habitable, salvo que estén en cubierta o en locales de instalaciones o en patinillos que cumplan las condiciones que establece el DB HR, la sección nominal de cada tramo del conducto de extracción debe ser como mínimo igual a la obtenida mediante la fórmula 4.1;

$$S \leq 2,5 \cdot q_{vt}$$
siendo  $q_{vt}$  el caudal del aire en el tramo del conducto [l/s]

En los conductos verticales se tendrán en cuenta, además, las siguientes condiciones:

- 3.2.4. Conductos de extracción para ventilación mecánica.
- 2. La sección de cada tramo del conducto comprendido entre dos puntos consecutivos con aporte o salida de aire debe ser uniforme.
- 3. Los conductos deben tener un acabado que dificulte su ensuciamiento y ser practicables para su registro y limpieza en la coronación.
- 4. Cuando se prevea que en las paredes de los conductos pueda alcanzarse la temperatura de rocío, éstos deben aislarse térmicamente de tal forma que se evite que se produzcan condensaciones.
- 5. Los conductos que atraviesen elementos separadores de sectores de incendio deben cumplir las condiciones de resistencia a fuego del apartado 3 de la sección SI 1.
- 6. Los conductos deben ser estancos al aire para su presión de dimensionado.

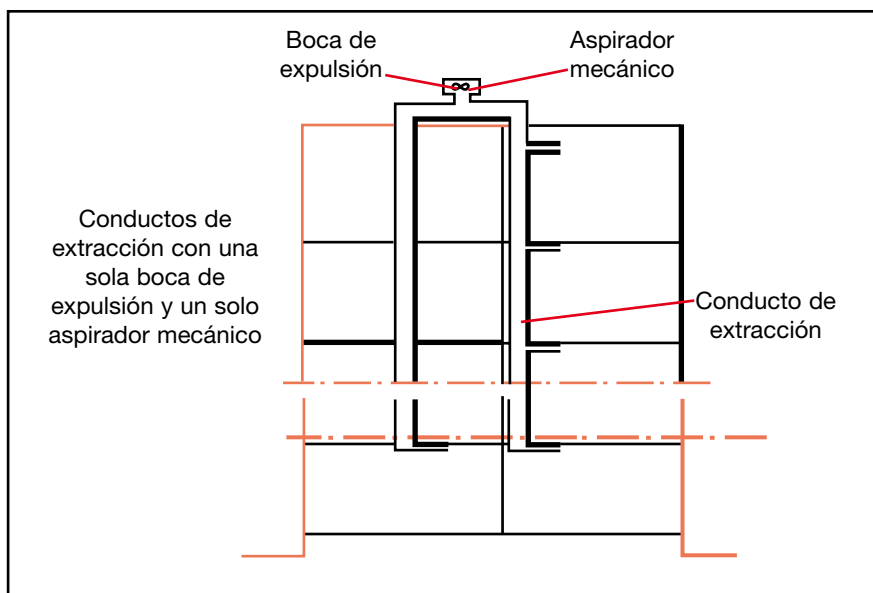
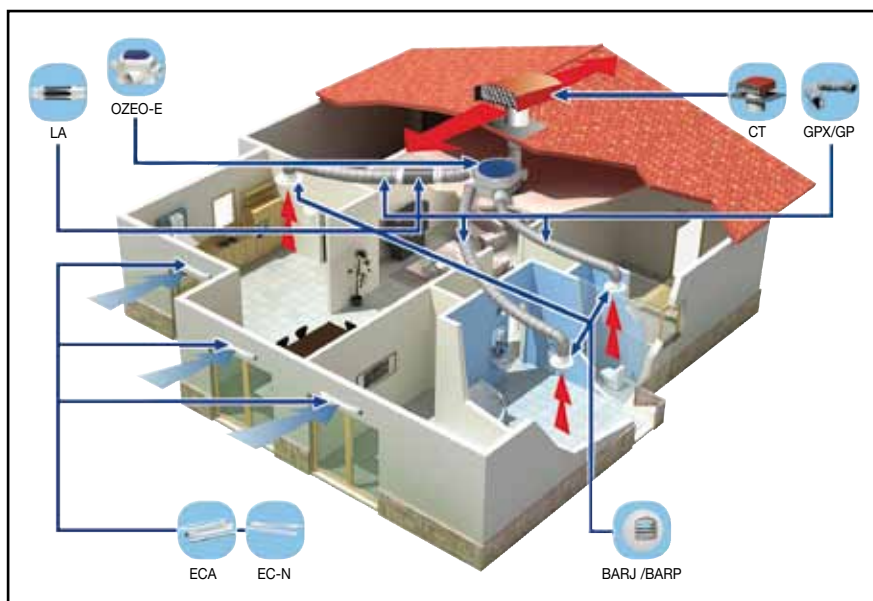
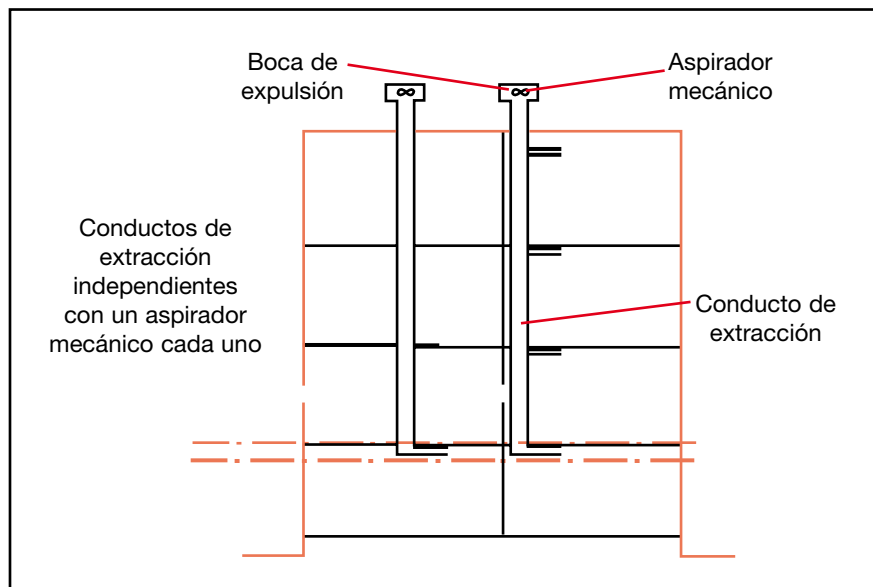
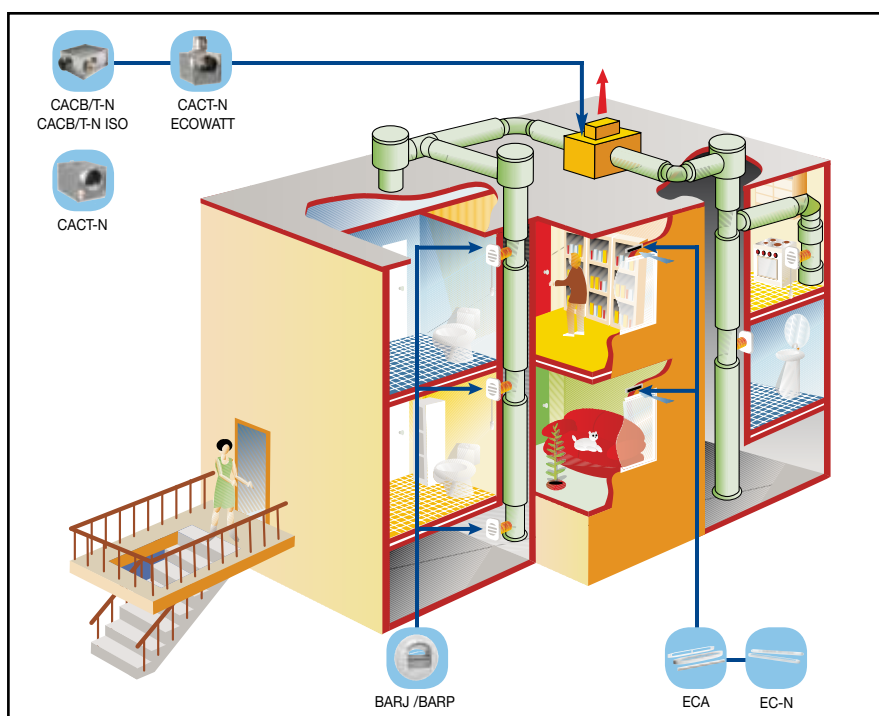


Fig. 2.7. Ejemplos de disposición de aspiradores mecánicos



Ejemplo para viviendas unifamiliares



Ejemplo para viviendas colectivas

Determinada la sección del conducto, ésta se mantendrá constante en todo su recorrido vertical. En cada punto de extracción, ya sea baño o cocina, se instalará una boca autoregulable calibrada para el caudal requerido en cada recinto. En la cubierta se puede instalar un extractor sobre cada vertical, o bien unirlos a un conducto general y conectarlo a un único extractor que aspire de los diferentes ramales. Sin embargo, el CTE Parte 1 permite optar también por :

## Capítulo 2. Condiciones técnicas y administrativas

### Artículo 5. Condiciones generales para el cumplimiento del CTE

#### 5.1. Generalidades

3. Para justificar que un edificio cumple las exigencias básicas que se establecen en el CTE podrá optarse por:

a) adoptar soluciones técnicas basadas en los DB, cuya aplicación en el proyecto, en la ejecución de la obra o en el mantenimiento y conservación del edificio, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias básicas relacionadas con dichos DB; o

b) soluciones alternativas, entendidas como aquellas que se aparten total o parcialmente de los DB. El proyectista o el director de obra pueden, bajo su responsabilidad y previa conformidad del promotor, adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que el edificio proyectado cumple las exigencias básicas del CTE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de los DB.

Como solución alternativa y siempre y cuando se haya previsto la instalación de conductos individuales desde cada recinto a la cubierta es posible instalar también extractores de tipo baño, adecuándolos a los caudales de cada recinto, como los modelos de la serie SILENT; o también montar un extractor de la serie TD-SILENT por vivienda, aspirando de los recintos húmedos y descargando a través de un conducto independiente de salida hasta cubierta.

El conducto de la cubierta se puede dimensionar conforme a:

2. Cuando los conductos se dispongan en la cubierta, la sección debe ser como mínimo igual a la obtenida mediante la fórmula

$$S \geq 1,5 \cdot Q_{vt}$$

Con este sistema se mantiene la extracción constante de los caudales en cada local independientemente de la altura del propio edificio.

También deberá preverse un sistema de ventilación específico para la extracción de los humos y vahos de la cocción :

#### • 3.1.1. Viviendas

3. Las cocinas deben disponer de un sistema adicional específico de ventilación con extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción. Para ello debe disponerse de un extractor conectado a un conducto de extracción independiente de los de la ventilación general de la vivienda que no puede utilizarse para la extracción de los locales de otro uso.

Además de la ventilación de las viviendas, el CTE contempla también la de almacenes de residuos y trasteros.

Para almacenes de residuos se requiere un caudal de 10 l/s·m<sup>2</sup> y es posible cualquier forma de ventilación (natural, híbrida o mecánica), si bien se aconseja practicar un sistema de extracción forzada para mantener en depresión el recinto y evitar que los posibles olores se escapen al exterior, teniendo en cuenta que los conductos de extracción no pueden compartirse con locales de otro uso. Para trasteros se requiere un caudal de 0.7 l/s·m<sup>2</sup>, con extracción de aire que se puede conectar directamente al exterior o bien al sistema general de ventilación de las viviendas.

## 2.6.2 Ventilación de locales terciarios

Se seguirán los criterios especificados por el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), cuyo redactado en este ámbito es el siguiente:

*Dicho nuevo reglamento se desarrolla con un enfoque basado en prestaciones u objetivos, es decir, expresando los requisitos que deben satisfacer las instalaciones térmicas sin obligar al uso de una determinada técnica o material, ni impidiendo la introducción de nuevas tecnologías y conceptos en cuanto al diseño, frente al enfoque tradicional de reglamentos prescriptivos que consisten en un conjunto de especificaciones técnicas detalladas que presentan el inconveniente de limitar la gama de soluciones aceptables e impiden el uso de nuevos productos y de técnicas innovadoras. Por otra parte, el reglamento que se aprueba constituye el marco normativo básico en el que se regulan las exigencias de eficiencia energética y de seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios para atender la demanda de bienestar e higiene de las personas.*

## Parte II. INSTRUCCIONES TÉCNICAS INSTRUCCIÓN TÉCNICA IT1. DISEÑO Y DIMENSIONADO

### IT 1.1 EXIGENCIA DE BIENESTAR E HIGIENE

#### IT1.1.4. Exigencia de calidad del aire interior IT1.1.4.2.1 Generalidades

1 En los edificios de viviendas se consideran válidos los requisitos establecidos en la sección HS 3 del CTE.

2 El resto de edificios dispondrá de un sistema de ventilación para el aporte de aire del suficiente caudal de aire exterior que evite, en los distintos locales en los que se realice alguna actividad humana, la formación de elevadas concentraciones de contaminantes. A los efectos de cumplimiento de este apartado se considera válido lo establecido en el procedimiento de la UNE-EN 13779.





#### IT1.1.4.2.2 Categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios.

Categoría	dm <sup>3</sup> /s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

En función del uso del edificio o local, la categoría de calidad de aire interior (IDA) que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente :

**IDA 1 (aire de óptima calidad) :** hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.

**IDA2 (aire de buena calidad):** oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares residencias de ancianos y estudiantes), salas de lectura, museos, aulas de enseñanza y asimilables, y piscinas.

**IDA3 (aire de calidad media) :** edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.

**IDA4 (aire de baja calidad)**

#### IT1.1.4.2.3 Caudal mínimo del aire exterior de ventilación

1 El caudal mínimo de aire exterior de ventilación se calculará con alguno de los cinco métodos que se indican a continuación:

**A. Método indirecto de caudal de aire exterior por persona**

**B. Método directo por calidad del aire percibido**

**C. Método directo por concentración de CO<sub>2</sub>**

**D. Método directo de caudal de aire por unidad de superficie**

**E. Método de dilución**

**A) Método indirecto de caudal de aire exterior por persona**

A) se emplearán los valores de la tabla 2.3 cuando las personas tengan una actividad metabólica de 1,2 met, cuando sea baja la producción de sustancias contaminantes por fuentes diferentes del ser humano y cuando no esté permitido fumar

B) Para locales donde esté permitido fumar, los caudales de aire exterior serán, como mínimo, el doble de los indicados en la tabla 2.3.

Este método de cálculo implica tener un conocimiento de los posibles ocupantes del recinto, mientras que el resto de métodos de cálculos se basan en elementos, por lo general, posteriores a la propia instalación, por lo que se aconseja, a nivel de cálculo inicial, usar el método A.

En caso de que no se conozca el número de personas, se pueden seguir los valores sobre densidad de ocupación de la tabla del CTE - DB SI 1.

Densidades de ocupación	
Uso del Local	Ocupación (m <sup>2</sup> /persona)
Vestíbulos generales y zonas generales de uso público	2
Garaje vinculado a actividad sujeta a horarios	15
Garaje (el resto)	40
Plantas o zonas de oficinas	10
Edificios docentes (planta)	10
Edificios docentes (laboratorios, talleres, gimnasios, salas de dibujo)	5
Aulas (excepto de escuelas infantiles)	1,5
Aulas de escuelas infantiles y bibliotecas	2
Hospitalario (salas de espera)	2
Hospitalario (zonas de hospitalización)	15
Establecimientos comerciales (áreas de venta)	2 - 3
Zonas de público en discotecas	0,5
Zonas de público de pie en bares, cafeterías, etc.	1
Salones de uso múltiple en edificios para congresos, hoteles, etc.	1
Zonas de público sentado en bares, cafeterías, restaurantes, etc.	1,5
Zonas de servicio en bares, restaurantes, cafeterías, etc.	20
Zonas de público en terminales de transporte	10

Tabla 2.3

#### Demanda Controlada de Ventilación DCV

Es evidente que mantener los sistemas de ventilación a su máximo caudal de manera constante supone un importante despilfarro energético, tanto por el consumo de los propios ventiladores como por el consumo necesario para calentar o enfriar el aire interior. Por ello es aconsejable que los sistemas de ventilación se ajusten a la ocupación o al nivel de contaminantes interiores (CO<sub>2</sub>, Temperatura, H.R.). Experiencias de campo nos demuestran que la mayoría de locales (oficinas, comercios, restaurantes, salas de juntas, gimnasios...), a lo largo del día, en promedio, no llegan a una ocupación de más del 60%. S&P, como líder mundial en el sector de la ventilación, propone el concepto de **Demanda Controlada de Ventilación, DCV**, consistente en la instalación de Sistemas de Ventilación Inteligentes compuestos por ventiladores de bajo consumo y elementos electrónicos y mecánicos (elementos de control, reguladores de velocidad, convertidores de frecuencia, detectores de presencia, sensores de CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad, sensores de presión, compuertas motorizadas, y bocas de aspiración bicau-

dal) que en todo momento estarán controlando que sólo se utilice la energía necesaria para garantizar una correcta ventilación en función de la contaminación de los locales. Esto representará un importantísimo ahorro energético a lo largo del ciclo de vida de la instalación. A continuación vamos a mostrar de manera gráfica algunos de los Sistemas Inteligentes de Ventilación. Cualquiera de las estas soluciones puede llevarse a cabo a través de sistemas de Extracción Simple, Doble (Extracción e Impulsión) o de Recuperación de Calor.

La DCV puede aplicarse a espacios monozona y multizona:

**Monozona:** el espacio a ventilar está compuesto por una sola área abierta, sin divisiones, que requiera un tratamiento de ventilación homogéneo (oficinas abiertas, comercios, ..)

**Multizona:** el espacio a ventilar está compuesto por varias áreas, compartimentadas, que requieren tratamientos de ventilación individualizados (oficinas con despachos individuales, servicios colectivos,..)

## Sistemas inteligentes de ventilación para **espacios monozona**:



### Tipo ON / OFF



#### Funcionamiento del sistema

La presencia de una o más personas en una sala, activará un sistema de ventilación. Cuando la sala quede vacía el sistema volverá a la situación anterior.

#### Ventajas del sistema

Solamente ventilaremos cuando la sala esté ocupada.



### Tipo Mínimo / Máximo



#### Funcionamiento del sistema

Mediante un Timer o de forma manual se pondrá en funcionamiento la instalación a su régimen mínimo para proporcionar la ventilación de mantenimiento. La presencia de una o más personas en una sala será identificada por el Detector de Presencia que a través del Elemento de Regulación hará funcionar al Ventilador a la velocidad máxima. Cuando la sala quede vacía el sistema volverá a la situación de mantenimiento.

#### Ventajas del sistema

Solamente utilizaremos la potencia máxima cuando la sala esté ocupada



### Tipo Proporcional



#### Funcionamiento del sistema

Mediante un Timer o de forma manual se pone en marcha el sistema que funcionará a régimen mínimo de ventilación en la sala a ventilar. El Sensor de CO<sub>2</sub> detectará el incremento de contaminación en función de la ocupación de la sala y enviará este dato al Elemento de Regulación que, a su vez, ordenará incrementar o reducir la velocidad del Ventilador de forma proporcional para adecuar el caudal a las necesidades de cada momento.

#### Ventajas del sistema

A partir de una renovación ambiental mínima, solamente incrementaremos la ventilación en función del nivel de ocupación (determinada por el nivel de CO<sub>2</sub>). Ésto generará un importante ahorro energético sobre un sistema de ventilación total.

## Tipo Proporcional



### Funcionamiento del sistema

Mediante un Timer o de forma manual se pone en marcha el sistema que funcionará a régimen mínimo de ventilación en la sala a ventilar. El Sensor de H.R. detectará el incremento de humedad en función del uso de las instalaciones y enviará este dato al Elemento de Regulación que, a su vez, ordenará incrementar o reducir la velocidad del Ventilador de forma proporcional, para adecuar el caudal a las necesidades de cada momento.

### Ventajas del sistema

A partir de una renovación ambiental mínima, solamente incrementaremos la ventilación en función de la HR del ambiente. Ésto generará un importante ahorro energético sobre un sistema de ventilación total.



### Funcionamiento del sistema

Mediante cualquiera de los parámetros ambientales a controlar, CO<sub>2</sub>, Temperatura o Humedad relativa, ya sea de forma conjunta o individual, se envía una señal al Control Ecowatt AC/4A, que puede gobernar la velocidad de los ventiladores tanto de corriente continua, como los TD Ecowatt, o alterna ya sea en alimentación monofásica (hasta 4 A) como trifásica, a través del variador de frecuencia, y en función del valor de contaminante más elevado acumulado en la sala.

### Ventajas del sistema

Con un solo sensor se controlan 3 parámetros ambientales y se obtiene el máximo nivel de confort con el mínimo consumo.

## Sistemas inteligentes de ventilación para espacios multizona:

### Tipo Mínimo / Máximo



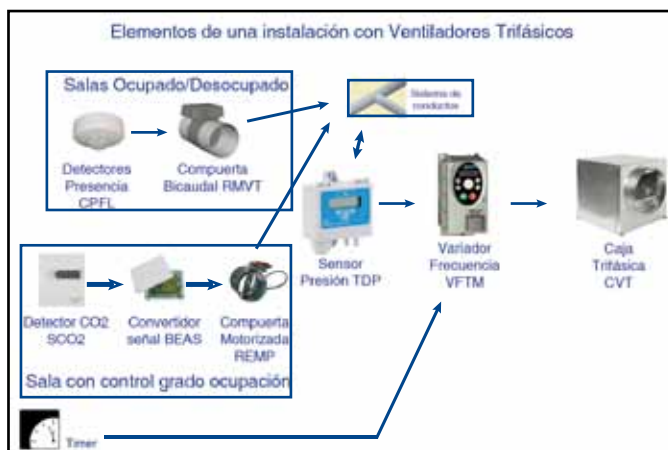
### Funcionamiento del sistema

El sistema se dimensiona en función de la demanda máxima posible que se puede requerir en caso de que todos los despachos estén ocupados. Se determina la presión que se genera en el sistema con éste funcionando a régimen de ventilación máxima. Cada uno de los despachos mantendría un mínimo de ventilación para garantizar las condiciones ambientales. El sistema se pondría en funcionamiento mediante un Timer o de forma manual. Cuando el Detector de Presencia identificase la entrada de una persona en un despacho, éste emitiría una orden a la Boca de Aspiración Bicaudal que se abriría totalmente. Ésto generaría un desequilibrio en la presión consignada para el sistema, que sería detectado por el Sensor de Presión, que transmitiría una orden al Elemento de Regulación que a su vez actuaría sobre el Ventilador, adecuando la velocidad para restaurar la presión en el sistema. Cada entrada o salida de las diversas estancias sería identificada por los Detectores de Presencia que interactuarían en el sistema.

### Ventajas del sistema

Discriminaremos la ventilación en cada despacho y solamente utilizaremos la potencia máxima en cada uno en el caso de que esté ocupado. Ésto generará un importante ahorro energético sobre un sistema de ventilación sin control de demanda.





### Funcionamiento del sistema

Mediante un Timer o de forma manual se pone en marcha el sistema que funcionará a régimen mínimo de ventilación en cada uno de las salas a ventilar. Dado que se trata de salas de ocupación variable, el Sensor de CO<sub>2</sub> constatará el grado de contaminación en función de la cantidad de personas y enviará la lectura a la Compuerta Motorizada que se abrirá más o menos, permitiendo el paso de aire necesario en cada momento. Ésto hará variar la presión en la instalación, que será identificada por el Sensor de Presión que actuará sobre el Elemento de Regulación y éste, a su vez, sobre el Ventilador para equilibrar el sistema. Este sistema, se puede combinar con una instalación mínimo/máximo como sería el caso de unas oficinas en las que además hubiese despachos individuales.

### Ventajas del sistema

En cada sala, a partir de una renovación ambiental mínima, solamente incrementaremos la ventilación en función del nivel de ocupación (determinada por el nivel de CO<sub>2</sub>). Ésto generará un importante ahorro energético sobre un sistema de ventilación total.

### Filtración

Según el RITE hay que tener en cuenta también las distintas calidades de aire exterior y éste se debe filtrar para garantizar la adecuada calidad del aire interior:

### IT 1.1 EXIGENCIA DE BIENESTAR E HIGIENE

#### IT1.1.4. Exigencia de calidad del aire interior

##### IT1.1.4.2.4 Filtración del aire exterior mínimo de ventilación

1 El aire exterior de ventilación se introducirá debidamente filtrado en el edificio.

2 Las clases de filtración mínimas a emplear, en función de la calidad de aire exterior (ODA) y de la calidad del aire interior requerida (IDA), serán las que se indican en la tabla 2.4.

3 La calidad del aire exterior (ODA) se clasificará de acuerdo con los siguientes niveles:

ODA 1: aire puro que puede contener partículas sólida (p.e. polen) de forma temporal

ODA 2: aire con altas concentraciones de partículas

ODA 3: aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos

ODA 4: aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas

ODA 5: aire con muy altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas

Se clasifica también el de extracción

##### IT1.1.4.2.5 Aire de extracción

1 En función del uso del edificio o local, el aire de extracción se clasifica en las siguientes categorías:

A) AE 1 (bajo nivel de contaminación): aire que procede de los locales en los que las

emisiones más importantes proceden de los materiales de la construcción y decoración, además de las personas. Está excluido el aire que procede de locales donde se puede fumar (oficinas, aulas, salas de reuniones, locales comerciales). B) AE2 (moderado nivel de contaminación): aire de locales ocupados con más contaminantes que la categoría anterior, en los que además, no esté prohibido fumar (restaurantes, bares, habitaciones de hoteles)

AE 3 (alto nivel de contaminación): aire que procede de locales con producción de productos químicos, humedad, etc.

AE 4 (muy alto nivel de contaminación): aire que contiene sustancias olorosas y contaminantes (extracción de campanas de humos, aparcamientos, locales para manejo de pinturas, locales de fumadores de uso continuo, laboratorios químicos)

2 El caudal de aire de extracción de locales de servicio será como mínimo de 2 dm<sup>3</sup>/s por m<sup>2</sup> de superficie en planta.

