

### T10.- Distribución de Aire

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

**Departamento:** Ingeniería Eléctrica y Energética  
**Area:** Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO [renedoc@unican.es](mailto:renedoc@unican.es)  
Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28  
<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>  
Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

1

- 1.- Introducción
- 2.- Difusión del Aire
- 3.- Tipos de Difusión
- 4.- Unidades Terminales
- 5.- Ventiladores
- 6.- Conductos de Aire
- 7.- Elementos Auxiliares
- 8.- Programas Informáticos

### 1.- Introducción

La **difusión del aire** en los locales es de vital importancia ya que es lo finalmente se percibe de toda la instalación (condicione finales: térmicas, acústicas, ...)

La selección del o los **ventiladores** es importante no sólo por el movimiento de aire sino por el consumo energético (30%)

Diseño de los **conductos** equilibrados

2

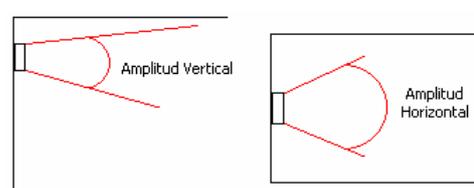
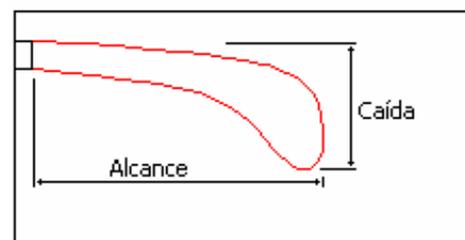
2.- Difusión del Aire (I)

- **Zona de ocupación**, desde 10 cm desde el suelo hasta 2 m para personas de pie; en disposición horizontal depende de la ocupación prevista del local
- La **velocidad** del aire en la zona ocupada; entre 0,18 y 0,24 m/seg en verano y entre 0,15 y 0,20 m/seg en invierno
- **Gradiente vertical de temperatura**: para que exista confort térmico no debe de exceder de 2°C por metro en la zona ocupada
- El Índice de Prestaciones de una Distribución de Aire (**IPDA**), valor ponderado de confort debido a la velocidad del aire y su temperatura

Velocidad media (m/s)	IPDA (%)	Aplicaciones
0,15	100	-
0,28	90	Salas de concierto, Oficinas
0,32	80	Aulas
0,35	70	Oficinas públicas

2.- Difusión del Aire (II)

- La **dirección aire**; es molesto para una persona recibir el aire directamente
- **Alcance, flecha o propulsión**, es la distancia horizontal ( $v_{\text{aire impulsado}} > 0,25 \text{ m/s}$ ), aprox 3/4 distancia del local
- La **caída** es la distancia vertical ( $v_{\text{aire impulsado}} > 0,25 \text{ m/s}$ )
- La **inducción** es la mezcla que se provoca del aire impulsado con el aire del local
- La **dispersión o amplitud del difusor** es el ángulo de divergencia de la corriente de aire después de la boca



2.- Difusión del Aire (III)

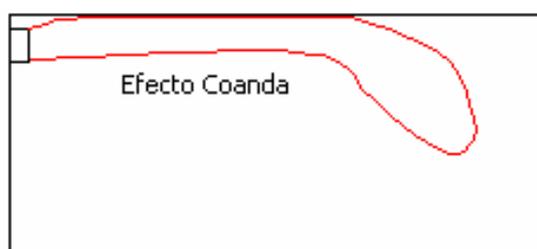
El **área de distribución**; definido por la flecha, la caída y las amplitudes

La **eficacia de la impulsión** ( $\epsilon$ ) se define en función del parámetro medido (concentración, temperatura, ...) en la extracción (e), la impulsión (i) y en el ambiente del local (a)

La cantidad de aire necesitada es inversamente proporcional a la eficacia de la ventilación

$$\epsilon = \frac{C_e - C_i}{C_a - C_i}$$

Se ha de tener en cuenta el **efecto Coanda**, una vena introducida cercana y paralela a una pared plana, tiende a mantenerse pegada a esta