3 Sólo el aire de categoría AE1, exento de humo de tabaco, puede ser retornado a los locales.

4 El aire de categoría AE2 puede ser empleado solamente como aire de transferencia de un local hacia locales de servicio, aseos y garajes.

5 El aire de las categorías AE3 y AE 4 no puede ser empleado como aire de recirculación o transferencia. Además, la expulsión hacia el exterior del aire de estas cate-

### Filtración de partículas

	Ida 1	Ida 2	Ida 3	Ida 4
--	-------	-------	-------	-------

ODA 1	F7	F6	F6	G4
ODA 2	F7	F6	F6	G4
ODA 3	F7	F6	F6	G4
ODA 4	F7	F6	F6	G4
ODA 5	F6/GF/F9	F6/GF/F9	F6	G4

ODA 1	F9	F9	F7	F6
ODA 2	F9	F9	F7	F6
ODA 3	F9	F9	F7	F6
ODA 4	F9	F9	F7	F6
ODA 5	F9	F9	F7	F6

Tabla 2.4 Clases de filtración

gorías no puede ser común a la expulsión del aire de las categorías AE1 y AE2, para evitar la posibilidad de contaminación cruzada.

### Recuperación de Calor

Para obtener un mayor ahorro energético se debe prever la recuperación de calor

### IT 1.2 EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

#### IT1.2.4.5 Recuperación de energía

##### IT1.2.4.5.2 Recuperación de calor del aire de extracción

1 En los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior, por medios mecánicos, sea superior a 0,5 m<sup>3</sup>/s, se recuperará la energía del aire expulsado.

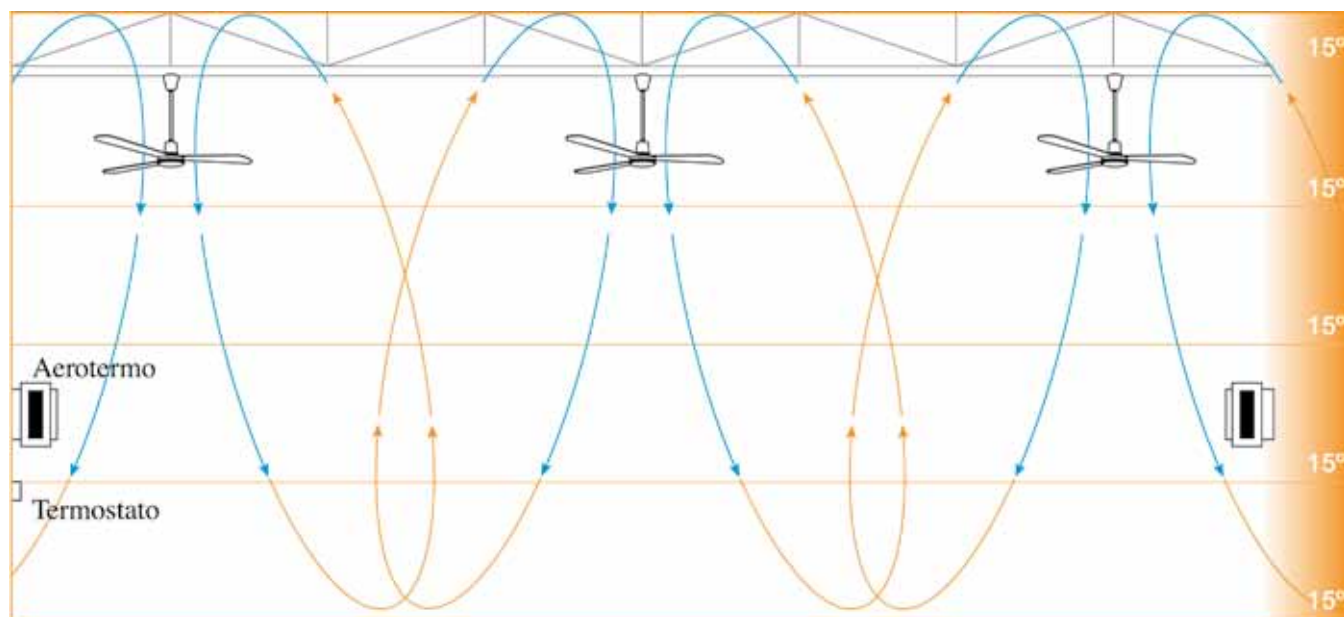
2 Sobre el lado del aire de extracción se instalará un aparato de enfriamiento adiabático.

3 Las eficiencias mínimas en calor sensible sobre el aire exterior (%) y las pérdidas de presión máximas (Pa) en función del caudal de aire exterior (m<sup>3</sup>/s) y de las horas anuales de funcionamiento del sistema deben ser como mínimo las indicadas en la tabla 2.5.

Debemos, según la época, evitar o favorecer la estratificación.

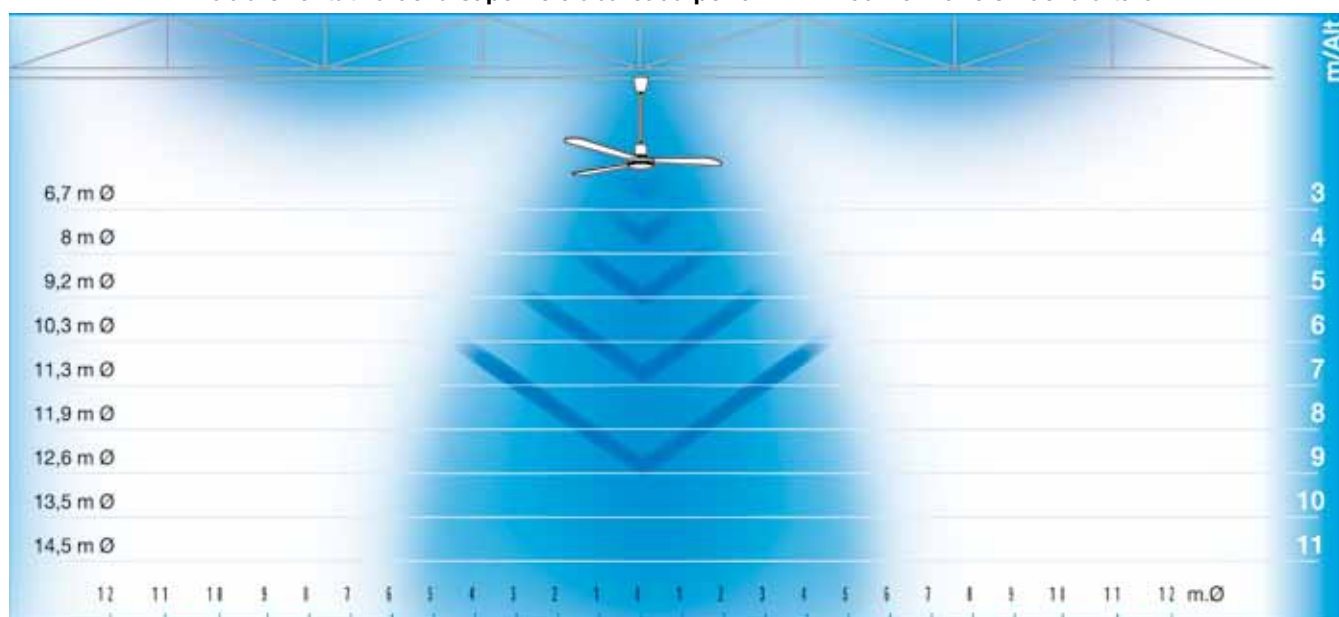
**Tabla 2.5 Eficiencia de la recuperación**

Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior (m³/s)									
	> 0,5... 1,5		> 1,5... 3,0		> 3,0... 6,0		> 6,0... 12		> 12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
< 2.000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
> 2.000... 4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
> 4.000... 6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
> 6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260



Para evitar el efecto de la estratificación, la solución es instalar Ventiladores de Techo HTB-150N que impulsarán el aire caliente hacia el suelo y lo mezclarán con el de las capas bajas, uniformando la temperatura en el local.

**Tabla orientativa de la superficie abarcada por un HTB-150N en función de la altura**



## IT 1.2 EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

### IT1.2.4.5 Recuperación de energía

#### IT1.2.4.5.3 Estratificación

En los locales de gran altura la estratificación se debe estudiar y favorecer durante los periodos de demanda térmica positiva y combatir durante los periodos de demanda térmica negativa.

### 2.6.3. Ventilación industrial

En consecuencia, si el tipo de local al cual se quiere efectuar una ventilación ambiental no está contemplado en el criterio anterior, debemos seguir nuestra "peregrinación" en busca de la normativa, si es que existe, que nos oriente sobre los caudales adecuados.

Una fuente de información la encontramos en la **Ley de Prevención de Riesgos Laborales y en concreto en el Real Decreto 486/1997 de 14 de abril, publicado en el BOE 23-IV-1997, que fija las "Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo"** y que por tanto forzosamente ha de tener incidencia en todo tipo de ambientes laborales. Dentro de esta disposición, se especifica lo siguiente en su **"Capítulo II, Art.7:**

**1. La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deberá suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores. A tal fin, dichas condiciones ambientales y en particular las condiciones termohigrométricas de los lugares de trabajo deberán ajustarse a lo establecido en anexo III.**

**2. La exposición a los agentes físicos, químicos y biológicos del ambiente de trabajo se regirá por lo dispuesto en su normativa específica".**

**Dentro del Anexo III mencionado por el anterior capítulo, los apartados en los cuales la ventilación puede tener una incidencia concreta son los siguientes:**

**Anexo III: Condiciones ambientales de los lugares de trabajo**

**3. En los lugares de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones:**

**a) La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27°C.**

**La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25°C.**

**b) La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por ciento, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por ciento.**

**c) Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:**

**1°. Trabajos en ambientes no calurosos: 0.25 m/s.**

**2°. Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0.5 m/s.**

**3°. Trabajos no sedentarios en ambientes no calurosos: 0.75 m/s.**

**Estos límites no se aplicarán a las corrientes de aire expresamente utilizadas para evitar el estrés en exposiciones intensas al calor, ni las corrientes de aire acondicionado, para las que el límite será de 0.25 m/s en el caso de trabajos sedentarios y 0.35 m/s en los demás casos.**

**d) La renovación mínima del aire en los locales de trabajo será de 30 metros cúbicos de aire limpio por hora y trabajador en el caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco y de 50 metros cúbicos en los casos restantes, a fin de evitar el ambiente viciado y los olores desagradables.**

**El sistema de ventilación empleado y, en particular, la distribución de las entradas de aire limpio y salidas del aire viciado, deberán asegurar una efectiva renovación del aire del local de trabajo.**

**4. A efectos de la aplicación de lo establecido en el apartado anterior, deberán tenerse en cuenta las limitaciones o condicionantes que puedan imponer, en cada caso, las características particulares del lugar de trabajo, de los procesos u operaciones que se desarrollen en él y del clima de la zona en la que está ubicado. En cualquier caso, el aislamiento térmico de los locales cerrados debe adecuarse a las condiciones climáticas propias del lugar.**

Tenemos, pues, ya una nueva orientación, obligatoria, en lo que respecta a la ventilación de ambientes laborales, fijada en 30 o 50 m<sup>3</sup>/h por persona en función del ambiente.

Además hemos subrayado el último párrafo del apartado 3 por su importancia para el objetivo de una adecuada ventilación ambiental de un recinto y sobre la cual volveremos en hojas posteriores.

No se nos puede escapar que el caudal "obligatorio" anterior puede ser suficiente para ambientes laborables relativamente normales pero, por contra, ser totalmente insuficiente cuando el ambiente en el cual se encuentren los operarios tenga otras fuentes contaminantes no derivadas del humo de tabaco, que son las más habituales en ambientes laborables.

Por consiguiente, si debemos ventilar un ambiente industrial en el cual el proceso de fabricación genera un determinado tipo de contaminante (humo, calor, humedad, disolventes, etc.) en cantidades molestas o perjudiciales y no es posible pensar en la utilización de sistemas de captación localizada para captar el contaminante en la fuente de producción, deberemos recurrir al empleo de la ventilación ambiental para lograr unos índices de confort adecuados.

No existirán ya unos estándares obligatorios pero sí unos criterios comúnmente aceptados, basados en aplicar un determinado número de renovaciones/hora al volumen considerado, que se usarán para la solución de este tipo de problemáticas.

En efecto, en función del grado de contaminación del local se deberá aplicar un mayor o menor número de renovaciones/hora de todo el volumen del mismo, según se observa en la tabla 2.6.

Esta tabla se basa en criterios de Seguridad e Higiene en el trabajo y pretende evitar que los ambientes lleguen a un grado de contaminación ambiental que pueda ser perjudicial para los operarios, pero sin partir ni del número de los mismos ni de criterios más científicos.

Obsérvese que, a medida que el grado de posible contaminación del recinto es mayor, aumenta la cantidad de renovaciones a aplicar, siendo más difícil determinar con precisión cual es el número exacto de renovaciones para conseguir un ambiente limpio con plenas garantías, por lo que será la propia experiencia la que nos oriente en casos como éstos, especialmente si se alcanzan niveles de contaminación importantes.





Renovación del aire en locales habitados	Renovaciones/hora N
Catedrales	0,5
Iglesias modernas (techos bajos)	1 - 2
Escuelas, aulas	2 - 3
Oficinas de Bancos	3 - 4
Cantinas (de fábricas o militares)	4 - 6
Hospitales	5 - 6
Oficinas generales	5 - 6
Bar del hotel	5 - 8
Restaurantes lujosos (espaciosos)	5 - 6
Laboratorios (con campanas localizadas)	6 - 8
Talleres de mecanizado	5 - 10
Tabernas (con cubas presentes)	10 - 12
Fábricas en general	5 - 10
Salas de juntas	5 - 8
Aparcamientos	6 - 8
Salas de baile clásico	6 - 8
Discotecas	10 - 12
Restaurante medio (un tercio de fumadores)	8 - 10
Gallineros	6 - 10
Clubs privados (con fumadores)	8 - 10
Café	10 - 12
Cocinas domésticas (mejor instalar campana)	10 - 15
Teatros	10 - 12
Lavabos	13 - 15
Sala de juego (con fumadores)	15 - 18
Cines	10 - 15
Cafeterías y Comidas rápidas	15 - 18
Cocinas industriales (indispensable usar campana)	15 - 20
Lavanderías	20 - 30
Fundiciones (sin extracciones localizadas)	20 - 30
Tintorerías	20 - 30
Obradores de panaderías	25 - 35
Naves industriales con hornos y baños (sin campanas)	30 - 60
Talleres de pintura (mejor instalar campana)	40 - 60

Tabla 2.6

La tabla anterior puede simplificarse aún más, en base al volumen del recinto a considerar (tabla 2.7) que da buenos resultados con carácter general.

Volumen	Nº renovaciones / hora
$V \leq 1000 \text{ m}^3$	20
$1000 \text{ m}^3 \leq V \leq 5000 \text{ m}^3$	15
$5000 \text{ m}^3 \leq V \leq 10000 \text{ m}^3$	10
$V \geq 10000 \text{ m}^3$	6

Tabla 2.7

En cualquier caso hay que tener en cuenta que los valores de la tabla anterior son orientativos, y que en caso de instalaciones con elevado grado de contaminación, los caudales resultantes de la aplicación de la tabla anterior pueden ser muy insuficientes.

### Situación del extractor

La gran variedad de construcciones y de necesidades existentes disminuye la posibilidad de dar normas fijas en lo que se refiere a la disposición del sistema de ventilación.

Sin embargo pueden darse una serie de indicaciones generales, que fijan la pauta a seguir en la mayoría de los casos:

- Las entradas de aire deben estar diametralmente opuestas a la situación de los ventiladores, de forma que todo el aire utilizado cruce el área contaminada.
- Es conveniente situar los extractores cerca del posible foco de contaminación, de manera que el aire nocivo se elimine sin atravesar el local.
- Debe procurarse que el extractor no se halle cerca de una ventana abierta, o de otra posible entrada de aire, a fin de evitar que el aire expulsado vuelva a introducirse o que se formen bolsas de aire estancado en el local a ventilar.

### 2.6.4. Ventilación de aparcamientos

#### Objetivo

El sistema de ventilación de un aparcamiento tiene como objetivo, en primer lugar, garantizar que no se acumulará monóxido de carbono en concentraciones peligrosas en ningún punto del aparcamiento.

En segundo lugar, y en cumplimiento del **CTE y en concreto del documento DB SI 3 Evacuación de ocupantes**, garantizar la evacuación de humos que puedan generarse en caso de incendio.

#### Características del CO

Sin ninguna duda el CO –monóxido de carbono– es el gas más peligroso de los emitidos por un vehículo automóvil y el que requiere de mayor dilución para que no sea perjudicial para las personas. El CO es un gas imperceptible, sin olor ni sabor, cuyo efecto sobre las personas, aspirado en cantidades importantes, es la reducción progresiva de la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre, pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar la muerte. Sin embargo, los efectos por intoxicación son totalmente reversibles y sin secuelas, y la exposición breve a concentraciones elevadas de CO no presenta riesgo alguno y puede tolerarse.

Se admite que para estancias inferiores a una hora, la concentración de CO pueda alcanzar 100 ppm (114,4 mg/m<sup>3</sup>), mientras que para una estancia igual a una jornada laboral de ocho horas, el nivel máximo admisible es de 50 ppm (57 mg/m<sup>3</sup>).

La densidad del CO es de 0.968, por lo que se acumulará normalmente en las partes altas del aparcamiento.

#### Consideraciones sobre la evacuación de humo en caso de incendio

La extracción de humo en caso de incendio de alguno de los vehículos automóviles en el interior de un aparcamiento pretende evitar que los usuarios que se encuentren en el interior del aparcamiento respiren los humos tóxicos generados y pierdan la visibilidad necesaria para alcanzar las vías de escape.

Debido a su temperatura, los humos se acumulan en la parte alta del recinto y deberían poderse evacuar antes de que se encuentren en cantidades importantes, lo que impediría el trabajo de los servicios de extinción, o bien se enfrían excesivamente y alcanzan capas inferiores.

#### Normativa

Para la ventilación de aparcamientos hay que cumplir el **Código Técnico de Edificación (CTE) y en concreto con los documentos DB SI 3 Evacuación de ocupantes** que pretende la evacuación de humo en caso de incendio, y el **DB SH Salubridad (HS 3 Calidad del aire interior)** que persigue la eliminación del monóxido de carbono CO; así como el **REBT (ITC-BT 28 Instalaciones en locales de pública concurrencia, y ITC-BT 29 Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión)**.

#### Evacuación de humo en caso de incendio

Conforme al DB SI, y en concreto según el **SI 3 Evacuación de ocupantes**, es necesario prever la evacuación de humo en caso de incendio en un aparcamiento. Dicha evacuación puede ser natural o forzada, y según el capítulo **8 Control de humo de incendio**, de dicho documento:

**1 “...se debe instalar un sistema de control de humo en caso de incendio capaz de garantizar dicho control durante la evacuación de los ocupantes, de forma que ésta se pueda llevar a cabo en condiciones de seguridad :**  
a) **Zonas de uso Aparcamiento que no tengan la consideración de aparcamiento abierto.**

En este sentido, el anexo del propio documento indica que

#### Aparcamiento abierto:

**Es aquel que cumple las siguientes condiciones:**

- sus fachadas presentan en cada planta un área total permanentemente abierta al exterior no inferior a 1/20 (5%) de su superficie construida, de la cual al menos 1/40 (2.5%) está distribuida de manera uniforme entre las dos paredes opuestas que se encuentren a menor distancia;**
- la distancia desde el borde superior de las aberturas hasta el techo no excede de 0.5 m.**

Teniendo en cuenta que

#### Uso aparcamiento

**Edificio, establecimiento o zona independiente o accesoria de otro de uso principal, destinado a estacionamiento**



to de vehículos y cuya superficie construida exceda de 100 m<sup>2</sup>, incluyendo las dedicadas a revisiones....

Dentro de este uso se denominan **aparcamientos robotizados** aquellos en los que el movimiento de los vehículos, desde acceso hasta las plazas de aparcamiento, únicamente se realiza mediante sistemas mecánicos y sin presencia ni intervención directa de personas.

Si no se dispone de aberturas suficientes para cumplir las condiciones anteriores, se seguirán las indicaciones del capítulo:

## 8 Control del humo de incendio

**2 El diseño, cálculo, instalación y mantenimiento del sistema pueden realizarse de acuerdo con las normas UNE 23585:2004 (SCEH)** Esta norma, sin embargo implicaría disponer de una altura del aparcamiento considerable y superior a 3 m de altura, lo que dificulta su aplicación y **EN 12101-6:2006**

**En zonas de uso Aparcamiento se consideran válidos los sistemas de ventilación conforme a lo establecido en el DB HS-3, los cuales, cuando sean mecánicos, cumplirán las siguientes condiciones adicionales a las allí establecidas:**

a) El sistema debe ser capaz de extraer un caudal de aire de 150 l/plaza-s con una aportación máxima de 120 l/plaza-s y debe activarse automáticamente en caso de incendio mediante una instalación de detección. En las planas cuya altura exceda de 4 m deben cerrarse mediante compuertas automáticas E<sub>300</sub> 60 las aberturas de extracción de aire más cercanas al suelo, cuando el sistema disponga de ellas.

b) Los ventiladores incluidos los de impulsión para vencer pérdidas de carga y/o regular el flujo deben tener una clasificación F<sub>300</sub> 60.

c) Los conductos que transcurran por un único sector de incendio deben tener una clasificación E<sub>300</sub> 60. Ñ Los que atraviesen elementos separadores de sectores de incendio deben tener una clasificación EI 60.

Para aparcamientos robotizados, se seguirá el criterio del DB SI 5:

Los aparcamientos robotizados dispondrán, en cada sector de incendios en que estén compartimentados, de una vía compartimentada con elementos EI 120 y puertas EI2 60-C5 que permita el acceso de los bomberos hasta cada nivel existente, así como de un sistema mecánico de extracción de humo capaz de realizar 3 renovaciones /hora

Tabla 2.8 Caudales de ventilación mínimos exigidos

Aparcamientos y garajes	Caudal de ventilación mínimo exigido q <sub>v</sub> en l/s
	120 por plaza

### Eliminación del CO

Se ha de cumplir el DB HS 3, que en su ámbito de aplicación indica:

*Esta sección se aplica en,..., los aparcamientos y garajes; y, en los edificios de cualquier otro uso, a los aparcamientos y los garajes. Se considera que forman parte de los aparcamientos y garajes las zonas de circulación de los vehículos.*

Este documento pretende garantizar la salubridad de los ambientes, y en este sentido eliminar el CO, en base al caudal de la tabla 2.8.

Y en cuanto a las instalaciones, se especifica en el apartado

#### 3.1.4 Aparcamientos y garajes de cualquier tipo de edificio

**1 En los aparcamientos y garajes debe disponerse un sistema de ventilación que puede ser natural o mecánica.**

##### 3.1.4.1 Medios de ventilación natural

**1 Deben disponerse aberturas mixtas (según el Apéndice A Terminología, una abertura mixta es una: Abertura de ventilación que comunica el local directamente con el exterior y que en ciertas circunstancias funciona como abertura de admisión y en otras como abertura de extracción), al menos en dos zonas opuestas de la fachada de tal forma que su reparto sea uniforme y que la distancia a lo largo del recorrido mínimo libre de obstáculos entre cualquier punto del local y la abertura más próxima a él sea como máximo igual a 25 m. Si la distancia entre las aberturas opuestas más próximas es mayor que 30 m debe disponerse otra equidistante de ambas, permitiéndose una tolerancia del 5%.**

**2 En el caso de garajes de menos de cinco plazas, en vez de aberturas mixtas, pueden disponerse una o varias aberturas de admisión que comuniquen directamente con el exterior en la parte inferior de un cerramiento y una o varias aberturas de extracción que comuniquen directamente con el exterior en la parte superior del mismo cerramiento, separadas verticalmente como mínimo 1.5 m.**

##### 3.1.4.2 Medios de ventilación mecánica

**1 La ventilación debe ser para uso exclusivo del aparcamiento salvo cuando los trasteros estén situados en el propio recinto del aparcamiento,**

*en cuyo caso la ventilación puede ser conjunta respetando en todo caso la posible compartimentación de los trasteros como zona de riesgo especial, conforme al SI 1-2.*

**2 La ventilación debe realizarse por depresión y puede utilizarse una de las siguientes opciones:**

a) con extracción mecánica:

b) con admisión y extracción mecánica:

Si bien según el apartado anterior sería posible ventilar cualquier tipo de aparcamiento simplemente mediante extracción, se aconseja garantizar la entrada de aire limpio procedente del exterior a todas las plantas, siendo aceptable que para las plantas primera y segunda, la entrada de aire se realice a través de una abertura independiente de la propia puerta, con sección de reja para entrada de aire a 2,5 m/s (preferiblemente mediante aberturas directas al exterior, o en su defecto a través de una rejilla a situar por encima de la puerta, o bien calar la puerta) y a través de las rampas, mientras que a partir de la tercera planta se dispondrán de conductos de aportación de aire, con velocidades máximas de entrada de aire de 4 m/s, para entrada de aire natural y de 10 m/s en el caso de aportación forzada.

Igualmente se aconseja que para los aparcamientos públicos, en los que generalmente se producirá un mayor movimiento de vehículos, se usen sistemas conjuntos de extracción e impulsión con el objeto de garantizar una adecuada eliminación de los posibles contaminantes.

**2 Debe evitarse que se produzcan estancamientos de los gases contaminantes y para ello, las aberturas de ventilación deben disponerse de la forma indicada a continuación o de cualquier otra que produzca el mismo efecto :**

a) haya una abertura de admisión y otra de extracción por cada 100 m<sup>2</sup> de superficie útil;

b) la separación entre aberturas de extracción más próximas sea menor que 10 m.

Es muy importante remarcar el objetivo fundamental del sistema de ventilación: **evitar que se produzcan estancamientos de los gases**

**contaminantes**, de manera que se ha de garantizar un adecuado barrido de aire desde los puntos de entrada de aire exterior hasta los puntos de extracción y por delante de la necesidad de disponer de aberturas de admisión cada 100 m<sup>2</sup> está el objetivo solicitado, siendo admisibles soluciones diferentes a las propuestas por el CTE (*o de cualquier otra que produzca el mismo efecto*) para conseguir el objetivo deseado.

### **3 Como mínimo deben emplazarse dos terceras partes de las aberturas de extracción a una distancia del techo menor o igual a 0.5 m.**

Hay que tener en cuenta que el uso de aberturas de extracción (rejillas) a nivel del suelo implicará la condición de que en los conductos descendentes se deban instalar compuertas E600 90 que se cierren automáticamente en caso de incendio, conforme se solicita en el DB SI 3 Evacuación de ocupantes, (ya que por lo general se usa el mismo sistema de extracción de humos para la eliminación del CO), con el objetivo de evitar que los humos generados en un supuesto incendio fuesen aspirados por las rejillas inferiores, provocando lo contrario de lo pretendido en un sistema de extracción de este tipo, de manera que los ocupantes inhalasen el humo mientras se dirigiesen a la salida al exterior.

**4 En los aparcamientos compartimentados en los que la ventilación sea conjunta deben disponerse las aberturas de admisión en los en los compartimentos y las de extracción en las zonas de circulación comunes de tal forma que en cada compartimento se disponga al menos de una abertura de admisión.**

**5 En aparcamientos con 15 o más plazas se dispondrán en cada planta al menos dos redes de conductos de extracción dotadas del correspondiente aspirador mecánico.**

**6 En los aparcamientos que excedan de cinco plazas o de 100 m<sup>2</sup> útiles debe disponerse un sistema de detección de monóxido de carbono en cada planta que active automáticamente el o los aspiradores mecánicos cuando se alcance una concentración de 50 p.p.m en aparcamientos donde se prevea que existan empleados y una concentración de 100 p.p.m en caso contrario.**

## **Desclasificación de los aparcamientos**

**La instrucción ITC-BT 029 Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) dice en su apartado**

**4 Clasificación de emplazamientos. Para establecer los requisitos que ha de satisfacer los distintos elementos constitutivos de la instalación eléctrica en emplazamientos con atmósferas potencialmente explosivas, estos emplazamientos se agrupan en dos clases según la naturaleza de la sustancia inflamable, denominadas como Clase I y Clase II.**

**La clasificación de emplazamientos se llevará a cabo por un técnico competente que justificarán los criterios y procedimientos aplicados. Esta decisión tendrá preferencia sobre las interpretaciones literales o ejemplos que figuran en los textos.**

### **4.1. Clases de emplazamientos**

**Los emplazamientos se agrupan como sigue:**

**Clase I: Comprende los emplazamientos en los que hay o puede haber gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósferas explosivas o inflamables; se incluyen en esta clase los lugares en los que hay o puede haber líquidos inflamables.**

**En la norma UNE-EN 60079-10 se recogen reglas precisas para establecer zonas en emplazamientos de Clase I.**

### **4.2 Ejemplos de emplazamientos peligrosos**

**De Clase I**

**- garajes y talleres de reparación de vehículos. Se excluyen los garajes de uso privado para estacionamiento de 5 vehículos o menos.**

La instrucción clasifica los aparcamientos como locales con riesgo de incendio y explosión y en su apartado 4 establece que la clasificación de emplazamientos para atmósferas potencialmente explosivas se llevará a cabo por un técnico competente.

La citada ITC-BT-29 remite a la norma UNE-EN 60079-10 a fin de establecer el procedimiento para la clasificación de emplazamientos.

Para desclasificar el recinto se propone seguir los criterios de la Resolución 27 abril 2006 (BOPV nº 105) del País Vasco, que indica que en lo que se refiere al grado de la fuente de escape, se puede tratar de un escape, el procedente de ven-

teos, deterioro de juntas y materiales de los depósitos o emisiones de los tubos de escape de los vehículos, que se puede considerar infrecuente y en períodos de corta duración, por lo que, acorde con la norma UNE-EN 60079, se puede clasificar como fuente de escape secundario.

Los criterios de cálculo y diseño de los sistemas de ventilación de aparcamientos expuestos anteriormente, bien sea para evacuación de humos en caso de incendio o para dilución del CO a niveles aceptables para la salud de las personas, son en todo caso muy superiores a los que se necesita para diluir o dispersar los vapores inflamables hasta que su concentración sea más baja que el límite inferior de explosión (LIE), lo que implica que asegurada la misma y teniendo en cuenta el grado secundario de la fuente de escape se puede considerar, a los efectos de la norma UNE-60079-10, que **la zona clasificada como peligrosa sea en general despreciable**, siempre y cuando la ventilación cumpla los requisitos indicados de la ventilación para evacuación de humos y eliminación del CO, se considerará conseguido un alto grado de ventilación a los efectos de lo previsto en la norma UNE EN 60079-10 **cuando se asegure una renovación de 120 l/s** (garantizando una adecuada distribución de aire por el interior), con lo que **el garaje queda desclasificado** a los efectos de lo previsto en la ITC-BT-29 del REBT, y no será necesario tomar medidas de protección adicional respecto a las solicitadas por el CTE.

## **Locales de pública concurrencia**

La ITC-BT 28 considera los aparcamientos como locales de pública concurrencia, obligándoles a cumplir las siguientes condiciones:

### **1 Campo de aplicación**

**La presente instrucción se aplica a locales de pública concurrencia como:**

**..., estacionamientos cerrados y cubiertos para más de 5 vehículos,...**

### **2.3 Suministros complementarios o de seguridad**

**todos los locales de pública concurrencia deberán disponer de alumbrado de emergencia**

**Deberán disponer de suministro de reserva:**

**Estacionamientos subterráneos para más de 100 vehículos.**



### Entradas de aire

Las bocas de captación del aire exterior deben alejarse del suelo de jardines o forestas para no captar hojas o polen; separadas de letreros luminosos por su atracción de insectos; lejos de descargas de aire para no recircular emisiones viciadas, y nunca en el suelo porque puede obturarse por objetos o desechos. De forma habitual se vienen instalando rejillas por encima de las propias puertas de acceso, lo que permite, al sistema de ventilación parado, una "cierta" ventilación natural del propio aparcamiento, y garantiza una correcta entrada de aire cuando el sistema de ventilación está en funcionamiento, independientemente de la abertura o no de la puerta de acceso al recinto.

### Descargas de aire

En el DB HS 3, y en el apartado 3.2.1. Aberturas y bocas de ventilación se indica:

**4 Las bocas de expulsión deben situarse en la cubierta del edificio separadas 3 m como mínimo, de cualquier elemento de entrada de ventilación (boca de toma, abertura de admisión, puerta exterior y ventana) y de los espacios donde pueda haber personas de forma habitual, tales como terrazas, galerías, miradores, balcones, etc.**

### Otros conceptos a tener en cuenta

El CTE no especifica velocidad de diseño alguno para la redes de conductos por el interior del aparcamiento, mientras que tampoco queda clara la sección de los conductos procedentes desde dicho recinto, que puedan circular por el interior de espacios habitables, hasta la cubierta, ya que si bien en el documento **HS Salubridad 3 Calidad del aire interior**, en su capítulo **3 Diseño** se menciona que la sección de los conductos circulantes a través de dichos espacios se calculará con la fórmula  $S > 2,50 \cdot q_{vt}$ , lo que corresponde a una velocidad de 4 m/s, se entiende que esta velocidad se refiera al diseño de los conductos de ventilación general de la vivienda, ya que si se aplican para garajes y aparcamientos podría darse la paradoja de que en un aparcamiento de dimensiones importantes o de más de una planta, con un único montante vertical hasta

la cubierta, dicho conducto tuviese unas dimensiones tan considerables que provocase una reducción significativa de la superficie de cada una de las plantas de las viviendas superiores. En este sentido, pues, se aconseja dimensionar los conductos verticales, procedentes del interior de los aparcamientos a través de los locales habitables hasta la cubierta, a una velocidad máxima de 8 m/s (ya que a él no se conectará ningún tipo de instalación de las propias viviendas), con un grosor de chapa mínimo de 1 mm para evitar la transmisión de ruidos.

Para los conductos a ubicar propiamente en el interior del aparcamiento, se pueden dimensionar conforme a la norma UNE -100 166 04, para una velocidad de hasta 10 m/s.

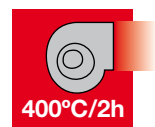
Se aconseja también que, en la medida de lo posible, el conducto sea circular, si bien con frecuencia la altura de los garajes impide este tipo de conductos, por lo que seguidamente se aconseja el uso de conductos ovalados, al presentar menor pérdida de carga que los rectangulares. Y si no hay otra opción que el uso de estos conductos, deberán ser lo más cuadrados posibles, y no se deberá sobrepasar, en ningún caso, relaciones de lados superiores de lado **mayor**  $\leq 5$  lado menor para evitar provocar pérdidas de carga excesivas.

### Ubicación de los extractores

La actual normativa obliga a que los extractores sean capaces de evacuar humo en caso de incendio, y se utiliza, con carácter general, el mismo sistema de evacuación de humos en caso de incendio que para la eliminación del CO.

Para la evacuación de humos en caso de incendio ha de tenerse en cuenta que existen dos tipos de aparatos capaces de realizar dicha función:

### Aparatos para trabajar inmersos.



Se trata de aparatos cuyo motor se encuentra en el interior del flujo de aire extraído, por lo que ha

de ser capaz de soportar la temperatura de 400°C. Si bien la normativa exige que soporten dicha temperatura durante 90 minutos, el tiempo mínimo es de 2h. al no existir fabricantes de motores que cumplan la condición solicitada, y se homologan íntegramente los ventiladores para soportar condiciones de 400°C/2h. Hay que tener en cuenta que los motores usados reúnen unas características especiales y solamente existen con alimentación trifásica.

### Aparatos para trasiego.



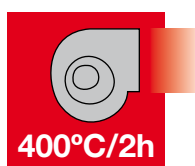
Se trata de aparatos cuyo motor no está en contacto con el flujo de aire extraído, y su motor es normal, siendo posible

encontrar aparatos de alimentación monofásica siempre y cuando su potencia no supere los 2.2 KW.

Este tipo de aparatos no puede montarse directamente en el interior del aparcamiento, y deben situarse o bien en una sala de máquinas, siempre con los conductos conectados a la aspiración y descarga de los aparatos, o bien directamente en la cubierta, o en el espacio comprendido entre el aparcamiento y la cubierta.

También ha de tenerse en cuenta que es importante que cada planta tenga el conjunto de extractores independientes para cada planta, lo que ha de asegurar un control adecuado del humo en la planta que pudiese verse afectada en caso de incendio.

Por último se verificará que no existen normativas, ya sea autonómicas o municipales, cuyas exigencias sean distintas a las indicadas anteriormente, que prevean otras soluciones distintas a las indicadas.



**Series de producto**  
**Desenfumage para trabajar inmersos a 400°C/2h**



**THGT**



**CHGT**



**TJHT**



**IFHT**



**HGHT**



**CHMT**



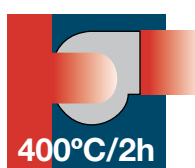
**CHAT**



**CHXT**



**CHMTC**



**Series de producto**  
**Desenfumage para vehicular aire a 400°C/2h**



**CTHT**



**CTVT**



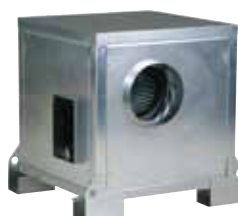
**CRMT**



**CXRT**



**BSP**



**CRMTC**



**CHVT**



**CVHT**



**CVST**



**ILHT**



## 2.7 VENTILACIÓN LOCALIZADA

### 2.7.1. Captación localizada

Cuando en un local se originan gases, olores y polvo, aplicar al mismo los principios de la ventilación general expuestos en las hojas anteriores, puede originar algunas problemáticas concretas como una instalación poco económica y en algunos casos poco efectiva debido a los grandes volúmenes de aire a vehicular, la importante repercusión energética en locales con calefacción e incluso la extensión a todo el recinto de un problema que inicialmente estaba localizado. (Fig. 2.7).

En consecuencia, siempre que ello sea posible, lo mejor es solucionar el problema de contaminación en el mismo punto donde se produce mediante la captación de los contaminantes lo más cerca posible de su fuente de emisión, antes de que se dispersen por la atmósfera del recinto y sea respirado por los operarios. Las aspiraciones localizadas pretenden mantener las sustancias molestas o nocivas en el nivel más bajo posible, evacuando directamente los contaminantes antes de que éstos sean diluidos.

Una de las principales ventajas de estos sistemas es el uso de menores caudales que los sistemas de ventilación general, lo que repercute en unos menores costes de inversión, funcionamiento y calefacción. Por último la ventilación por captación localizada debe ser prioritaria ante cualquier otra alternativa y en especial cuando se emitan productos tóxicos en cantidades importantes.

### 2.7.2. Elementos de una captación localizada

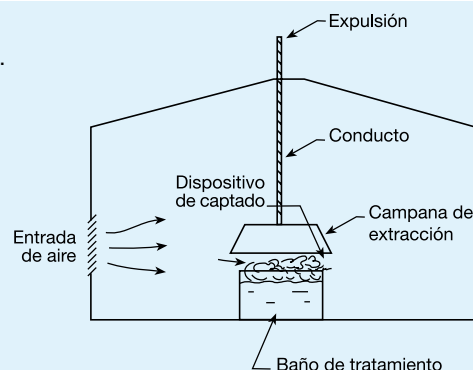
En una captación localizada serán necesarios los elementos siguientes:

- Sistema de captación.
- Canalización de transporte del contaminante.
- (En determinadas instalaciones) Sistema separador.

#### Sistema de captación

El dispositivo de captación, que en muchos casos suele denominarse campana, tiene por objeto evitar que el contaminante se esparza por el resto del local, siendo este elemento la parte más importante de la instalación ya que una mala con-

a) Ventilación localizada: captado de los contaminantes.



b) Ventilación general: dilución de los contaminantes.

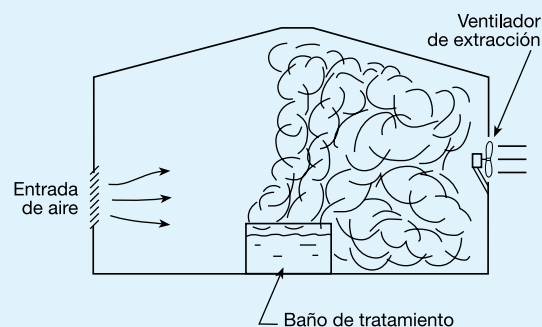


Fig. 2.7: Los dos grandes tipos de ventilación.

cepción de este dispositivo puede impedir al sistema captar correctamente los contaminantes o llevar, para compensar esta mala elección inicial, a la utilización de caudales, coste de funcionamiento y de instalación excesivos.

Este dispositivo puede adoptar diversas formas, tal como se observa en la Fig. 2.8.

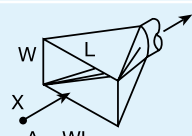
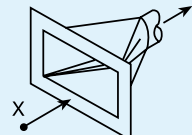
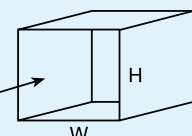
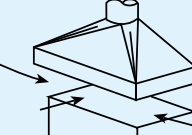
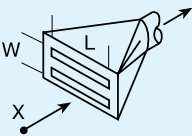
Tipo de campana	Descripción	Caudal
	Campana simple	$Q = V(10x2+A)$
	Campana simple con pestaña	$Q = 0,75V(10x2+A)$
	Cabina	$Q = VA = VWH$
	Campana elevada	$Q = 1,4 PVH$ P = perímetro H = altura sobre la operación
	Rendija múltiple. 2 ó más rendijas.	$Q = V(10x2+A)$

Fig. 2.8: Tipos de campanas

Para que el dispositivo de captación sea efectivo, deberán asegurarse unas velocidades mínimas de captación. Esta velocidad se define como: **“La velocidad que debe tener el aire para arrastrar los vapores, gases, humos y polvo en el punto más distante de la campana”.**

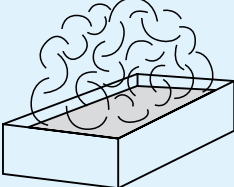
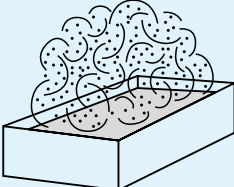
Estas velocidades se observan en la tabla 2.10.

#### Canalización de transporte

Una vez efectuada la captación y para asegurar el transporte del aire contaminado, es necesario que la velocidad de éste dentro de la cana-

lización impida la sedimentación de las partículas sólidas que se encuentran en suspensión.

Así el dimensionado del conducto se efectuará según sea el tipo de materiales que se encuentren en suspensión en el aire, tal como puede verse en la tabla 2.11.

	Características de la fuente de contaminación	Ejemplos	Velocidad de captación m/s
	Desprendimiento con velocidades casi nulas y aire quieto.	Cocinas. Evaporación en tanques. Desengrasado.	0,25 - 0,5
	Desprendimientos a baja velocidad en aire tranquilo.	Soldadura. Decapado. Talleres galvanotecnia.	0,5 - 1
	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Cabinas de pintura.	1 - 2,5
	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Trituradoras.	1 - 2,5
	Desprendimiento a alta velocidad en zonas de muy rápido movimiento del aire.	Esmerilado. Rectificado.	2,5 - 10

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

<b>Inferior</b> 1. Pocas corrientes de aire en el local. 2. Contaminantes de baja toxicidad. 3. Intermitencia de las operaciones. 4. Campanas grandes y caudales elevados.	<b>Superior</b> 1. Corrientes turbulentas en el local. 2. Contaminantes de alta toxicidad. 3. Operaciones continuas. 4. Campanas de pequeño tamaño.
--	---

Tabla 2.10: Velocidades de captación.

Gases, vapores		5 a 6(*)
Humos	Humos de óxido de zinc y de aluminio.	7 a 10(*)
Polvos muy finos y ligeros	Felpas muy finas de algodón.	10 a 13
Polvos secos y pólvoras	Polvos finos de caucho, de baquelita; felpas de yute; polvos de algodón, de jabón.	13 a 18
Polvos industriales medios	Abrasivo de lijado en seco; polvos de amolar; polvos de yute, de grafito; corte de briquetas, polvos de arcilla, de calcáreo; embalaje o pesada de amianto en las industrias textiles.	18 a 20
Polvos pesados	Polvo de toneles de enarenado y desmoldeo, de chorreado, de escariado.	20 a 23
Polvos pesados o húmedos	Polvos de cemento húmedo, de corte de tubos de amianto-cemento, de cal viva.	>23
(*)Generalmente se adoptan velocidades de 10 m/s		o transporte neumático húmedo

Tabla 2.11: Gama de los valores mínimos de las velocidades de transporte de aire contaminado en las conducciones.

### 2.7.3. Principios de diseño de la captación

El rendimiento de una extracción localizada depende, en gran parte, del diseño del elemento de captación o campana. Se indican a continuación un conjunto de reglas para el diseño de los mismos:

#### Colocar los dispositivos de captado lo más cerca posible de la zona de emisión de los contaminantes

La eficacia de los dispositivos de aspiración disminuye muy rápidamente con la distancia. Así, por ejemplo si para captar un determinado contaminante a una distancia  $L$  se necesita un caudal de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , si la distancia de captación es el doble ( $2L$ ) se requiere un caudal cuatro veces superior al inicial para lograr el mismo efecto de aspiración de dicho contaminante (Fig. 2.9).

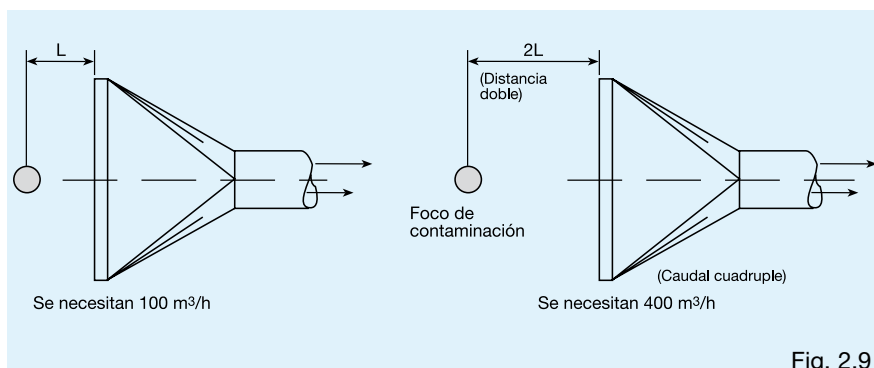


Fig. 2.9

Según lo anterior, la mejor situación de una campana extractora será la que consiga la mínima distancia entre aquella y el borde más alejado que emita gases o vapores (Fig. 2.10).

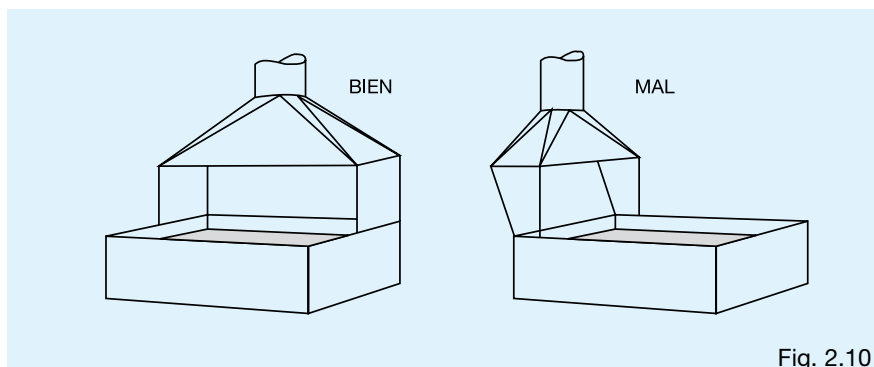


Fig. 2.10

#### Encerrar la operación tanto como sea posible

Cuanto más encerrado esté el foco contaminante, menor será la cantidad de aire necesario para evacuar los gases (Fig. 2.11).

#### Instalar el sistema de aspiración para que el operario no quede entre éste y la fuente de contaminación

Las vías respiratorias del trabajador jamás deben encontrarse en el trayecto del contaminante hacia el punto de aspiración (Fig. 2.12).

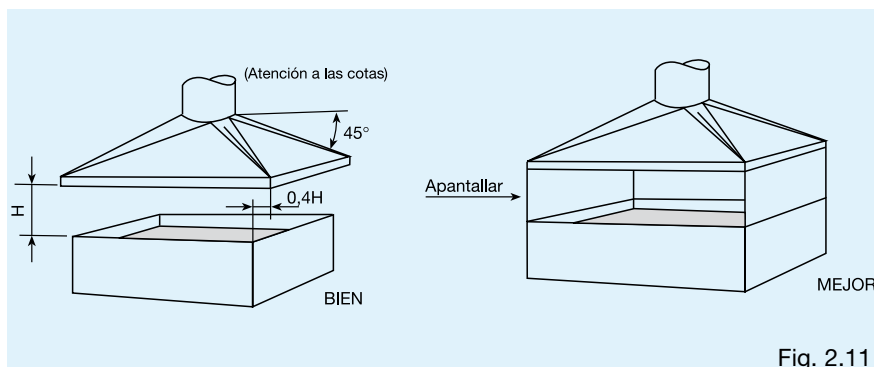


Fig. 2.11

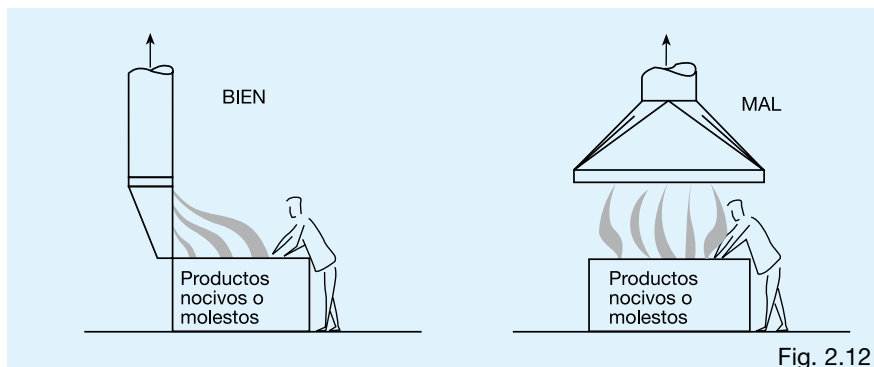


Fig. 2.12

### Situar los sistemas de captado utilizando los movimientos naturales de las partículas

Se efectuará la extracción de manera que se utilicen las mismas fuerzas de inercia para ayudarnos en la captación de las partículas (Fig. 2.13).

### Enmarcar las boquillas de extracción

Siempre que sea posible, enmarcar las boquillas de extracción reduce considerablemente el caudal de aire necesario (Fig. 2.14).

Si no se coloca el enmarcado, la boquilla o campana, además de extraer el aire que está frente a ella y que se supone que está contaminado, se aspira también aire de encima y de los lados con lo que se pierde eficacia. En una boquilla enmarcada la zona de influencia de la misma es mayor que si no se coloca este elemento, tal como se observa en la (Fig. 2.15.)

### Repartir uniformemente la aspiración a nivel de la zona de captado

El caudal aspirado debe repartirse lo más uniformemente posible, de manera que se eviten las fugas de aire contaminado en aquellas zonas donde la velocidad de aspiración pudiese ser más débil. Fig.2.16.

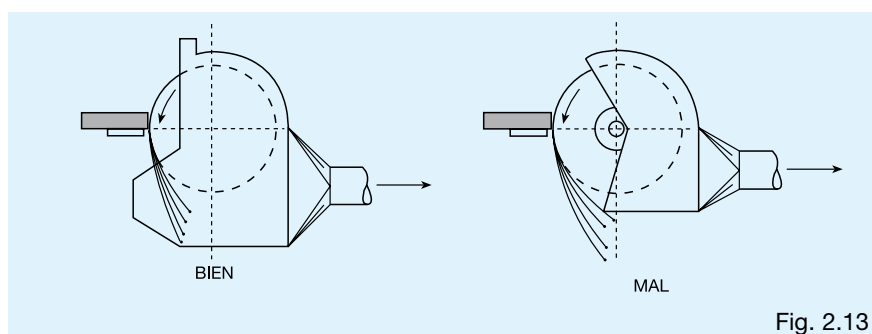


Fig. 2.13

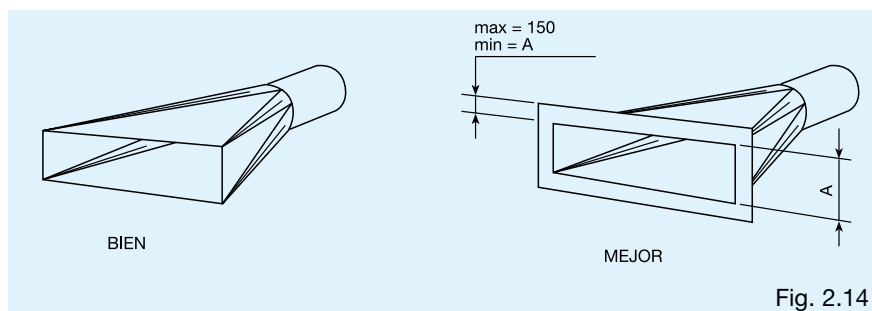


Fig. 2.14

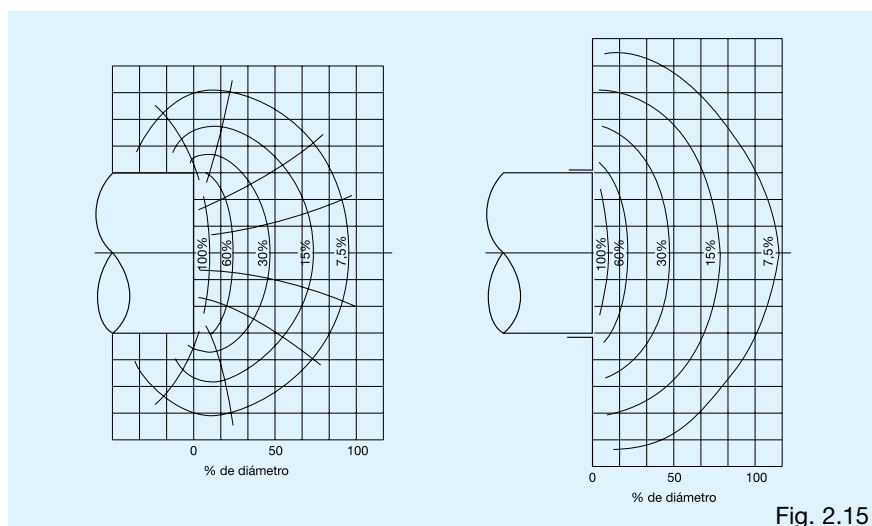


Fig. 2.15

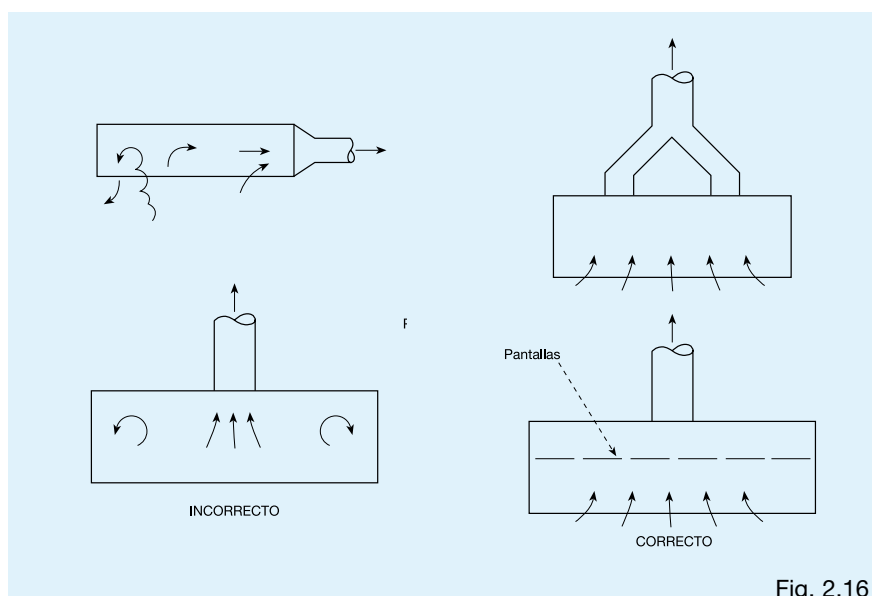
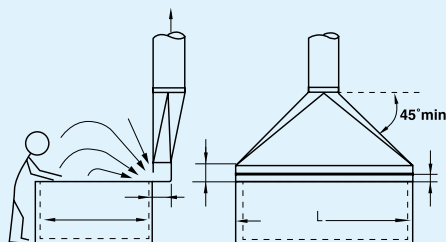


Fig. 2.16

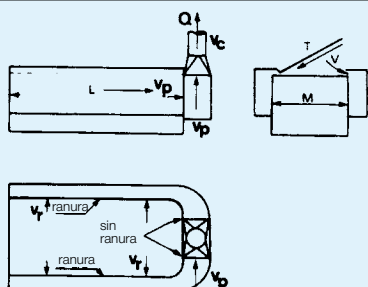
## 2.7.4. Casos de ventilación industrial localizada



### TANQUES PARA RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

El caudal necesario:  
 $Q(m^3/h) = KLM$   
 $K =$  de 1.000 a 10.000,  
 usualmente de 3.000 a 5.000  
 $L, M$  en metros (m)

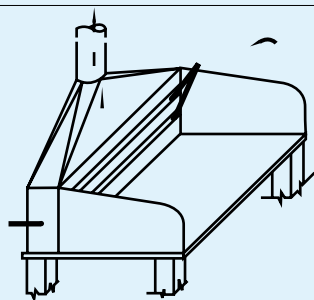
La velocidad de aire en la ranura:  
 $v_r > 10 \text{ m/s}$   
 Con esta captación se mantiene alejado el contaminante de la zona de respiración del operario.



### DESENGRASADO CON DISOLVENTES

$Q(m^3/h) = 920 LM$   $L, M$  (m)  
 Velocidad máx. ranura  $v_r = 5 \text{ m/s}$   
 Vel. máx. plenum:  $v_p = 2,5 \text{ m/s}$   
 Vel. conducto  $v_c = 12$  a  $15 \text{ m/s}$   
 Pérdidas entrada:  
 $1,8 P_d \text{ ranura} = 0,25 P_d$

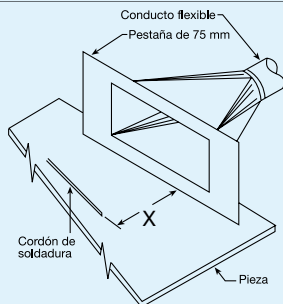
La tapa T debe cerrarse cuando no se usa. Debe preverse un conductor separado para la evacuación de los productos de la combustión, si los hubiere. Para el trabajo es necesario un suministro directo de aire para la respiración.



### VENTILACIÓN PARA SOLDADURA SOBRE BANCO FIJO

$Q = 2.000 \text{ m}^3/h$  por m de campana.  
 Longitud campana: La que requiera el trabajo a realizar.  
 Ancho banco: 0,6 m máximo.  
 Velocidad conducto:  $v_c = 12 \text{ m/s}$   
 Vel. en las ranuras:  $v_r = 5 \text{ m/s}$

Pérdidas entrada:  
 $= 1,8 P_d \text{ (ranura)} = 0,25 P_d \text{ (conducto)}$   
 Velocidad máxima de la cámara V igual a la mitad de la velocidad en las ranuras.

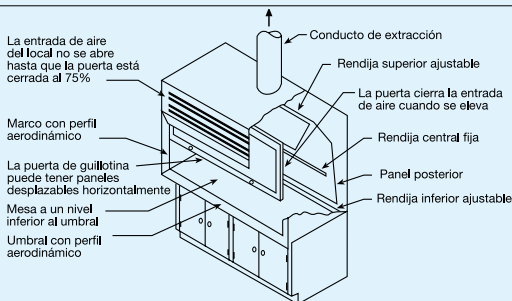


### EXTRACCIÓN LOCALIZADA PORTÁTIL PARA SOLDADURA

#### CAMPANA MÓVIL

	Conducto simple	Con pestaña o pieza cónica
X, mm	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
Hasta 150	0,16	0,12
150-225	0,35	0,26
225-300	0,63	0,47

- Velocidad en la cara abierta = 7,5 m/s  
 - Velocidad en conducto = 15 m/s  
 - Pérdida en la entrada conducto simple = 0,93  $P_{D \text{ conducto}}$   
 - Pérdida en la entrada con pantalla o cono = 0,25  $P_{D \text{ conducto}}$

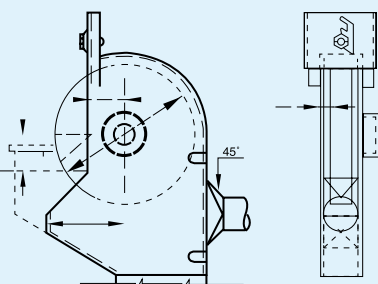


### CABINA DE LABORATORIO

#### CABINA CON PUERTA DE GUILLOTINA Y MARCO DE PERFIL AERODINÁMICO

-  $Q = 0,3 - 0,76 \text{ m}^3/s/m^2$  de superficie total abierta en función de la eficacia de la distribución del aire aportado al local  
 - Pérdida en la entrada = 0,5 PD  
 - Velocidad en conducto = 5 - 10 m/s según uso

Para velocidades mayores, prolongan la caperuza y se debe colocar una plataforma de apoyo para piezas.



		Velocidad amolado m/s			
		Menos 35		Más 35	
Diám. disco mm	Ancho disco mm	Bien cerrada	Poco cerrada	Especial	Bien cerrada
hasta 125	25	375	375	375	650
125 a 250	38	375	500	650	1050
250 a 350	50	500	850	850	1250
350 a 400	50	650	1050	1050	1500
400 a 500	75	850	1250	1250	1750
500 a 600	100	1050	1500	1500	2050
600 a 750	125	1500	2000	2000	2650
750 a 900	150	2000	2650	2650	3350

### CAPTACIÓN DE POLVOS CAMPANA PARA MUELA DE DISCO

Caperuza bien cerrada = Máx. 25% disco descubierto.  
 Vel. mín.  $v_c = 23 \text{ m/s}$  raml  
 $v = 18 \text{ m/s}$  cond. pral.  
 Pérdida de entrada:  
 $n = 0,65$  conex. recta  
 $n = 0,40$  conex. cónica

## 2.7.5. Cocinas domésticas

### Normativa

El CTE, es su apartado 3 Diseño. 3.1.1 Condiciones generales de los sistemas de ventilación. 3.1.1 Viviendas se indica

**3 Las cocinas deben disponer de un sistema adicional específico de ventilación con extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción. Para ello debe disponerse de un extractor conectado a un conducto de extracción independiente de los de la ventilación general de la vivienda que no puede utilizarse para la extracción de los locales de otro uso. Cuando este conducto sea compartido por varios extractores, cada uno de éstos debe estar dotado de una válvula automática que mantenga abierta su conexión con el conducto sólo cuando esté funcionando o de cualquier otro sistema antirevoco.**

Las cocinas son un caso típico de aplicación de la ventilación localizada: captar el aire cargado de gases, humos, grasas y calor, encima mismo de los fogones donde se produce, filtrarlo y conducirlo hasta la descarga.

### Diseño

El caudal de aire necesario que debe extraer la campana es el capaz de arrastrar y diluir los polucionantes desprendidos. Este caudal debe ser el mínimo posible por razones de economía de energía.

Es importante también conseguir un equilibrio entre el aire extraído de la cocina con el impulsado a ella a través de los locales adyacentes o directamente del exterior, de modo que la cocina quede en una ligera depresión. Se trata de evitar que el aire contaminado que no capte la campana se difunda por el piso, invadiendo con sus olores indeseables las otras estancias de la casa.

El aire necesario será tanto menor cuanto mejor la campana abraza, cubra de cerca, los focos de la producción contaminante. Una campana baja, es mucho mejor que una campana a una altura suficiente para permitir pasar la cabeza del cocinero/a.

### Campanas compactas

Son campanas que llevan filtro, luz grupo de extracción y mandos, formando un conjunto listo para instalar. Pueden conectarse de manera que

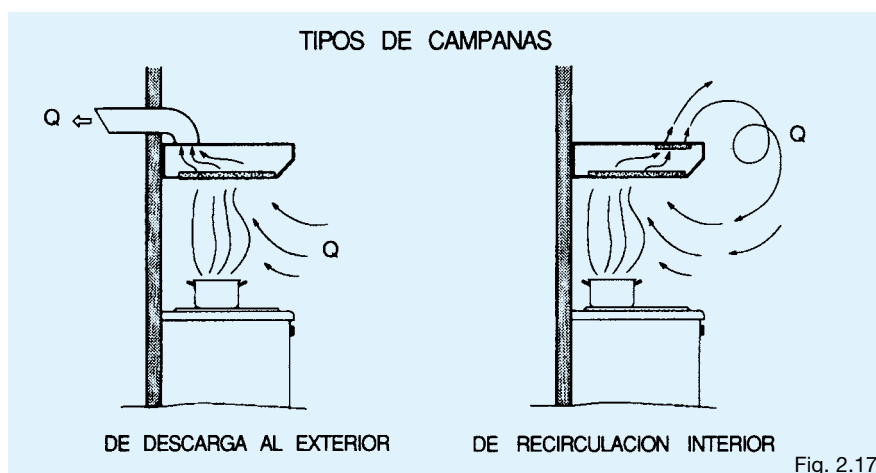


Fig. 2.17

**TABLA ORIENTATIVA PARA LA ELECCIÓN DEL EXTRACTOR O CAMPANA DE COCINA MÁS ADECUADOS. COCINAS CON CAMPANAS ADOSADAS A LA PARED.**

Longitud área de cocción (cota L)	Caudal aconsejado (m³/h)	Modelo de extractor SP según longitud del conducto de salida		
		0 a 5 m	5 a 15 m	más de 15 m
Hasta 60 cm	200-300	CK-25N TD-250 Campana de 60 cm con 1 motor	CK-35N CK-40 y CK-40F TD-350 Campana de 60 cm con 2 motores o motor tangencial	CK-40 y CK-40F CK-50 y ECO-500 TD-500 Campana de 60 cm con motor tangencial
Hasta 90 cm	300-600	CK-35N CK-40 y CK-40F CK-50 y ECO-500 TD-350, TD-500 Campana de 90 cm con 2 motores o motor tangencial	CK-40 y CK-40F CK-50 y ECO-500 CK-60F TD-500 Campana de 90 cm con 2 motores o motor tangencial	CK-50 y ECO-500 CK-60F TD-800 Campana de 90 cm con motor tangencial

Tabla 2.12

**TABLA ORIENTATIVA PARA LA ELECCIÓN DEL EXTRACTOR O CAMPANA DE COCINA MÁS ADECUADOS. COCINAS CON CAMPANAS TIPO ISLA.**

Longitud área de cocción (cota L)	Caudal aconsejado (m³/h)	Modelo de extractor S&P según longitud del conducto de salida		
		0 a 5 m	5 a 15 m	más de 15 m
Hasta 60 cm	300-450	CK-40 y CK-40F CK-50 y ECO-500 CK-50 TD-500 Campanas tipo Isla de 90 cm	CK-60F CKB-600 TD-500 Campanas tipo Isla de 90 cm	CKB-800 TD-800 Campanas tipo Isla de 90 cm
Hasta 90 cm	450-900	CK-50 y ECO-500 CK-60F TD-500 Campanas tipo Isla de 120 cm	CK-60F CKB-800 TD-800 Campanas tipo Isla de 120 cm	CKB-1200 TD-1000 Campanas tipo Isla de 120 cm

Tabla 2.13

descarguen el aire viciado al exterior mediante el conducto correspondiente, o bien para que recirculen el aire captado, y previa instalación de un filtro de carbono, en aquellas instalaciones que no dispongan de salida al exterior. Fig. 2.17.

### Campanas vacías

Son las que tienen, propiamente dicho, la forma de campana y que

pueden alojar en su interior una masa de aire contaminado. Permiten instalar un extractor de aire de libre elección del usuario. Así pueden elegir entre diversos modelos de alta o baja presión, de caudal mayor o menor y de forma de sujeción a voluntad. En los catálogos de S&P existen modelos que pueden escogerse según el grado de aspiración que se desee. Para instalar dentro de la campa-



na pueden usarse extractores de las Series CK o CKB; para instalar en el conducto de descarga, fuera de la campana y antes del final, aparatos de la Serie TD-MIXVENT y, por último, para colocar al extremo del conducto, en el tejado, las Series TH-MIXVENT o MAX-TEMP.

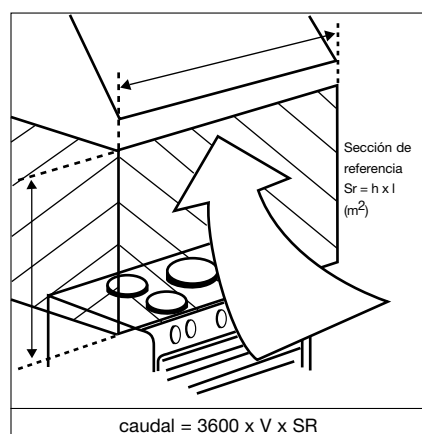
Para las campanas adosadas a las paredes utilizadas en las cocinas domésticas, el caudal necesario para la extracción correcta de los humos viene dado en la tabla 2.12 dependiendo del valor de la anchura de la campana L. Para el caso de campanas tipo «isla», es decir con acceso a los fogones por los cuatro costados, el caudal de extracción debe escogerse según la tabla 2.13.

El caudal necesario depende de la anchura de la campana y la distancia entre la campana y la fuente.

En esta sección así definida, llamada sección de referencia, la velocidad de captación debe ser:

– cocina doméstica: 0,15 a 0,20 m/s

Cuando la campana es de tipo “isla”, es decir, no adosada a ninguna pared, hay que doblar este caudal.



## 2.7.6. Ventilación de cocinas industriales

### Normativa

El CTE contempla en su documento **DB SI 1 Propagación interior** algunas de las condiciones que han de reunir este tipo de instalaciones.

Si bien no se define con claridad, se estima que una cocina se considera como industrial cuando su potencia calorífica instalada supera los 20 Kw, ya que a partir de esta potencia, conforme a la tabla **2.14 Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios**, se considera ya como de Riesgo bajo

Además;

Los sistemas de extracción de los humos de las cocinas deben cumplir las siguientes condiciones especiales:

- Las campanas deben estar separadas al menos 50 cm de cualquier material que no sea A1.

- Los conductos deben ser independientes de toda extracción o ventilación y exclusivos para cada cocina. Deben disponerse de registros para inspección y limpieza en los cambios de dirección con ángulos mayores de 30° y cada 3m

como máximo de tramo horizontal. Los conductos que discurren por el interior del edificio, así como los que discurren por fachadas a menos de 1,50 m de distancia de zonas de la misma que no sean al menos EI30 o de balcones, terrazas o huecos practicables tendrán una clasificación EI30.

- No deben existir compuertas cortafuegos en el interior de este tipo de conductos, por lo que su paso a través de elementos de compartimentación de sectores de incendio se debe resolver de la forma que se indica en el apartado 3 de esta sección.

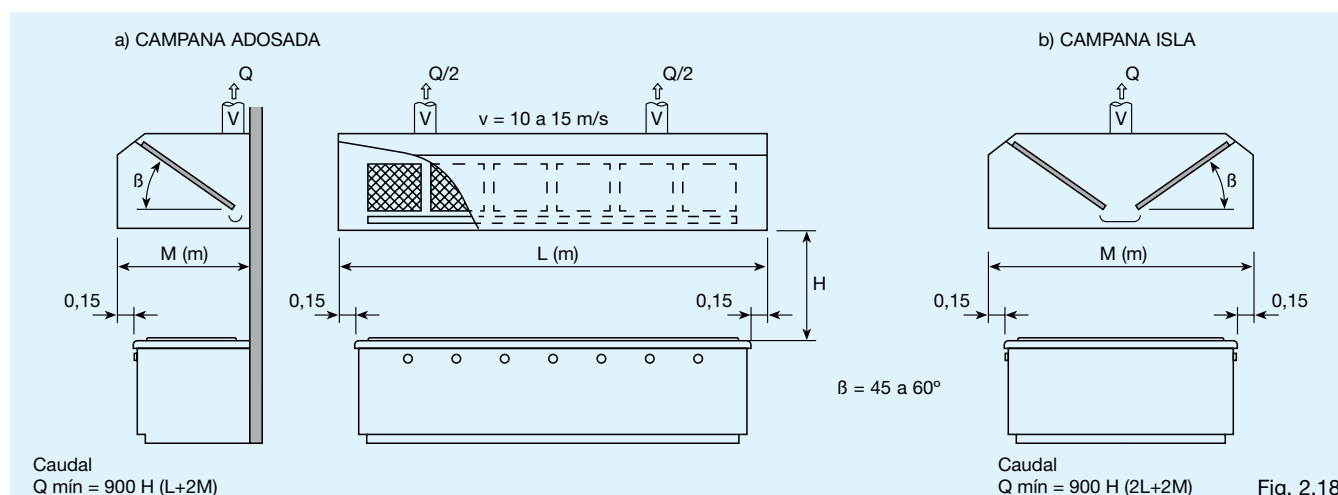
- Los filtros deben estar separados de los focos de calor más de 1,20 m si son de tipo parrilla o a gas, y más de 0,50 m si son de otros tipos. Deben ser fácilmente accesibles y desmontables para su limpieza, tener una inclinación mayor que 45° y poseer una bandeja de recogida de grasas que conduzca éstas hasta un recipiente cerrado cuya capacidad debe ser menor que 3 l.

- Los ventiladores cumplirán las especificaciones de la norma UNE-EN 12101-3 2002 “Especificaciones para aireadores extractores de humos y calor mecánicos” y tendrán una clasificación F400 90.

Por otro lado, en España existe la norma UNE 100-165-92, de aplicación a cocinas de tipo comercial, que establece una serie de puntos de los que entresacamos los siguientes:

Tabla 2.14 Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios

Uso previsto del edificio o establecimiento	Tamaño del local o zona		
	S = superficie construida V = volumen construido		
	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
Cocinas según potencia instalada $P^{(1)/(2)}$	20<P 30kW	30<P≤50kW	P>50kW



El borde de la campana estará a 2 m sobre el nivel del suelo (salvando justo la cabeza del cocinero) y sobresaldrá 0.15 m por sus lados accesibles de la planta de cocción.

Los filtros metálicos de retención de grasas y aceites tendrán una eficacia mínima del 90%. Estarán inclinados de 45° a 60° sobre la horizontal y la velocidad de paso del aire será de 0,8 a 1,2 m/s con pérdidas de carga de 10/40 Pa a filtro limpio/sucio.

La ventilación general de la cocina debe ser de 10 l/s·m².

La depresión de la cocina respecto a locales adyacentes no debe ser superior a 5 Pa.

La temperatura del aire exterior a introducir en las cocinas no debe ser inferior a 14°C en invierno y superior a 28°C en verano.

Otros aspectos de la norma contemplan materiales y el diseño de conductos de descarga y la necesaria facilidad de inspección y mantenimiento.

### Cálculo práctico del caudal

La norma UNE citada anteriormente da unas fórmulas para proceder al cálculo del caudal necesario para una correcta evacuación de los humos y vapores generados. Sin embargo, de forma genérica se vienen utilizando las fórmulas indicadas en la fig. 2.18.a para campanas adosadas a la pared con tres lados abiertos; y en la fig. 2.18.b para campanas tipo isla, de cuatro costados abiertos.

En todo caso el caudal no será inferior a una velocidad de paso de 0.25 m/s en la superficie tendida entre el borde de la campana y el plano de cocción en todo su perímetro abierto.

### Filtros

Los filtros, que actúan además como paneles de condensación de vapores, deberán ser preferiblemente metálicos, compuestos de varias capas de mallas con densidades crecientes para retener mejor las grasas en suspensión.

La superficie total debe calcularse:

$$S [m^2] = \frac{Q}{4.000}$$

(resultando velocidad de aire de aprox. 1 m/s) siendo conveniente repartirla entre dos o más paneles, fácilmente extraíbles y de dimensiones aptas para ser colocados en lavavajillas y someterlos a un lavado cómodo con agua caliente y detergentes.

El borde inferior de los filtros debe evacuar a un canalón recogedor de condensaciones y líquidos grasos, que pueda ser fácilmente vaciable o ser conducido a un depósito a propósito. La norma dice que este depósito no debe ser superior a 3 litros de capacidad.

### Campanas

Las cocinas industriales de restaurantes, hoteles, hospitales, fábricas, etc... mueven grandes masas de aire para poder controlar los contaminantes y por ello tiene mucha mayor importancia su diseño y cálculo.

Si las consideramos simples, o sea, que su caudal sea tomado del interior de la cocina y expulsado al exterior, prescindiendo del ahorro de energía de calefacción, uso frecuente en países de clima benigno con operaciones a ventanas abiertas, el cálculo, según las dimensiones indicadas en los dibujos, se contiene en cada tipo de la fig. 2.18. Se desaconsejan totalmente las campanas de recirculación, para aplicaciones industriales.

En zonas con épocas invernales frías, las campanas de cocina industriales deben diseñarse siempre con aportación de aire primario exterior para evitar perder gran cantidad de aire ya calentado. Por otra parte resultan también intolerables las corrientes de aire frío que inciden por la espalda a los cocineros ocupados en su labor debajo de las campanas.

Un esquema muy corriente de campana con aportación de aire primario exterior es el de la fig. 2.19.

El caudal de aire primario  $Q_p$  puede ser regulado por medio de compuertas accionables a mano, permitiendo en todo momento decidir la proporción idónea de la mezcla a extraer. Existen muchas variantes de campanas en el mercado que resuelven el problema de forma original, muchas veces protegida por patentes.

En grandes cocinas todo el techo del local está tratado como si fuera una campana de extracción continua.

Combinan las entradas de aire primario con los caudales de extracción, el control de las condensaciones y líquidos grasos y los puntos de iluminación. Son sistemas de extracción que permiten cocinar en cualquier punto del local y repartir los fogones, las freidoras, los hornos, etc... sin tener en cuenta su ubicación más que por la logística del trabajo y no por situar los cocinados debajo de las áreas de extracción, ya que todo el techo es aspiración.

El dibujo de la fig. 2.20 ilustra un sistema de este tipo.

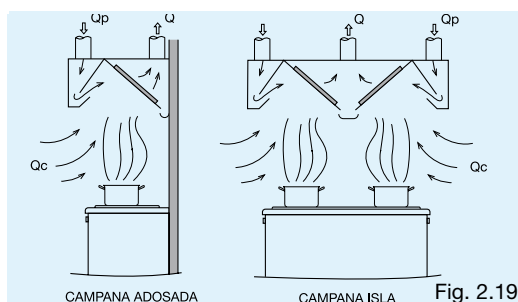


Fig. 2.19

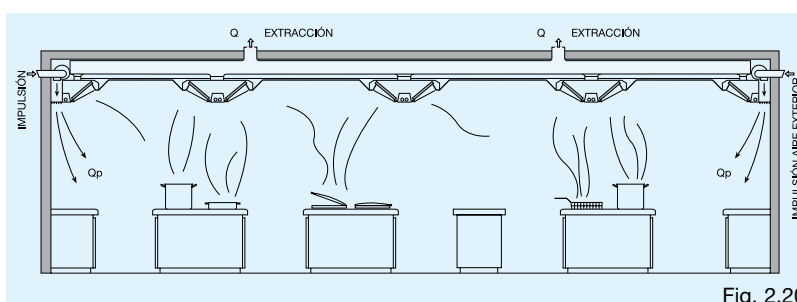


Fig. 2.20

# **CONDUCTOS CIRCULARES RECTILÍNEOS** **PÉRDIDA DE CARGA POR ROZAMIENTO DEL AIRE**

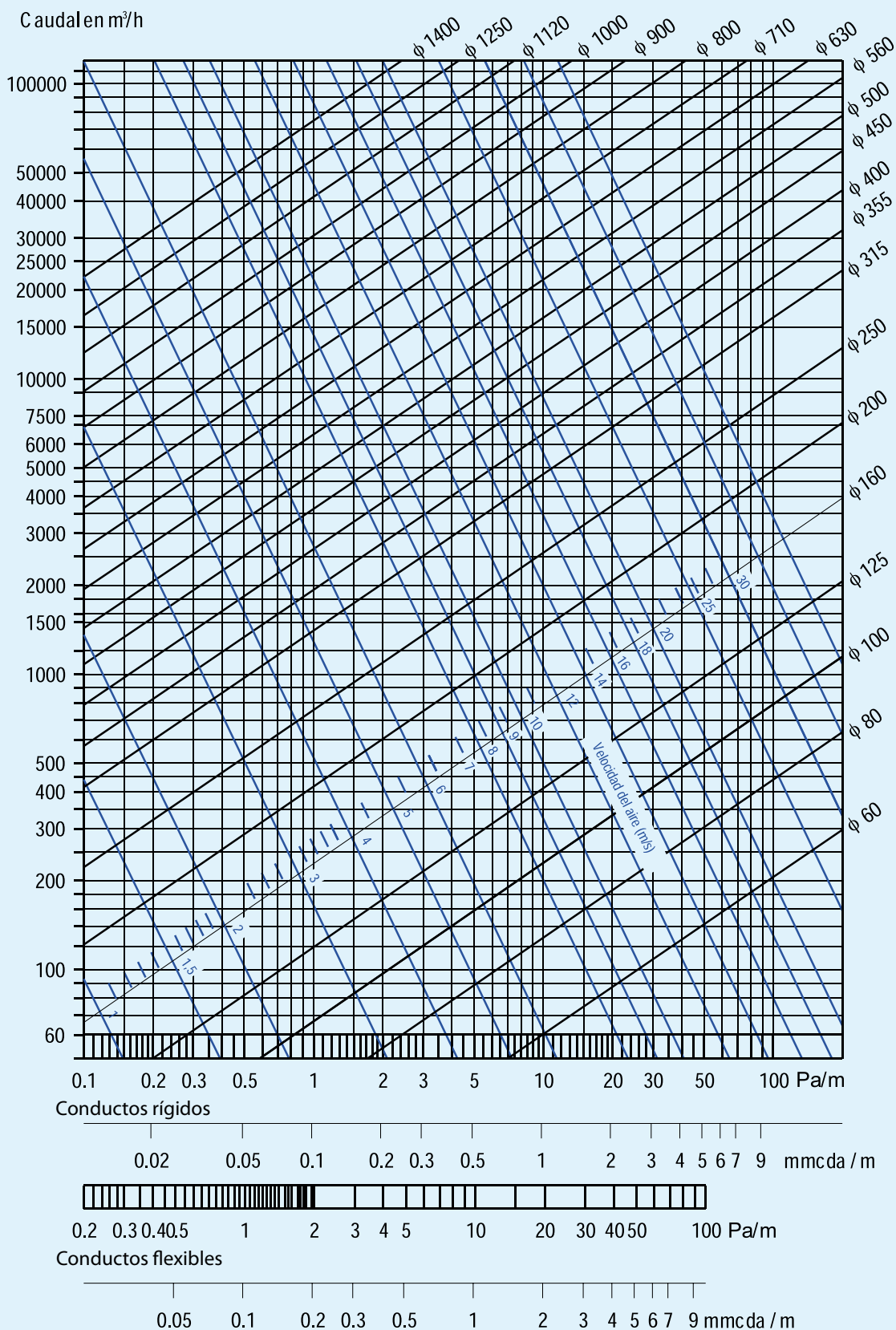


Fig. 3.1

### 3. CIRCULACIÓN DE AIRE POR CONDUCTOS

Para ventilar un espacio, un recinto o una máquina, ya sea impulsando aire o bien extrayéndolo, es muy corriente tener que conectar el ventilador/extractor por medio de un conducto, una tubería, de mayor o menor longitud y de una u otra forma o sección.

El fluir del aire por tal conducto absorve energía del ventilador que lo impulsa/extrae debido al roce con las paredes, los cambios de dirección o los obstáculos que se hallan a su paso. La rentabilidad de una instalación exige que se minimice esta parte de energía consumida.

Como el consumo de un ventilador es directamente proporcional a la presión total  $P_t$  a que trabaja, podemos constatar que, de no cuidar el diseño de una canalización, puede darse el caso de gastar mucha más energía de la necesaria.

#### 3.1 PÉRDIDA DE CARGA

A la presión del aire necesaria para vencer la fricción en un conducto, que es la que determina el gasto de energía del ventilador, se le llama pérdida de carga. Se calcula a base de la longitud de la conducción, el llamado diámetro hidráulico, la velocidad y densidad del aire y el coeficiente de frotamiento, de la rugosidad de las paredes, de las dimensiones y la disposición del mismo.

#### Tramos Rectos

La forma práctica de hacerlo es recurriendo a nomogramas confeccionados en base a todo el bagaje técnico necesario y son válidos para conducciones con la rugosidad corriente en materiales habitualmente usados.

El nomograma de la Fig. 3.1 muestra uno de ellos para secciones circulares y un coeficiente de fricción  $\lambda = 0.02$  (plancha de hierro galvanizada).

#### Conductos rectangulares

Si la sección del conducto no es circular, caso frecuente en instalaciones de ventilación en donde se presentan formas rectangulares o cuadradas, es necesario determinar antes la sección

circular equivalente, ésto es, aquélla que presenta la misma pérdida de carga que la rectangular considerada. El diámetro equivalente puede determinarse de forma práctica por medio de la gráfica de la Fig. 3.2.

#### DIÁMETRO EQUIVALENTE DE UN CONDUCTO RECTANGULAR CON IGUAL PÉRDIDA DE CARGA

Lado del conducto rectangular (cm)

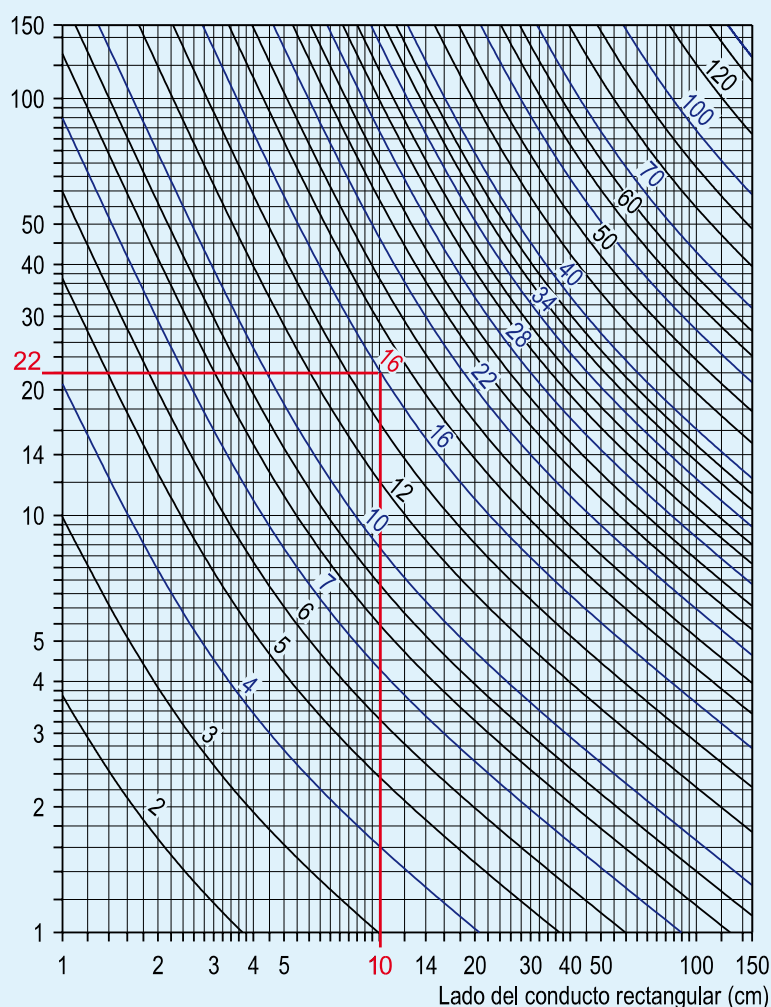


Fig. 3.2

## Accidentes en la conducción

Las canalizaciones de aire no siempre se componen de tramos rectilíneos sino que a menudo se presentan accidentes en su trayectoria que obligan al uso de codos, desviaciones, entradas, salidas, obstáculos, etc., los cuales provocan una pérdida de carga adicional. En consecuencia, será necesario calcular las pérdidas de cada uno de tales accidentes y sumarlos a las de los tramos rectos.

Existen diversos métodos para calcular la pérdida de carga debida a los accidentes de una canalización, siendo el más usado en los manuales especializados (con muchos datos experimentales que permiten, con unas sencillas operaciones, determinar su valor), el siguiente:

### 3.2 CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA

#### Método del coeficiente «n»

Se basa este método en calcular la pérdida de carga de un elemento de la conducción en función de la presión dinámica  $P_d$  del aire que circula y de unos coeficientes «n» de proporcionalidad, determinados experimentalmente, para cada uno según su forma y dimensiones. La fórmula usada es:

#### Pérdida de carga

$$\Delta P = n \times P_d \text{ (mm c.d.a.)}$$

De esta forma calcularemos uno a uno los accidentes de la conducción que, sumados a los de los tramos rectos, nos proporcionarán la pérdida de carga total del sistema de conducción.

La presión dinámica  $P_d$  que aparece en la fórmula puede hallarse fácilmente del siguiente modo. A partir del caudal de aire que circula  $Q$  ( $m^3/h$ ) y el diámetro del conducto  $d$  (m), en la gráfica de la figura 3.1 determinaremos la velocidad  $v$  (m/s) del aire. Con este dato, y por la gráfica de la fig. 3.3 encontraremos la presión dinámica  $p_d$  (mm c.d.a.) que necesitamos para aplicar la fórmula de la pérdida de carga.

En las figuras siguientes se proporcionan los coeficientes «n» de pérdida de carga de diversos accidentes en la circulación de aire por conductos, desde su captación hasta la descarga.

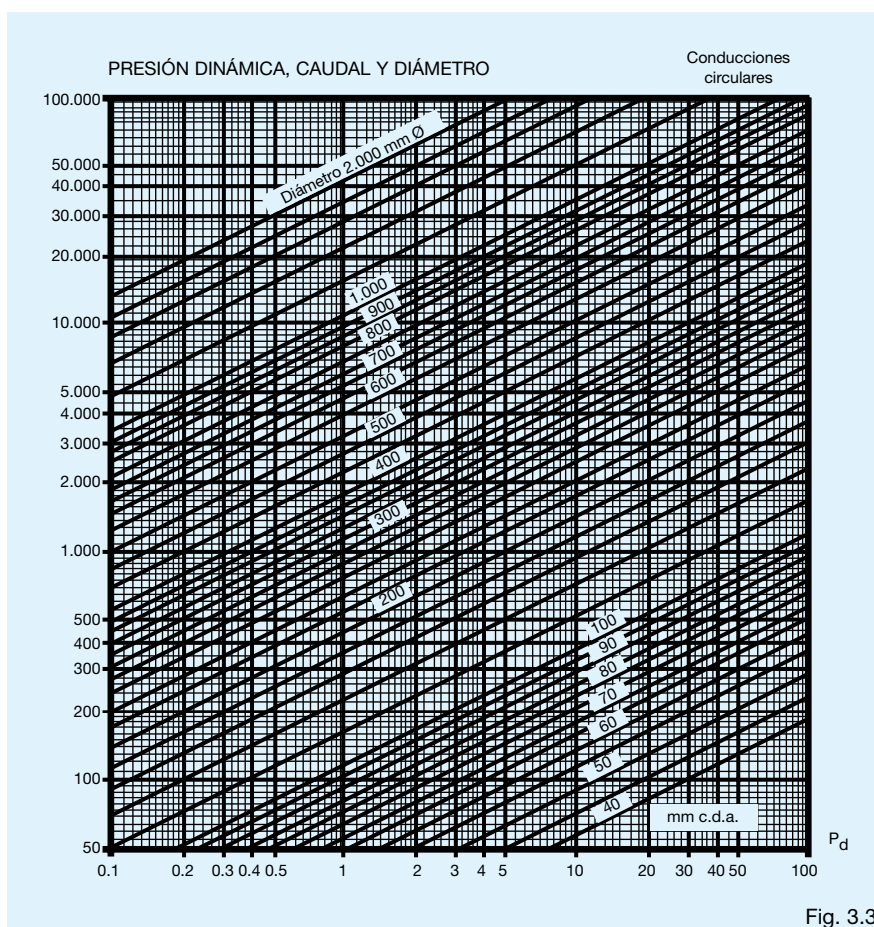
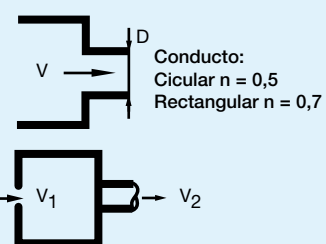
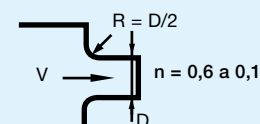
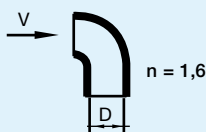


Fig. 3.3

#### ENTRADAS VARIAS

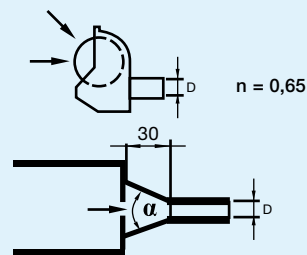
Figura

Conducto	Coeficiente n			
Circular	0,87	0,49	0,2	1,8
Rectangular	1,25	0,7		



$$n = 1,78 P_{d1} + 0,5 P_{d2}$$

$P_{d1}$  y  $P_{d2}$  corresponden a  $V_1$  y  $V_2$



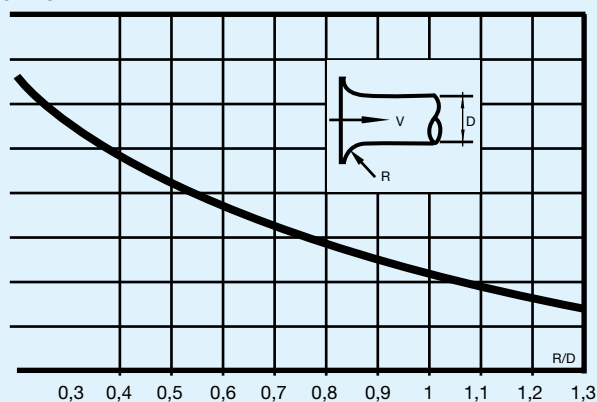
$\alpha$	Coeficiente n	
	Circular	Rectangular
15°	0,15	0,25
30°	0,08	0,16
45°	0,06	0,15
60°	0,08	0,17
90°	0,15	0,25
120°	0,26	0,35
150°	0,40	0,48

Fig. 3.4

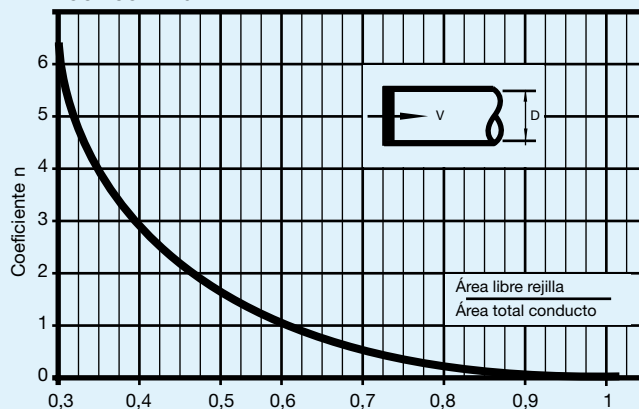


## ENTRADAS A CONDUCTOS

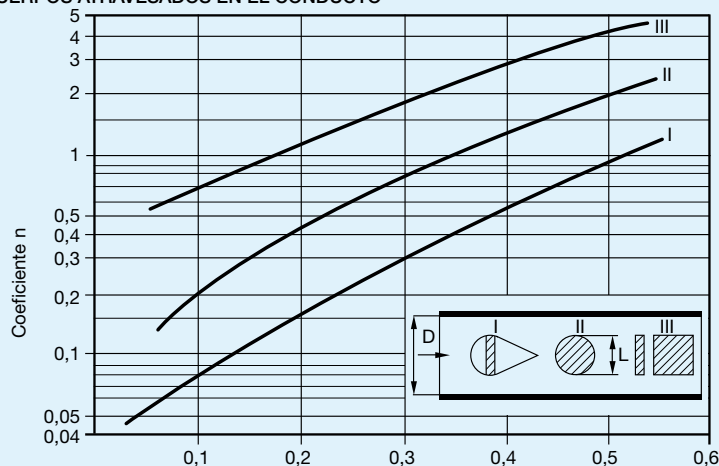
### BOCA ACAMPANADA



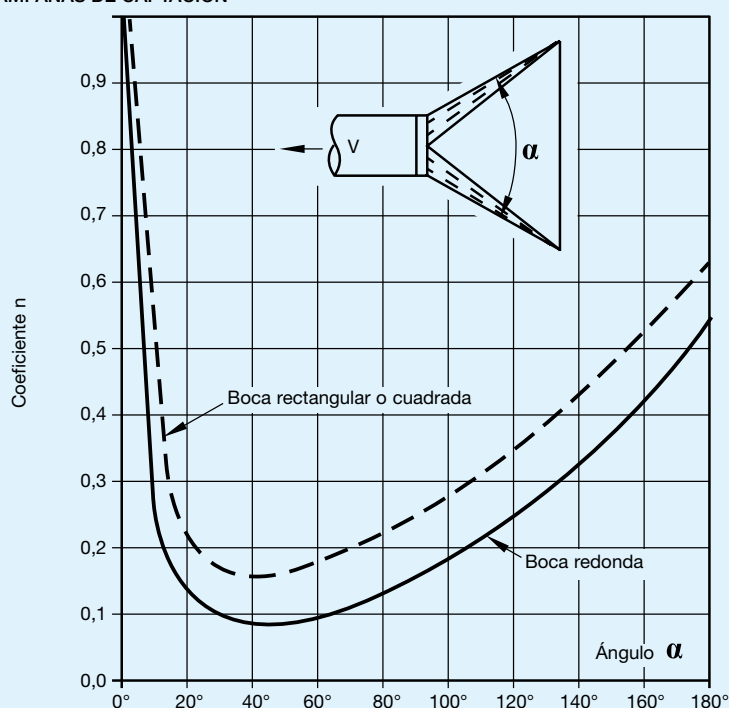
### BOCA CON REJILLA



### CUERPOS ATRAVESADOS EN EL CONDUCTO



### CAMPANAS DE CAPTACIÓN



Deben evitarse los obstáculos que atraviesen una conducción de aire y en especial en los codos y bifurcaciones del flujo. Nos referimos a cuerpos extraños a la canalización y no cuando se trate de ventilar los mismos, como es el caso de baterías intercambiadoras de calor en las que, por otra parte, se diseñan ya con las aletas orientadas de forma que obstruyan lo menos posible.

Si no hay forma de evitarlos deben cubrirse con protecciones de silueta aerodinámica para no provocar pérdidas elevadas de carga. Los obstáculos con frentes superiores a cinco centímetros deben carenarse con perfiles redondeados o, mejor, con siluetas de ala de avión, procurando que los soportes o apoyos sean paralelos a la vena de aire. Si la obstrucción es superior al 20% de la sección debe bifurcarse la canalización y hacerla confluir una vez superado el obstáculo.

Todas las velocidades consideradas en este capítulo para el cálculo del coeficiente  $n$  están referidas a velocidades en el conducto  $V_C$ , la del diámetro  $D$  indicado, aunque se trate de calcular pérdida de carga a la entrada.

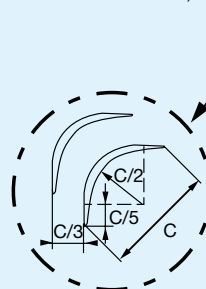
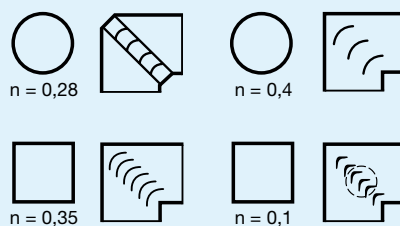
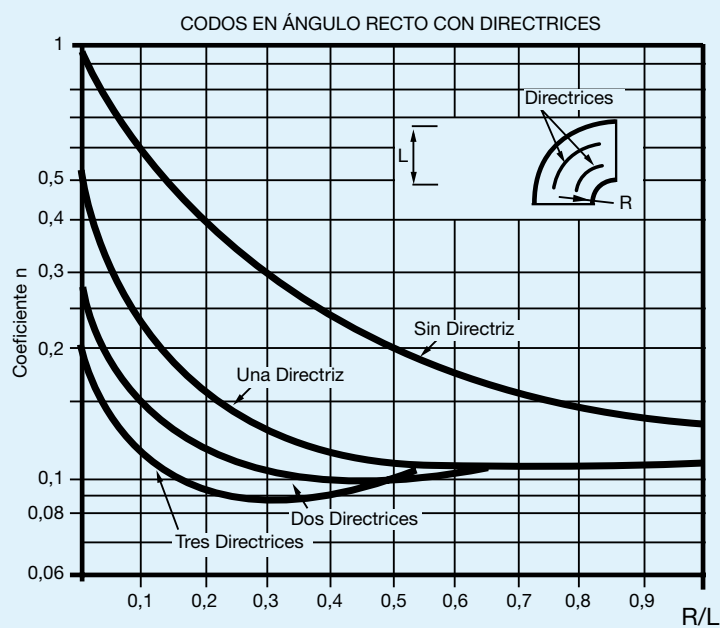
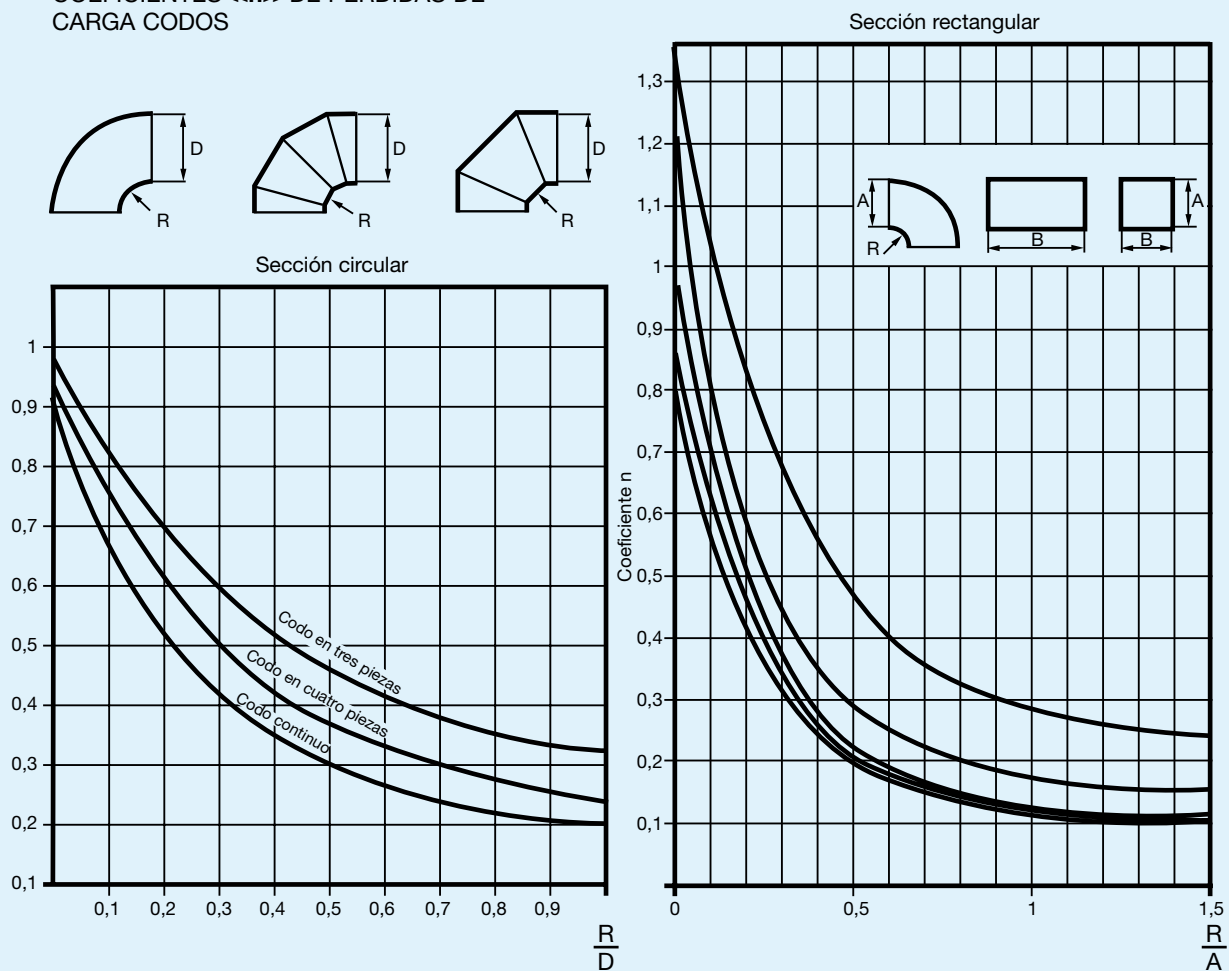
En las campanas de captación, sean verticales u horizontales, la sección de la boca debe ser como mínimo el doble de la del conducto.

En campanas rectangulares, «  $\alpha$  » se refiere al ángulo mayor.

Fig. 3.5

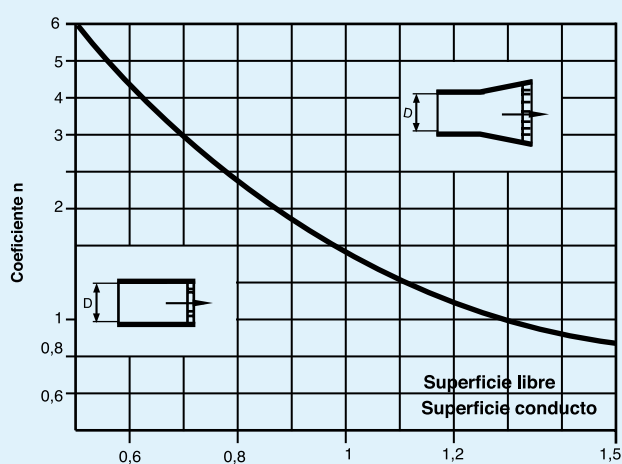
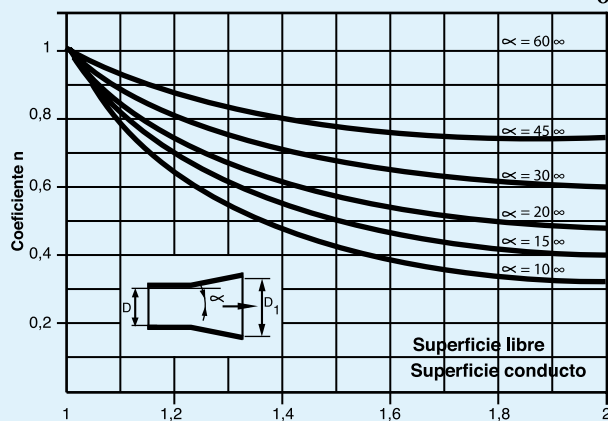
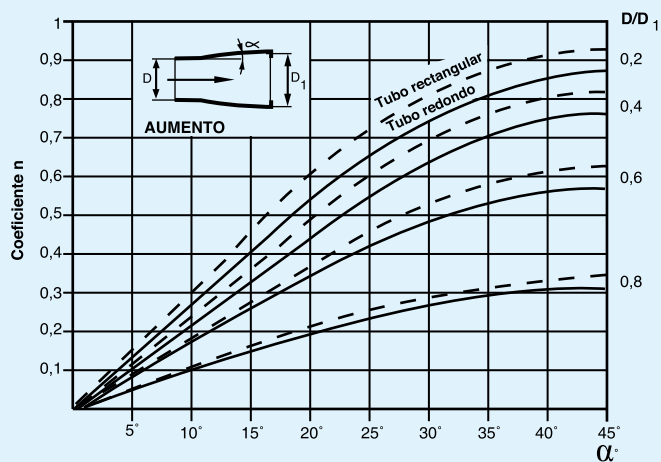
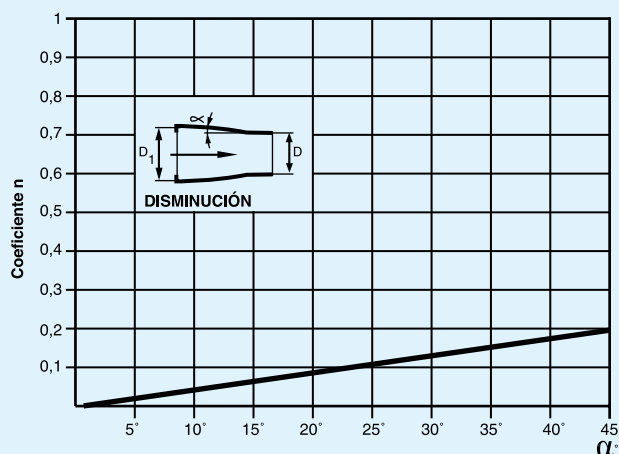


# COEFICIENTES $\ll n \gg$ DE PÉRDIDAS DE CARGA CODOS

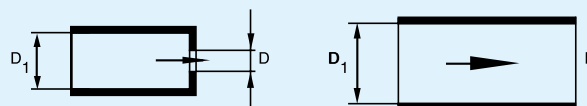


Detalle álabes de grosor aerodinámico

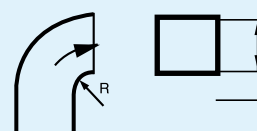
### CAMBIOS GRADUALES DE SECCIÓN



### SALIDAS DE CONDUCTOS



$D/D_1$	0,25	0,5	0,75	1
$n$	2,5	1,9	1,5	1



$R/L$	0	0,25	0,5	0,75	1
$n$	3	1,9	1,6	1,5	1,4

### SALIDA POR EL TEJADO

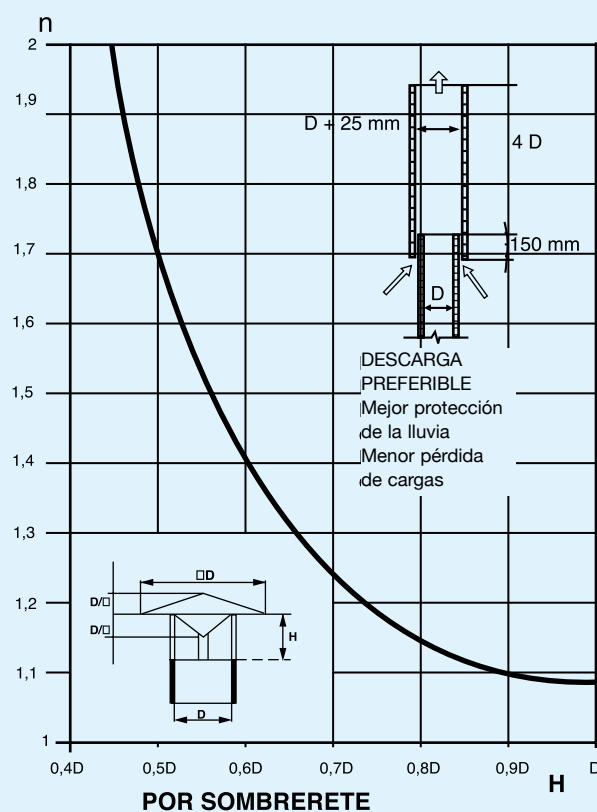


Fig. 3.7

### 3.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Imaginemos que debemos proceder a la evacuación de los vapores no tóxicos que se desprenden de un tanque por medio de una campana suspendida encima del mismo y que está cerrada por tres costados. La descarga debe efectuarse a nivel del tejado y el conducto debe recorrer un tramo horizontal y otro vertical, con codos en ángulo recto, hasta alcanzar el sombrerete de salida. La Fig. 3.8 ilustra el conjunto de la instalación:

La campana en cuestión deberá absorber un caudal de:

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = 3.600 \text{ LHV} = 3.600 \times 2 \times 0'85 \times 1 \text{ m/s} = 6.100$$

considerando que la velocidad de captación de los vapores es suficiente con 1 m/s.

La velocidad de aire en el conducto la decidiremos de  $V_c = 10 \text{ m/s}$  con lo que podemos determinar por medio de la gráfica de la Fig. 2.2 que la presión dinámica en el mismo será:

$$P_d = 6 \text{ mm c.d.a.}$$

El diámetro del conducto circular deberá ser, de acuerdo con los 6.100 m<sup>3</sup>/h y la velocidad de 10 m/s, leído en la gráfica de la Fig. 3.1,  $d = 0'45 \text{ m}$ , redondeando su valor a una medida comercial. A estos valores corresponde una pérdida de carga de 0'2 mm c.d.a., también sacada de la misma gráfica, para los tramos rectos del conducto.

Los coeficientes «n» de pérdida de carga son:

Campana: 0'25, según Fig. 3.5.

Codos:  $n = 0'2$ , si el radio interior es igual al diámetro. Fig. 3.6.

Sombrerete:  $n = 1'08$  para  $H = D$ , según Fig. 3.7.

La pérdida de carga para los tramos rectos es:

$$\Delta P_{t1} = \text{Long. conducto} \times \text{Perd. por m} = (1 + 10 + 20) 0'2 = 6'2 \text{ mm c.d.a.}$$

y la pérdida por la campana, codos y sombrerete:

$$P_{t2} = (0'25 + 0'2 + 1'08) 6 = 10'4 \text{ mm c.d.a.}$$

La pérdida de carga total de la instalación resulta ser:

$$\Delta P_t = P_{t1} + P_{t2} = 6'2 + 10'4 = 16'6 \text{ mm c.d.a.}$$

Así pues, el extractor de aire a escoger debe ser capaz de vehicular

6.100 m<sup>3</sup>/h a través de un sistema que presenta unas pérdidas de 16'6 mm c.d.a.

Un tipo axial, tubular, del mismo diámetro que el de la campana resultaría ser el más idóneo.

Al hablar de la curva característica señalaremos el llamado punto de trabajo que nos remitirá de nuevo a este ejemplo.

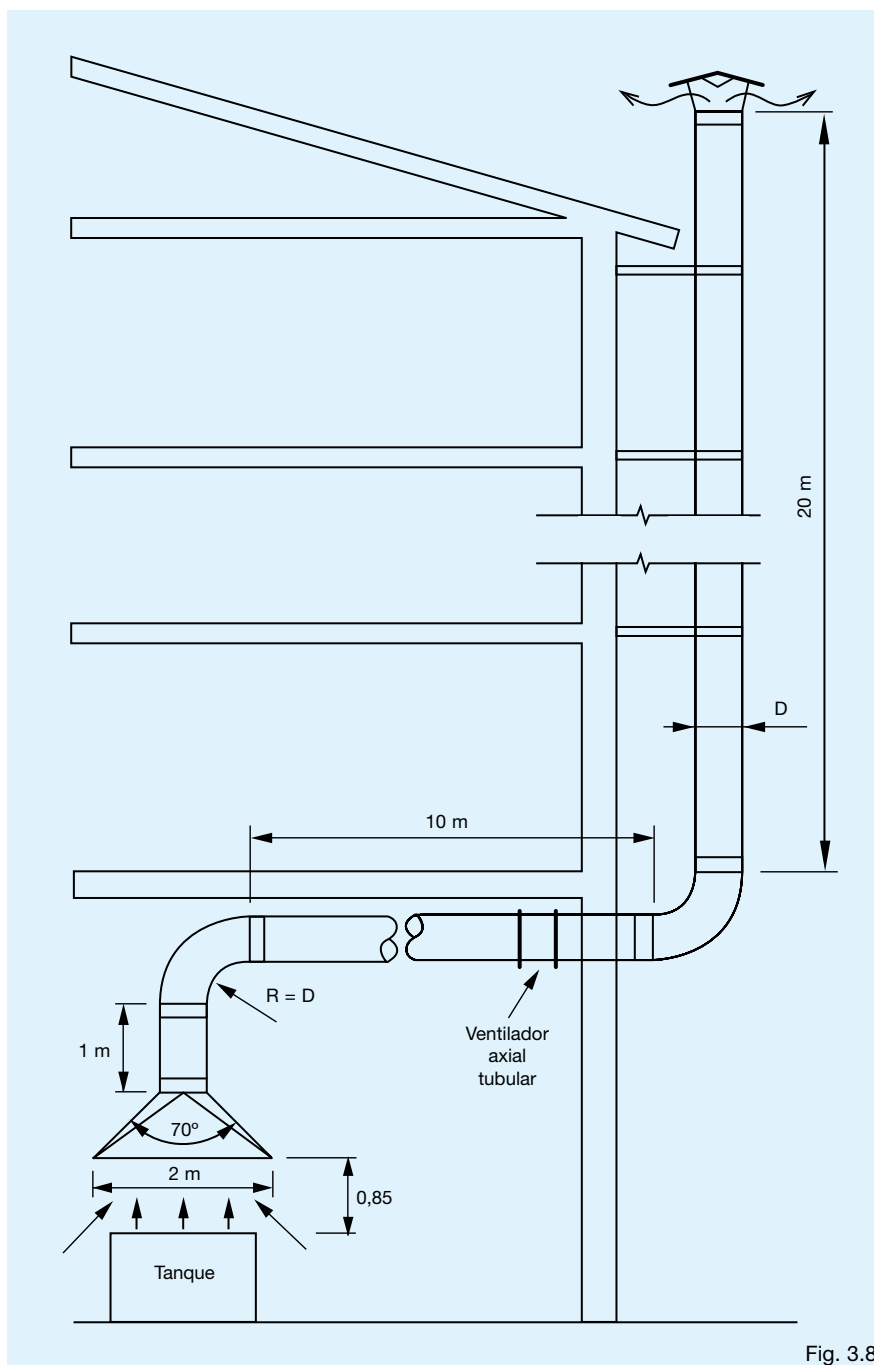


Fig. 3.8

## 4. VENTILADORES

### 4.1. GENERALIDADES

#### Qué son y para qué sirven

Los ventiladores son máquinas rotatorias capaces de mover una determinada masa de aire, a la que comunican una cierta presión, suficiente para que pueda vencer las pérdidas de carga que se producirán en la circulación por los conductos.

Se componen de:

- Elemento rotativo
- Soporte
- Motor

El elemento rotativo es la pieza del ventilador que gira en torno al eje del mismo. Puede ser una Hélice o un Rodete.

Lo llamaremos **Hélice** si la dirección de salida del aire impulsado es paralela al eje del ventilador (dirección axial). Generalmente la hélice puede mover gran cantidad de aire comunicando al mismo una discreta presión.

Lo llamaremos **Rodete** si la dirección de salida del aire impulsado es perpendicular al eje del ventilador. Generalmente los rodetes mueven un volumen de aire menor que las hélices, pero con una presión mucho mayor.

En los ventiladores de hélice, generalmente, el conjunto se compone también de una embocadura acampanada que mejora el rendimiento, Fig. 4.1.a. Los ventiladores de rodete se montan en una voluta en espiral, Fig. 4.1.b. Cuando se desea conseguir ventiladores con rendimiento por encima de los usuales, puede recurrirse a las directrices, que son unos álabes fijos, colocados a la entrada o salida del ventilador, cuya función principal es enderezar la vena de aire haciéndola aproximadamente axial. El motor es el componente que acciona la hélice o rodete.

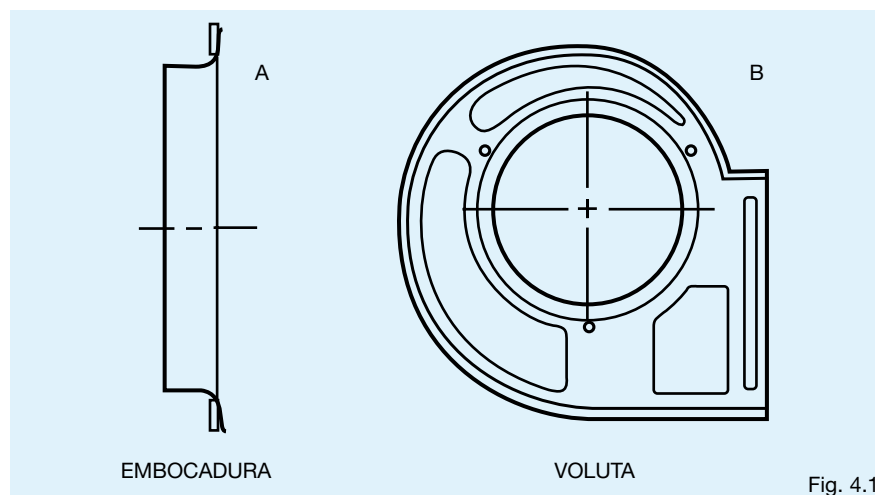


Fig. 4.1

### 4.2 DEFINICIONES

Un ventilador, en la aceptación más amplia del vocablo, es una turbomáquina que recibe energía mecánica para mantener un flujo continuo de aire, u otro gas, con una presión de hasta 3.000 mm c.d.a.

### 4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES

Los ventiladores, denominados así de una forma amplia para todas sus concepciones, pueden clasificarse de formas muy diferentes, siendo la más común la siguiente:

#### 4.3.1. SEGÚN SU FUNCIÓN

##### 1. VENTILADORES CON ENVOLVENTE

Suele ser tubular, por lo que también se les denomina Tubulares y tienen por objeto desplazar aire dentro de un conducto.

##### 1.1 IMPULSORES

Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada directamente a un espacio libre, estando la boca de descarga conectada a un conducto. Fig. 4.2.

##### 1.2 EXTRACTORES

Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada a un conducto y la boca de descarga está conectada a un espacio libre. Fig. 4.3.

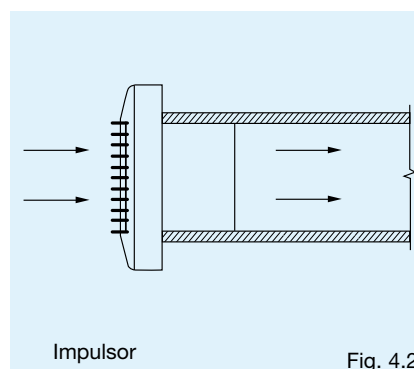


Fig. 4.2

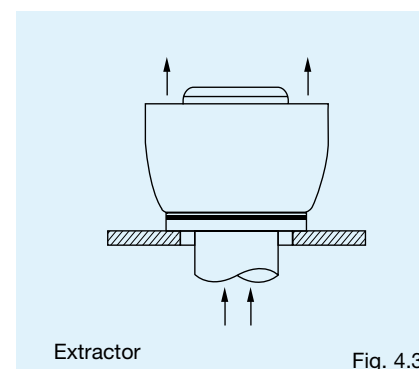
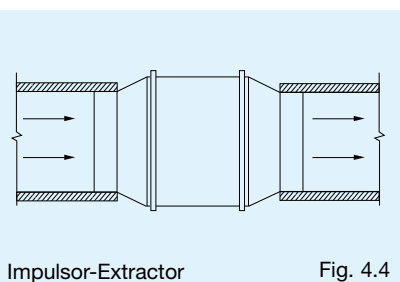


Fig. 4.3

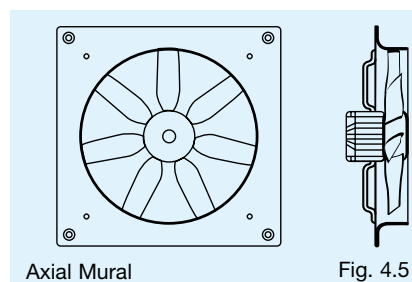
### 1.3 IMPULSORES-EXTRACTORES

Son los ventiladores en los que tanto la boca de aspiración como la de descarga están conectadas a un conducto. Fig. 4.4.



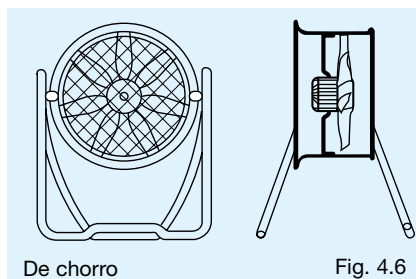
### 2. VENTILADORES MURALES

Conocidos también como, simplemente, Extractores, sirven para el traslado de aire entre dos espacios distintos, de una cara de pared a otra. Fig. 4.5.



### 3. VENTILADORES DE CHORRO

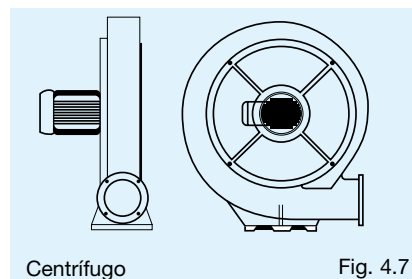
Son aparatos que se utilizan cuando se necesita una determinada velocidad de aire incidiendo sobre una persona o cosa. Fig. 4.6.



### 4.3.2. SEGÚN LA TRAYECTORIA DEL AIRE EN EL VENTILADOR

#### 1. VENTILADORES CENTRÍFUGOS

En los que el aire entra en el rodete con una trayectoria esencialmente axial y sale en dirección perpendicular. Fig. 4.7.

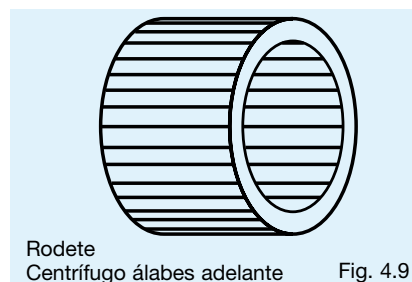
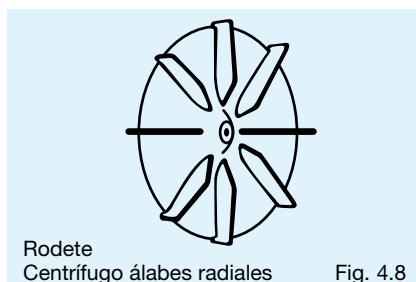


Los rodetes de los ventiladores centrífugos pueden ser de tres tipos:

Álabes radiales, Fig. 4.8

Álabes hacia adelante, Fig. 4.9

Álabes hacia atrás, Fig. 4.10



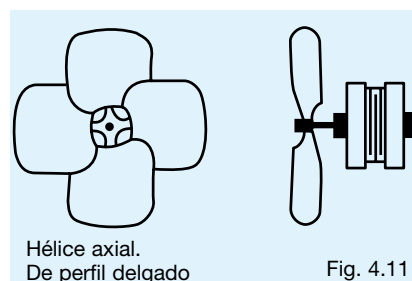
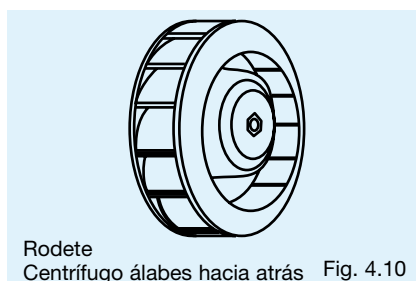
#### 2. VENTILADORES AXIALES

En los cuales el aire entra y sale de la hélice con trayectorias a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador.

Las hélices de los ventiladores axiales pueden ser de dos tipos:

Perfil delgado, Fig. 4.11

Perfil sustentador, Fig. 4.12  
(o de ala de avión, portante).

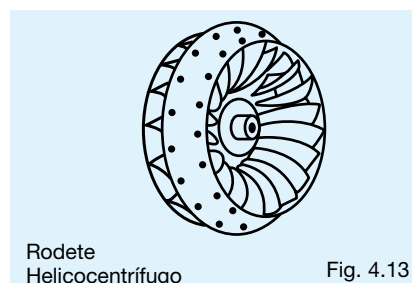
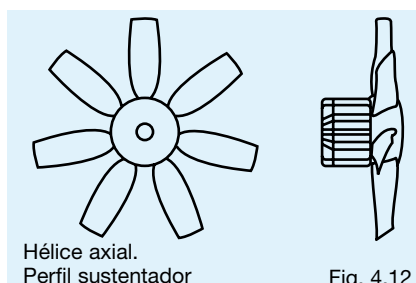


#### 3. VENTILADORES HELICOCENTRÍFUGOS

En los cuales la trayectoria del aire en el rodete es intermedia entre las del ventilador centrífugo y axial. Fig. 4.13.

#### 4. VENTILADORES TENGENCIALES

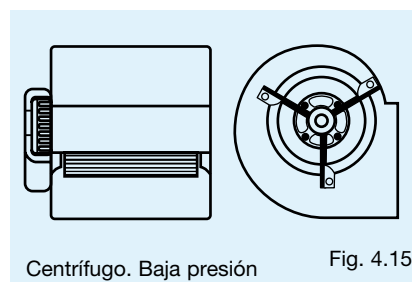
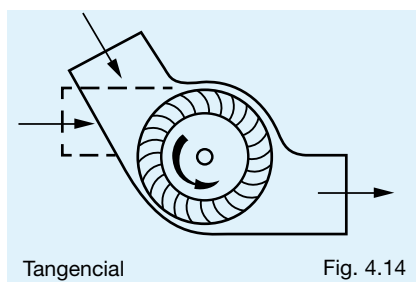
En los cuales la trayectoria del aire en el rodete es sensiblemente normal al eje, tanto a la entrada como a la salida del mismo, en la zona periférica. Fig. 4.14.



### 4.3.3 SEGÚN LA PRESIÓN DEL VENTILADOR

#### 1. BAJA PRESIÓN

Cuando la presión del ventilador es inferior a 72 mm c.d.a. Fig. 4.15.





## 2. MEDIANA PRESIÓN

Cuando la presión del ventilador está comprendida entre 72 y 360 mm c.d.a. Fig. 4.16.

## 3 ALTA PRESIÓN

Cuando la presión del ventilador es superior a 360 mm c.d.a. Fig. 4.17.

### 4.3.4 SEGÚN LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

#### 1. VENTILADORES CORRIENTES

Son los que efectúan el movimiento de aire no tóxico, no saturado, no inflamable, no corrosivo, no cargado de partículas abrasivas y que la temperatura no sobrepasa 80 °C (ó 40 °C, si el motor se encuentra en la corriente de aire).

#### 2. VENTILADORES ESPECIALES

Son los diseñados para vehicular gases calientes, húmedos, corrosivos, para el transporte neumático, antiexplosivo, etc.

### 4.3.5. SEGÚN EL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE LA HÉLICE

Atendiendo al sistema empleado para el accionamiento de la hélice, es decir, si está accionada directamente por el motor, mediante correas, con motor de rotor exterior, etc.

### 4.3.6 SEGÚN MÉTODO DE CONTROL DE LAS PRESTACIONES DEL VENTILADOR

Atendiendo al sistema empleado para variar las prestaciones del ventilador, que puede conseguirse variando la velocidad del motor, mediante compuertas, variando la inclinación de los álabes, tanto los de la hélice como los de la directriz de entrada, etc.

#### 1. CON REGULADOR DE VELOCIDAD

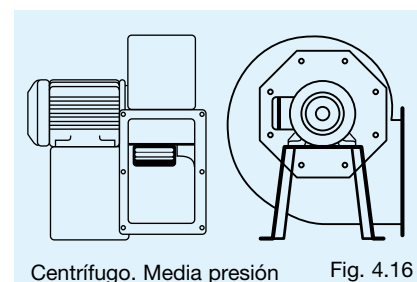
Los reguladores varían las condiciones de la corriente de alimentación y con élla la velocidad del motor y, a la postre, la característica del ventilador. Pueden ser de transformador, que varían la tensión de alimentación manteniendo su forma senoidal y variadores de frecuencia que aumentan o disminuyen ésta y por tanto la velocidad del motor.

#### 2. CON COMPUERTAS

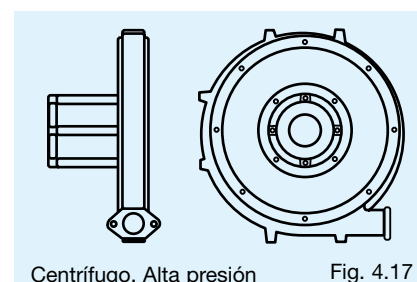
Las compuertas, siempre a la admisión del ventilador y mejor para centrífugos (los axiales las soportan mal) abren y cierran el paso al aire de entrada al aparato con lo que regula la característica del mismo.

#### 3. CON ÁLABES DE INCLINACIÓN VARIABLE

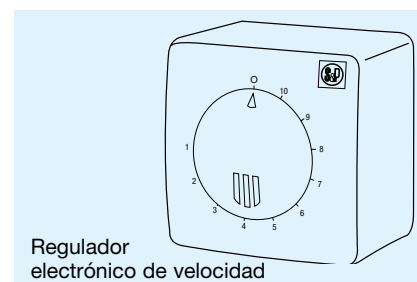
Se usa generalmente este método en ventiladores axiales, lográndose caudales muy ajustados a los objetivos fijados, pero exige una alta complejidad constructiva para la hélice de los mismos. Variando el ángulo de los álabes se logran regímenes distintos del ventilador pero hay que ir con cuidado con la capacidad del motor de accionamiento para no sobrepasarla y comprometer su seguridad. Los aparatos más sofisticados, y caros, de este tipo pueden variar la inclinación de sus álabes estando el aparato en funcionamiento, sin interrumpir su trabajo. Sólo es aplicable este método en grandes ventiladores.



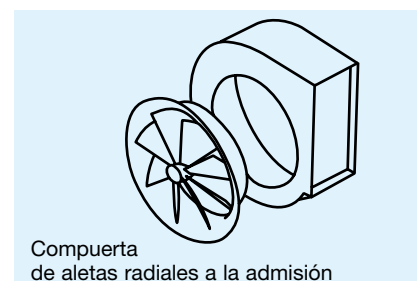
Centrífugo. Media presión Fig. 4.16



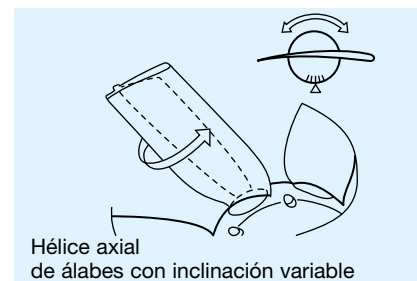
Centrífugo. Alta presión Fig. 4.17



Regulador electrónico de velocidad



Compuerta de aletas radiales a la admisión



Hélice axial de álabes con inclinación variable

#### 4.4 CURVA CARACTERÍSTICA

El ensayo de ventiladores tiene por objeto determinar la capacidad del aparato para transferir la potencia al aire que mueve.

El ventilador se hace funcionar a un régimen de giro constante, tomando valores de diferentes caudales movidos, según sea la pérdida de carga que debe vencerse.

La curva característica de un ventilador se obtiene dibujando en unos ejes de coordenadas los distintos valores caudal-presión, obtenidos mediante ensayo en un laboratorio.

Para entender mejor el concepto de curva característica pondremos el siguiente ejemplo

Supongamos un ventilador tubular trabajando según indica la posición a) de la fig. 4.18. Al medir el caudal de aire que proporciona, encontramos  $Q_1 = 10.000 \text{ m}^3/\text{hora}$ .

Si repetimos el ensayo empalmando un conducto de 10 m por el lado de admisión (posición b) y medimos de nuevo el caudal, nos encontramos con que ha bajado a  $Q_2 = 8.000 \text{ m}^3/\text{hora}$ .

En otro ensayo, acoplamos un tubo de 50 m de longitud (posición c), y comprobamos que el caudal ha descendido a  $Q_3 = 5.000 \text{ m}^3/\text{hora}$ .

Las experiencias anteriores nos demuestran que no es suficiente conocer el caudal que es capaz de suministrar un ventilador a descarga libre (posición a), esto es, sin obstrucciones, para poder catalogarlo. Es necesario conocer qué caudales irá proporcionando según sean las distintas pérdidas de carga que deba vencer.

En la fig. 4.19 tenemos representada una curva característica de un ventilador.

Observemos en primer lugar en la figura curvas diferentes. Cada una de ellas representa un valor distinto y su lectura se hace en las diferentes escalas que están a la izquierda de la figura.

#### PÉRDIDA DE CAUDAL CON LA LONGITUD

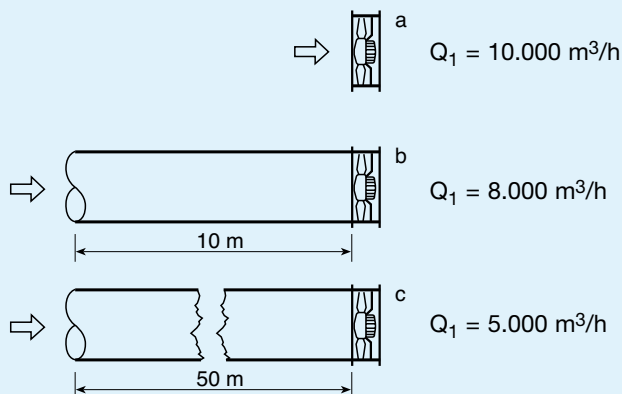


Fig. 4.18

#### CURVA CARACTERÍSTICA DE UN VENTILADOR

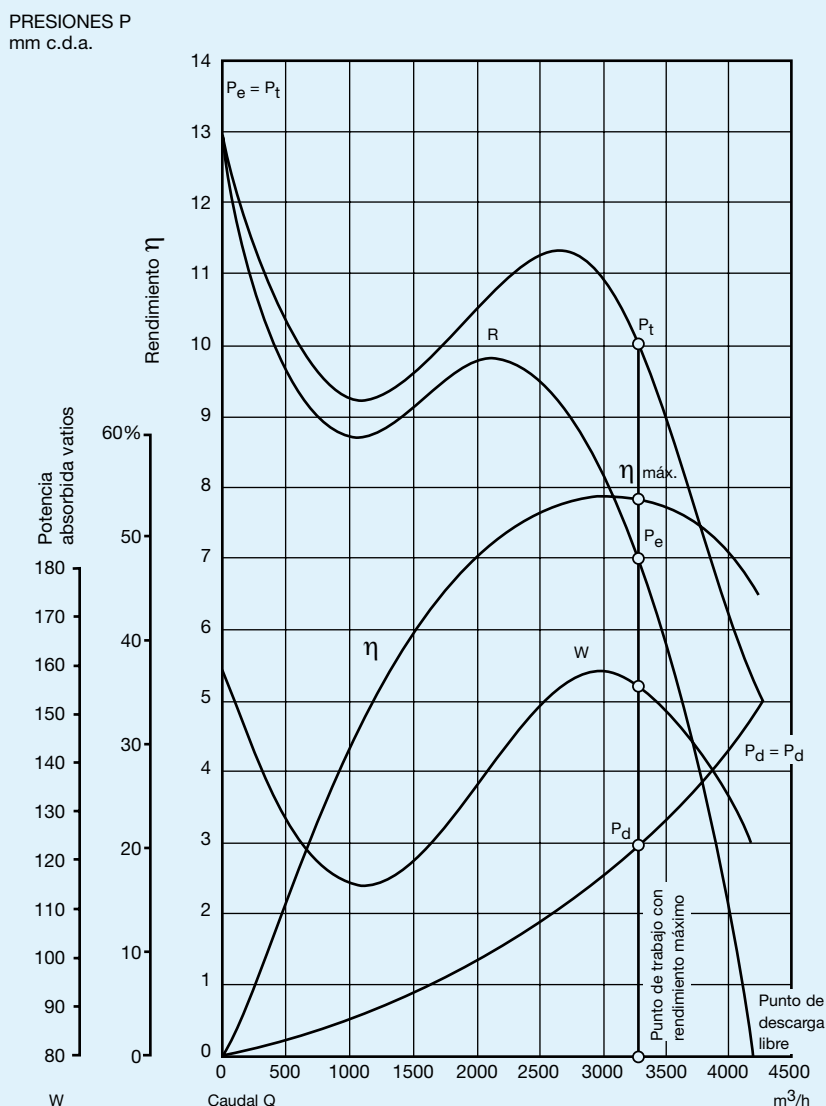


Fig. 4.19

Tres están relacionadas con la presión que da el ventilador para distintos caudales (son las denominadas  $P_t$ ,  $P_e$ ,  $P_d$ ).

$P_e$ : es la Presión Estática

$P_d$ : es la Presión Dinámica (debido a la velocidad)

$P_t$ : es la Presión Total

Cumplíndose en todo momento

$$P_t = P_e + P_d$$

Obsérvese que a descarga libre, es decir cuando la Presión Estática ( $P_e$ ) es nula, el ventilador da el máximo caudal que puede mover; en este punto la Presión Total es igual a la Dinámica ( $P_t = P_d$ ).

Asimismo, cuando el ventilador está obturado, es decir que da el mínimo caudal, la Presión Dinámica ( $P_d$ ) es nula; en este punto, la Presión Total es

igual a la Estática ( $P_t = P_e$ ).

Otra curva que podemos ver en el gráfico es: la curva de potencia absorbida ( $W$ ), que leeremos en la escala vertical situada más a la izquierda (en vatios). Esta curva nos da la potencia que consume el motor que acciona el ventilador, y podemos ver que presenta un máximo (en la figura corresponde al punto de caudal 3.000 m<sup>3</sup>/h).

También tenemos representada la curva de rendimiento ( $\eta$ ), que se lee en % en la escala vertical intermedia, se puede ver que el rendimiento del ventilador depende del caudal que está moviendo.

El conjunto de estas curvas recibe el nombre de **característica de un ventilador**.

La característica de un ventilador es la mejor referencia del mismo, ya que siempre nos indicará su comportamiento según sea el caudal y la presión que esté dando.

En los catálogos comerciales, suele darse solamente una curva, que es la de mayor importancia la de Presión Estática ( $P_e$ ). Los servicios técnicos suministran más información si se les solicita.

El punto ideal de funcionamiento del ventilador, aquél para el que ha sido diseñado, es el correspondiente al máximo rendimiento. Cuanto más cerca de este punto trabaje el ventilador, más económico será su funcionamiento.

El punto R de la fig. 4.18 se conoce como punto de desprendimientos, y la zona a la izquierda de éste es de funcionamiento inestable. Debe, por tanto, escogerse el ventilador de manera que el punto de trabajo esté a la derecha de R; de esta manera se evita la inestabilidad de funcionamiento.

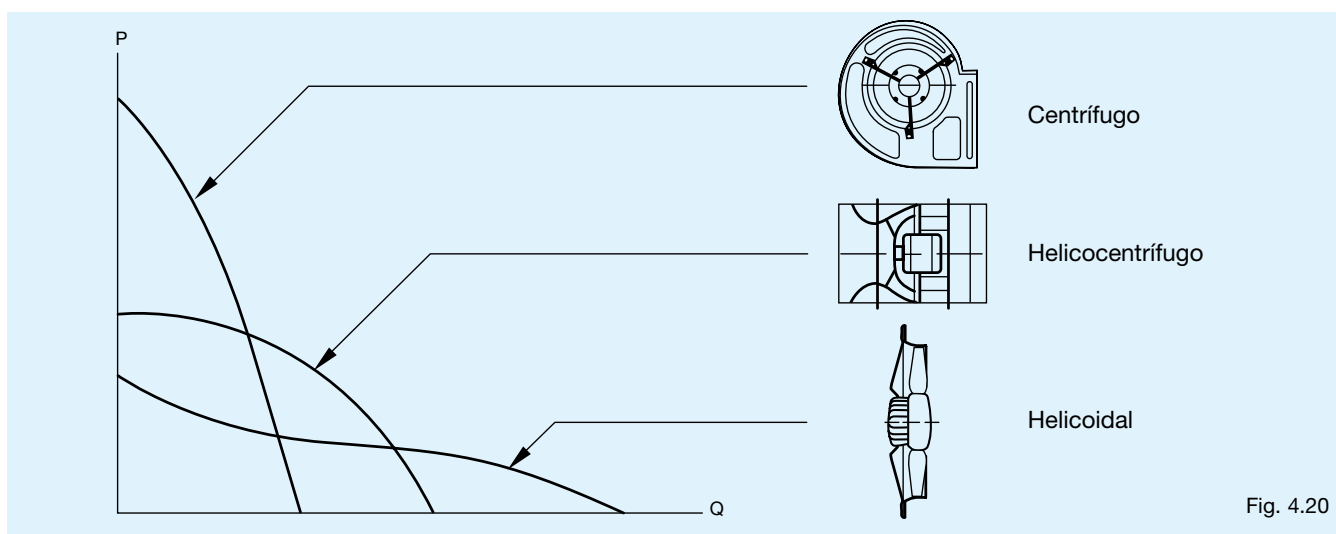


Fig. 4.20

Observemos la fig. 4.20 en que se han representado las curvas características de los tipos fundamentales de ventilación, para poder comprender mejor su comportamiento.

Los tres ventiladores que se comparan tienen el mismo diámetro de rodete.

Podemos ver que, a igualdad de caudal impulsado ( $Q$ ), los ventiladores centrífugos dan más presión que los helicocentrífugos, y éstos a su vez más que los helicoidales.

También se observa que, los centrífugos mueven caudales menores que

los helicocentrífugos, y éstos menos que los helicoidales.

Por tanto, puede aceptarse que los ventiladores más adecuados cuando los caudales sean grandes y las presiones que deban vencer sean pequeñas son los helicoidales. Este tipo de ventilador tiene además la ventaja de la facilidad de instalación.

Los ventiladores indicados para mover caudales pequeños pero a elevada presión son los centrífugos; finalmente, un caso intermedio es el de los ventiladores helicocentrífugos.

## 4.5 PUNTO DE TRABAJO

La curva característica del ventilador depende únicamente del ventilador, y solamente puede variar si el ventilador funciona a una velocidad de rotación distinta.

Puede aceptarse en principio que la curva característica es totalmente independiente del sistema de conductos al que se acople.

Sin embargo, hay que considerar que un ventilador puede funcionar moviendo distintos caudales y comunicándoles distintas presiones, de tal forma que todos los puntos posibles de funcionamiento se hallen representados sobre la curva ( $P_e$ ), Fig. 4.19.

Para saber exactamente en qué condiciones funcionará el ventilador, debemos conocer la curva resistente de la instalación, es decir, la curva que relaciona la pérdida de carga de la instalación con el caudal que pasa por ella.

Podemos encontrar de forma fácil el punto de trabajo de un ventilador simplemente superponiendo las curvas características del ventilador y resistente del conducto según se indica en la fig. 4.21.

Se puede comprobar que la pérdida de carga de una conducción varía proporcionalmente con el cuadrado del caudal según la fórmula

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \left[ \frac{Q_2}{Q_1} \right]^2$$

por lo que, para encontrar la característica resistente y una vez hallada la pérdida de carga inicial ( $\Delta P_1$ ) a un determinado caudal ( $Q_1$ ), bastará con suponer un segundo caudal ( $Q_2$ ), para hallar un segundo punto de la característica resistente ( $\Delta P_2$ ). Si fuese necesario se podrían suponer más caudales con los que se hallarían, siempre para la misma instalación, nuevos puntos de pérdida de carga. Uniendo todos los puntos encontrados se representará la característica resistente de la instalación estudiada. La intersección entre la curva del ventilador y la característica resistente de la instalación nos dará el punto de trabajo.

### EJEMPLO

Supongamos que en una conducción circula un caudal de aire de 6.000 m<sup>3</sup>/h, originando una pérdida de carga de 3,5 mm c.d.a.

La pérdida de carga que provocará un caudal de 8.000 m<sup>3</sup>/h la encontraremos mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P_2 = 3,5 \cdot \left[ \frac{8000}{6000} \right]^2$$

$$P = 1,342 \times 3,5 = 6,2 \text{ mm c.d.a.}$$

Si el caudal lo suponemos de 4.000 m<sup>3</sup>/h la pérdida de carga será:

$$\Delta P_2 = 3,5 \cdot \left[ \frac{4000}{6000} \right]^2$$

$$P = 0,6692 \times 3,5 = 1,55 \text{ mm c.d.a.}$$

Llevando todo este conjunto de valores sobre unos ejes de coordenadas obtendremos la característica del sistema tal como se muestra en la fig. 4.21.

De todo lo dicho hasta ahora pueden sacarse dos conclusiones importantes:

1° Para cualquier proyectista, instalador o diseñador es indispensable que en el catálogo de ventiladores que esté consultando estén reflejadas las curvas características correspondientes a los ventiladores.

2° Estas curvas características deben estar garantizadas por el fabricante y dar referencia expresa de la normalización que se ha utilizado para lograrlas.

Para determinar la curva característica de los ventiladores es necesario disponer de un laboratorio conveniente debidamente equipado, contar con unos técnicos analistas muy preparados y dedicar la atención y tiempo preciso para determinarlas, cuestión ésta delicada y muy laboriosa.

Es preciso también verificar los ensayos según una normalización determinada y tenerla en cuenta para comparar dos aparatos entre sí ya que es de esperar una discrepancia de resultados, a veces notable, si no se ha utilizado la misma normalización para efectuarlos e incluso la misma disposición de ensayo dentro de la misma norma.

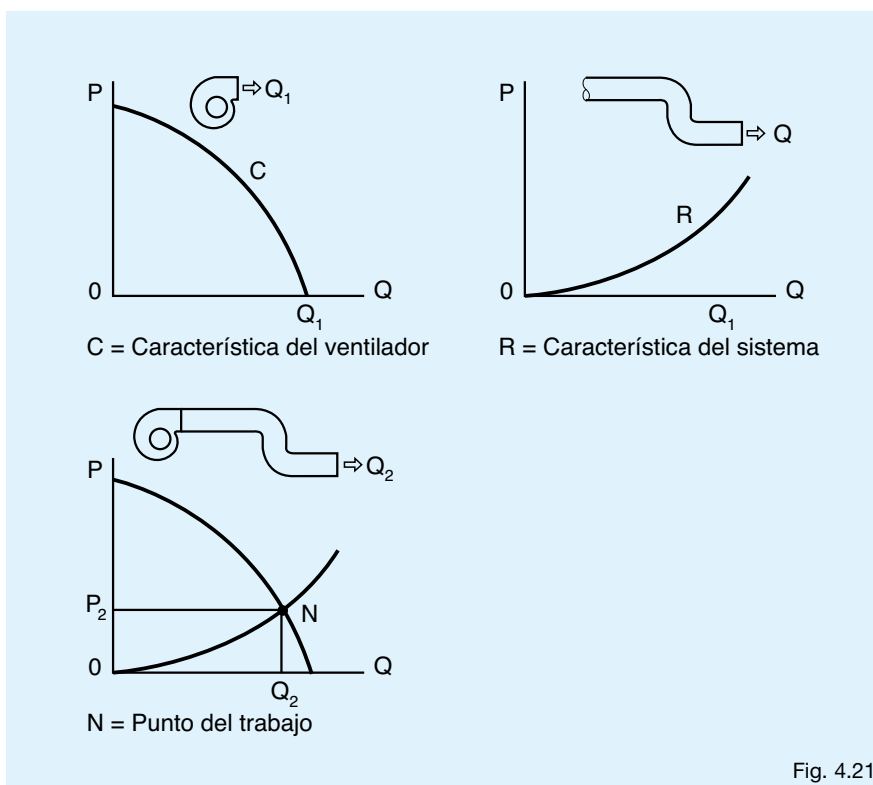


Fig. 4.21

## 4.6 LEYES DE LOS VENTILADORES

Las curvas características de los ventiladores siguen ciertas leyes, llamadas «**leyes de los ventiladores**», que permiten determinar cómo varían caudal, presión y potencia absorbida por el ventilador al variar las condiciones de funcionamiento. Nosotros aplicamos estas leyes en el caso de la variación de velocidad de giro del ventilador:

El caudal es proporcional a la relación de velocidades:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]$$

La presión es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades:

$$P_2 = P_1 \cdot \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]^2$$

La potencia absorbida es proporcional al cubo de la relación de velocidades:

$$N_2 = N_1 \cdot \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]^3$$

La tabla 4.1 reúne las leyes agrupadas en función de tres variaciones.

Mediante las relaciones anteriores podemos conocer los valores que toman las diferentes variables para diferentes regímenes de giro del ventilador. Variando la velocidad de éste podemos conseguir que el caudal y la presión se ajusten a las necesidades de cada momento.

Debemos tener muy en cuenta de las curvas características de los ventiladores están siempre realizadas a las máximas revoluciones posibles. La regulación sólo se puede realizar disminuyendo la velocidad de giro del ventilador.

Como ejemplo, hacemos el siguiente supuesto:

Tenemos instalado en una cabina un aparato que mueve 1.800 m<sup>3</sup>/hora a una presión de 12 mm c.d.a. girando a 2.700 r.p.m. Queremos determinar el caudal y la presión que moverá este aparato girando a 2.000 r.p.m. obtenidas mediante un regulador.

Aplicaremos la ecuación

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

Tenemos que  $n_1 = 2700$  r.p.m.;

$Q_1 = 1800$  m<sup>3</sup>/hora y  $n_2 = 2000$  r.p.m.

Por tanto,  $Q_2 = 1800 \cdot \frac{2000}{2700} = 1330$  m<sup>3</sup>/hora

Para hallar la nueva presión  $P_2$

$$P_2 = P_1 \cdot \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]^2$$

$$P_2 = 12 \cdot \left[ \frac{2000}{2700} \right]^2 = 6,58 \text{ mm c.d.a.}$$

Leyes de los ventiladores			
Si varía...	y permanecen constantes	Se cumple	
<b>Diámetro hélice, d</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad</li> <li>• Densidad</li> <li>• Punto de funcionamiento</li> </ul>	<b>El caudal</b>	es proporcional al cubo de la relación de diámetros
		<b>La presión</b>	es proporcional al cuadrado de la relación de diámetros
		<b>La potencia absorbida</b>	es proporcional a la quinta potencia de la relación de diámetros.
<b>Velocidad de rotación, n</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro de la hélice</li> <li>• Densidad</li> </ul>	<b>El caudal</b>	es proporcional a la relación de velocidades.
		<b>La presión</b>	es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades.
		<b>La potencia absorbida</b>	es proporcional al cubo de la relación de velocidades.
<b>Densidad del aire, ρ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudal</li> <li>• Velocidad</li> </ul>	<b>La presión</b>	es proporcional a la relación de densidades.
		<b>La potencia absorbida</b>	es proporcional a la relación de densidades.





## 5. RUIDO

### 5.1 NIVEL SONORO

Con toda seguridad, una cuestión que preocupa a cualquier técnico ante el proyecto de una instalación en la que intervienen ventiladores, es la del ruido que hace un ventilador.

Dado que el ruido existe siempre a nuestro alrededor, quizás lo más importante sea determinar, no el ruido de un aparato en sí, sino el aumento de molestia que se produce sobre el ruido ya existente al poner en marcha un ventilador.

Definamos previamente algunas de las características de los sonidos. El ruido no es más que un sonido desagradable.

Un sonido determinado viene caracterizado por tres cualidades: intensidad, tono y timbre.

La intensidad se refiere a la potencia sonora; hablamos así de un sonido más o menos intenso.

El tono es la cualidad que nos permite distinguir entre sonidos agudos y graves.

El timbre se refiere a la composición del sonido; es la cualidad que nos permite distinguir la voz de las personas.

La molestia producida por un ruido depende de estas tres cualidades y de la naturaleza de las personas. La sensibilidad auditiva depende, fundamentalmente, de la frecuencia del sonido que se percibe y es diferente para cada persona.

En el capítulo dedicado a la circulación de aire por conductos veíamos que la velocidad con que éste circulaba estaba relacionada con el ruido de la instalación.

La velocidad máxima de circulación condiciona el valor del diámetro de la canalización, que deberá ser lo suficientemente grande para no exceder la máxima velocidad permitida.

Además del ruido a la circulación del aire por conductos, debemos tener en cuenta el producido por el funcionamiento del ventilador.

Ruido	NPS dB	Ejemplos	Ruido	NPS dB	Ejemplos
ENSORDECEDOR	120	Trueno	MODERADO	60	Gran tienda
	110	Disparo de un cañón Estallido de un neumático Silbido de vapor Gran nave industrial		50	Oficina tipo medio Automóvil silencioso Oficina tranquila Vivienda de tipo medio
MUY FUERTE	100	Tren en un túnel	SUAVE	40	Biblioteca pública
	90	Calle con tráfico denso Factoría muy ruidosa Cabinas de un avión Altavoces al aire		30	Carretera rural Conversación tranquila Crujir de papel Silbido humano
FUERTE	80	Oficina ruidosa	MUY SUAVE	20	Iglesia tranquila
	70	Ferrocarril suburbano		10	Noche silenciosa en el campo Habitación a prueba de ruidos
	60	Máquina de escribir Aparato radio a pleno volumen Taller de tipo medio		0	Límite sensitivo del oído

Tabla 5.1

Cada ventilador conlleva asociado un cierto ruido, nivel de presión sonora NPS, que se mide en decibelios (dB). El decibelio es un número en una escala logarítmica en la que está relacionada la presión sonora a medir con otra de referencia. Se usa de esta treta para poder manejar unidades cómodas de cálculo.

Para determinar el nivel de dB se realizan ensayos en laboratorios especializados, bajo unas condiciones y según normas internacionales. Como es lógico la presión sonora sobre el oído estará relacionada con la distancia a la fuente de ruido, por lo que siempre tendrá que hacerse referencia a este dato. Para que los valores fueran representativos de la sensibilidad del oído humano, el funcionamiento de los aparatos utilizados en los ensayos debería ser parecido al que tiene en realidad el órgano auditivo humano; esto resulta extremadamente difícil y aún no se ha conseguido.

Para resolver esta dificultad se utilizan en el ensayo diferentes equipos, con sensibilidades variables según la frecuencia:

A.- Gran atenuación de las bajas frecuencias (poca sensibilidad para éstas).

B.- La atenuación es menor.

C.- Apenas hay atenuación (la misma sensibilidad para todas las frecuencias).

Según el montaje que se utilice en la determinación del nivel de presión sonora, hablaremos de dB A, dB B o dB C.

Para un ventilador en funcionamiento, el número de dB A es menor que el número de dB B, y éste último es menor que el número de dB C. Ello es debido a la diferente atenuación de los sonidos de baja frecuencia para cada uno de los montajes.

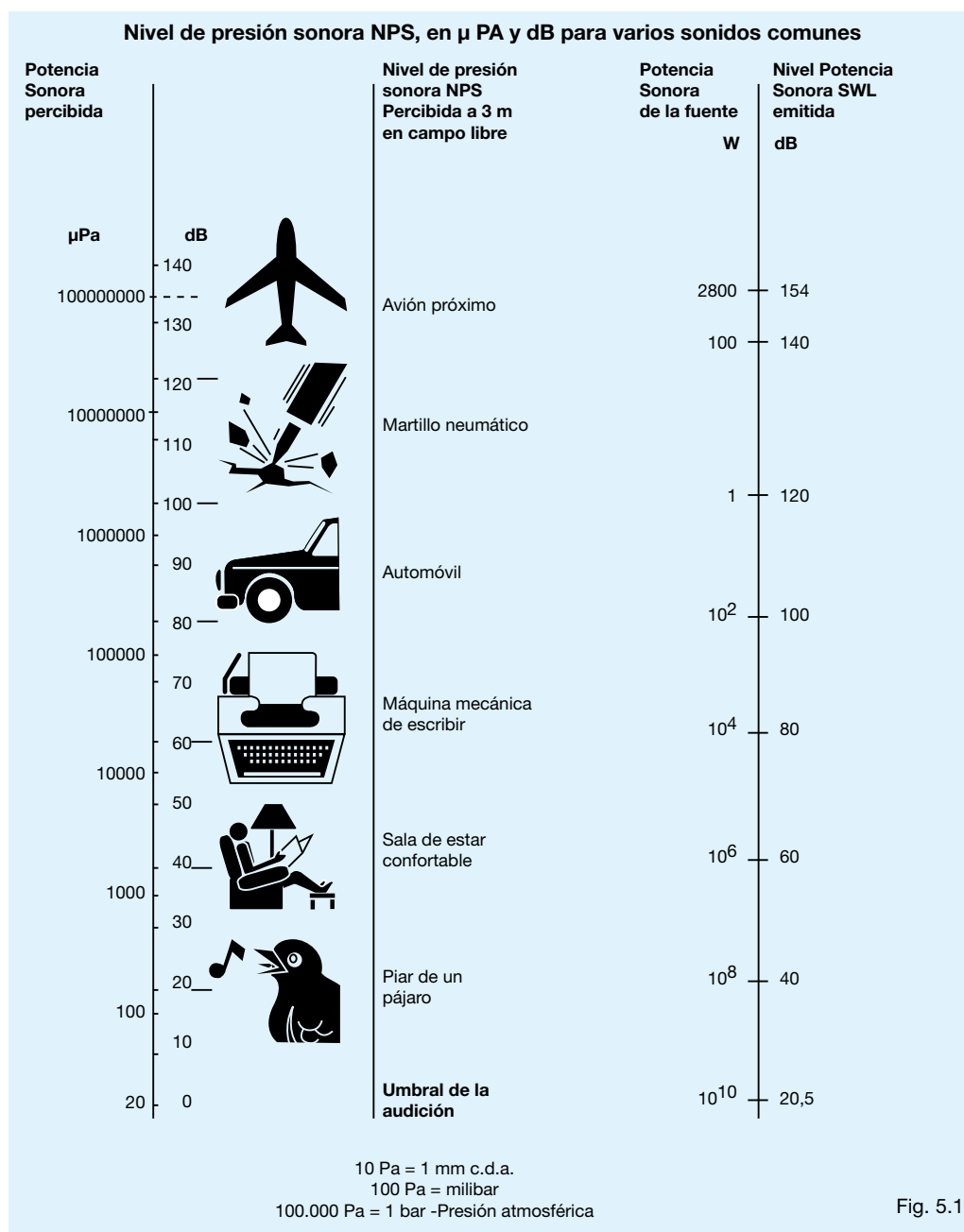
El número de dB asociado al funcionamiento de un determinado ventilador limita su utilización a locales que permitan ese nivel de ruido.

En la tabla 5.1 tenemos relacionado el Nivel de Presión Sonora NPS (dB), con una descripción de tipo de ruido y unos ejemplos para poder imaginar a qué equivalen 40, 60 ó 100 dB.

En los ventiladores domésticos, es fundamental escoger el de menor nivel sonoro.

Con las características de cada ventilador se da también el número de dB que produce su funcionamiento, que deberemos comprobar que esté por debajo de los límites establecidos.

Para calcular el ruido a través de canalizaciones, como es el caso de instalaciones de aire acondicionado, debe partirse de la potencia sonora del ventilador y de la atenuaciones que se producen a lo largo de la conducción.



El cálculo no es sencillo y no es usual facilitar datos, de potencia sonora. En los catálogos de S&P sí que figuran. La potencia sonora representa la cantidad de energía por segundo que se emite en forma de ondas sonoras. La unidad de medida es el watio pero por la misma razón expuesta al tratar de la presión sonora, se usa una escala logarítmica calculada sobre la potencia de la fuente relacionada con una de referencia. La unidad, esta vez de nivel de potencia sonora SWL, también es el decibelio. La fig. 5.1 refleja la correspondencia entre los niveles de presión y potencia sonora.

Ruido	Nivel de Presión sonora NPS percibido a 3 m en campo libre	Nivel de Potencia sonora SWL
Avión proximo	135 dB	154dB
Automóvil	80 dB	100 dB
Sala de estar	40 dB	60 dB
Piar de pájaro	20 dB	40 dB

Tabla. 5.2

Una relación indicativa de los niveles de presión sonora y potencia sonora se dan en la tabla 5.2. El número de dB de un ventilador es una expresión del nivel de ruido, y por tanto de molestia, que produce el funcionamiento del mismo. La diferente sensibilidad auditiva de cada persona y para cada frecuencia hace que, en ocasiones, un ventilador caracterizado por un nivel de dB mayor que otro no resulte, en realidad, más molesto que este último. Ello se debe, como hemos dicho anteriormente, a la diferente sensibilidad del oído humano según sean las frecuencias de los sonidos que percibe.

## 5.2 SILENCIADORES

Muchas veces la potencia sonora que procede de una fuente de ruido llega a un determinado local, tiene unos valores excesivamente elevados que hacen necesario disponer, en la conducción, de elementos atenuadores. Los más usados son los llamados silenciadores.

Los que suelen emplearse en instalaciones con aire se fundan, en general, en el poder absorbente que tienen algunos materiales como la fibra de vidrio, la lana de roca, etc.

El silenciador más simple consiste en forrar interiormente, de material absorbente, parte o toda la conducción por la que se propaga el ruido.

Otros más eficaces, como los de la fig. 5.2, se diferencian del anterior en que para una misma superficie libre transversal, tienen mayor perímetro y por tanto mayor superficie de material absorbente.

En los catálogos de los silenciadores se proporcionan datos de la atenuación que producen en cada banda de frecuencia, valor que debe sustraerse del nivel sonoro a tratar.

También dan la pérdida de carga que provocan en función del caudal de aire que pasa por ellos.

Los silenciadores colocados a la aspiración y a la descarga de los ventiladores, reducen el nivel sonoro transmitido a través de los conductos a los que están acoplados. De esta forma se reduce sensiblemente el ruido en las bocas de impulsión o de aspiración del aire abiertas en las dependencias a ventilar. Otro aspecto es el ruido radiado por el cuerpo del ventilador al ambiente en el que está instalado. Para atenuar este ruido deben usarse envolventes y cajas insonorizadas que encierren al mismo.

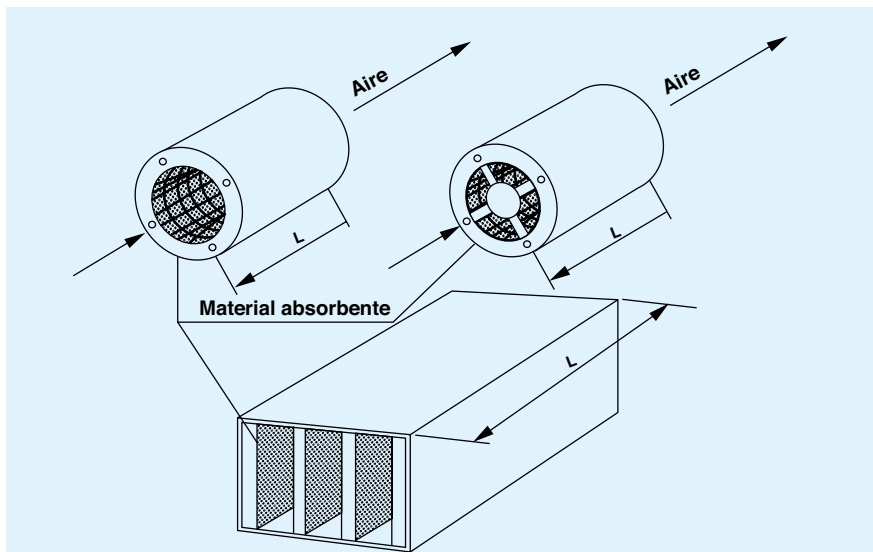


Fig. 5.2

El valor de la atenuación en cualquiera de ellos se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$dB = 1,05 \alpha^{1,4} \frac{PL}{S}$$

$\alpha$  = Coeficiente de absorción que podemos deducir de la fig. 4.21 para cada frecuencia.  
 $P$  = Perímetro del conducto forrado de material absorbente.  
 $S$  = Superficie libre.  
 $L$  = Longitud del silenciador.

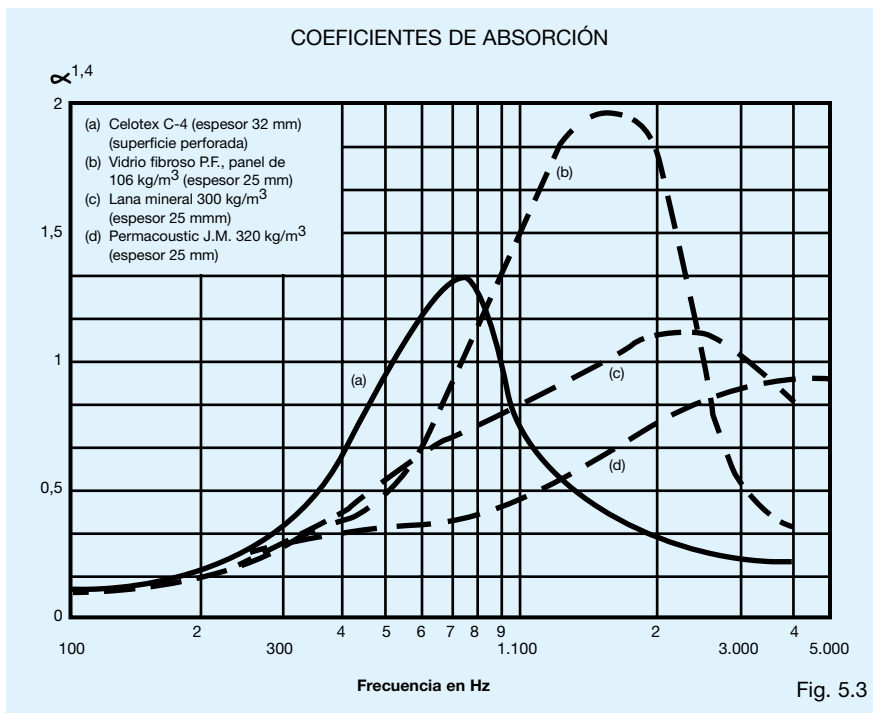


Fig. 5.3

### ATENUACIÓN DEL RUIDO POR LA DISTANCIA AL VENTILADOR EN CAMPO LIBRE

Distancia a la fuente de ruido m	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30
Atenuación dB (A)	11	14,5	17	20	23	25	26	28	29	30	31	34	37	39	40

Tabla. 5.3

### 5.3 RUIDOS MECÁNICOS

Las vibraciones de las piezas en movimiento generan ruidos que se transmiten a través de los soportes de los ventiladores y de los conductos a la estructura del edificio. Es evidente que cuanto más ligera sea la estructura, mayor ruido se transmitirá.

Para limitar la transmisión de los ruidos mecánicos, lo mejor es amortiguar las vibraciones intercalando entre las piezas en movimiento y las piezas fijas unas juntas o piezas elásticas:

- Los «silent-blocks» o soportes antivibratorios, Fig. 5.4, de caucho o de muelle, que pueden trabajar a compresión o a tracción, se escogen en función de la carga que deben soportar y la velocidad del ventilador.

La selección de soportes antivibratorios no es fácil y en caso de error puede llegarse a magnificar el problema en vez de solventarlo.

- Acoplamientos elásticos entre el ventilador y los conductos, Fig. 5.5.

- Soportes antivibratorios para suspender o apoyar los conductos. Figs. 5.6 y 5.7.

Los ruidos mecánicos producidos por las vibraciones de un ventilador pueden aminorarse mediante los mecanismos descritos, introducidos en el momento de la instalación, pero siempre debe partirse de un nivel considerado aceptable, dentro de los límites establecidos para el mismo. El valor aceptable va asociado a una clasificación de las máquinas que depende de las dimensiones, de las características del montaje y del empleo de la máquina. En el caso de ventiladores de tamaño medio y pequeño, la calidad del equilibrado debe ser como máximo G6,3 según ISO. Ésto significa que el centro de gravedad de la masa gira entorno al eje a una velocidad lineal de 6,3 mm/s.

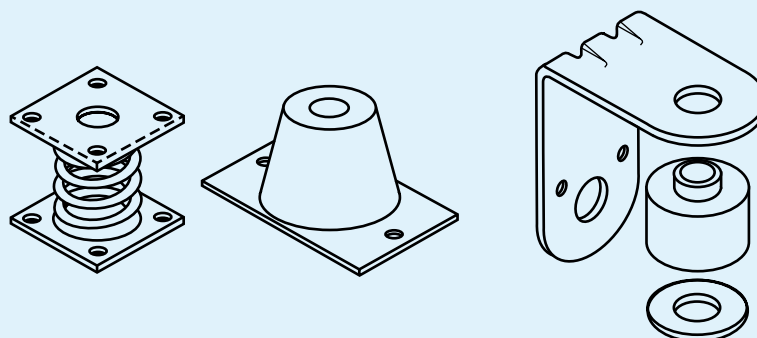


Fig. 5.4

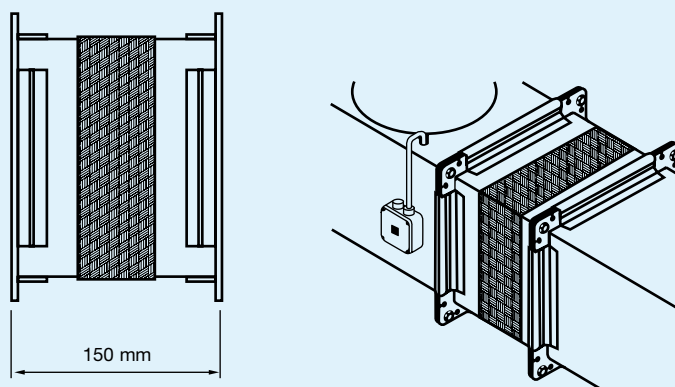


Fig. 5.5

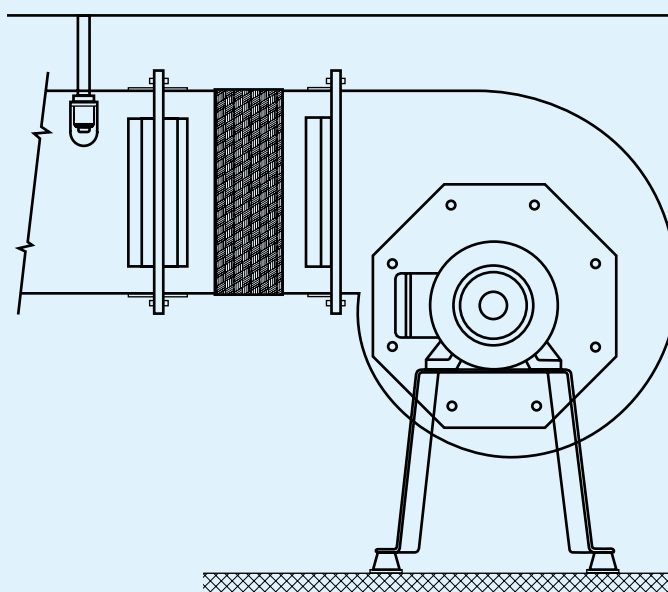


Fig. 5.6

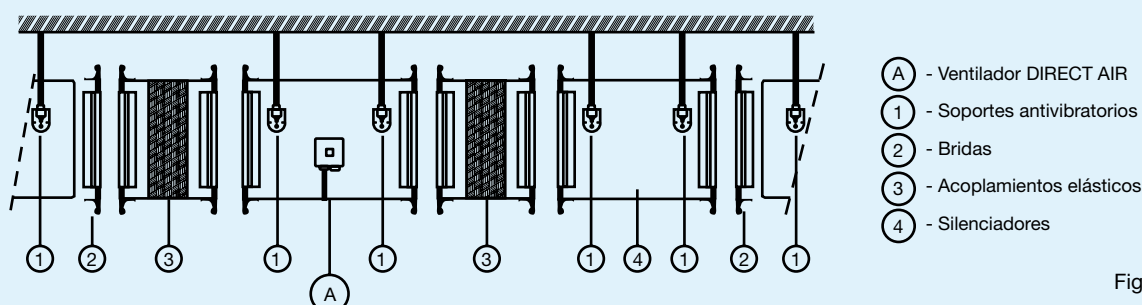


Fig. 5.7



## 6. PROCESO PARA DECIDIR UN SISTEMA DE VENTILACIÓN

Vamos a indicar paso a paso el camino a seguir para culminar una ventilación:

1° **Decidir el sistema** más idóneo: Ventilación Ambiental o bien Ventilación Localizada. Recordemos que la Ambiental es adecuada para recintos ocupados por seres humanos con la contaminación producida por ellos mismos en sus ocupaciones y también en naves de granjas de animales que ocupan toda la superficie y en aparcamientos subterráneos de vehículos donde la contaminación puede producirse en todos los lugares. La Ventilación Localizada es para controlar la contaminación en los lugares donde se genera.

2° Calcular la **cantidad de aire**, el caudal del mismo necesario.

3° Estudiar si es posible la **descarga libre**, ésto es, lanzar fuera el aire contaminado a través de un cerramiento, pared o muro.

4° En el caso de tener que descargar en un punto lejano, calcular la **pérdida de carga** de la canalización necesaria, con todos sus accidentes: captación, tramos rectos, codos, expansiones, reducciones, obstáculos, etc., hasta alcanzar la salida.

5° **Consultar un catálogo** de ventiladores para identificar cuáles de ellos contienen en su curva característica el punto de trabajo necesario: Caudal- Presión.

6° **Escoger el ventilador** adecuado atendiendo, además del punto de trabajo, al ruido permitido, a la tensión de alimentación, a la regulación de velocidad (si es necesaria) a la protección (intemperie), posibilidades de instalación y, naturalmente, al coste.

### PROCESO

**Pasos a seguir:**

1° Ventilación, ¿Ambiental?  
¿Localizada?

2° Caudal necesario, Q

3° ¿Descarga libre?

4° Si descarga canalizada,

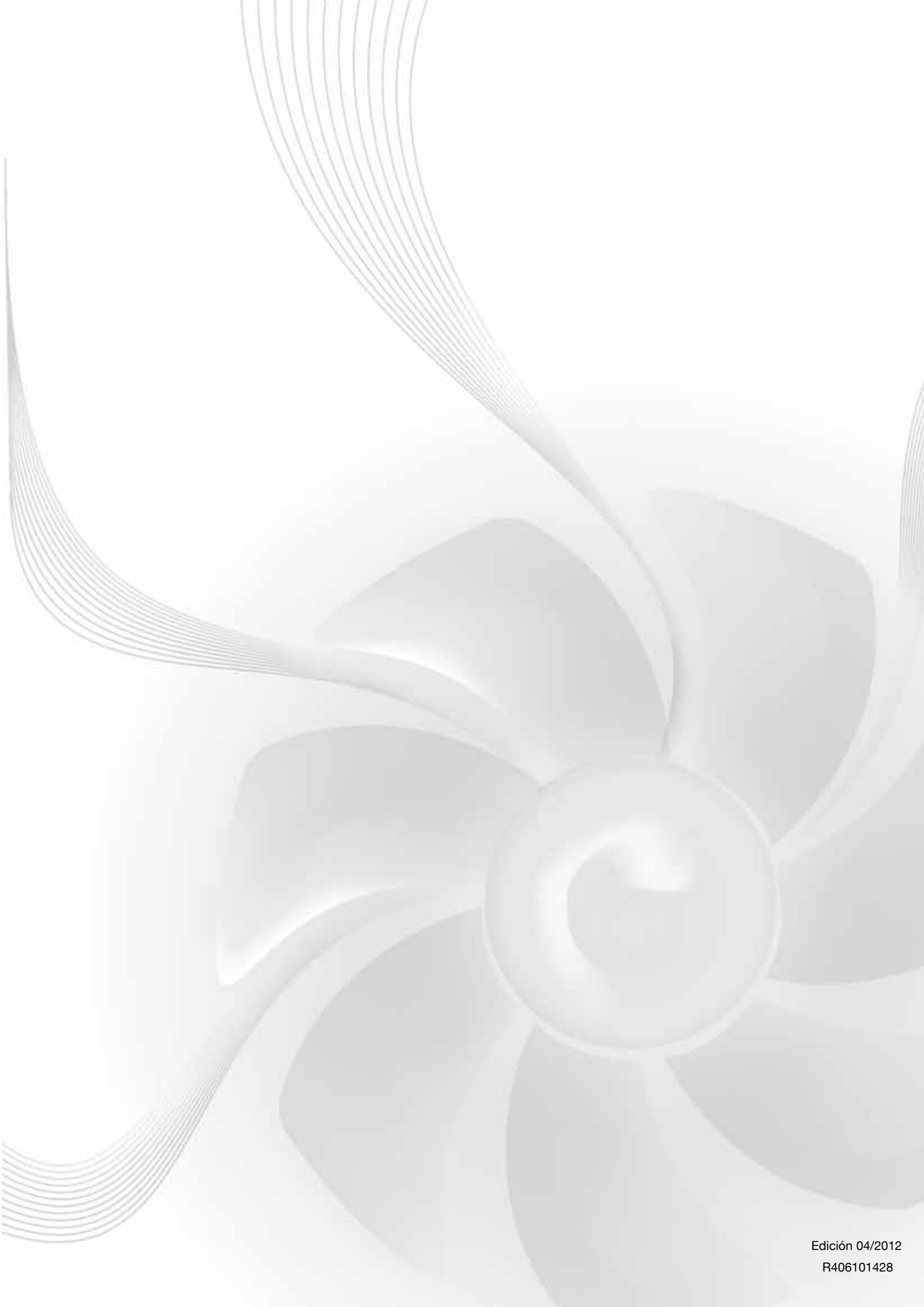
Cálculo Pérdida de Carga,  $\Delta P$

5° Punto de trabajo

6° Selección del Ventilador  
capaz del Q-P

Atención al {  
· Ruido,  
· Regulación,  
· Instalación,  
· Coste







**Sistemas  
de Ventilación**

[www.solerpalau.es](http://www.solerpalau.es)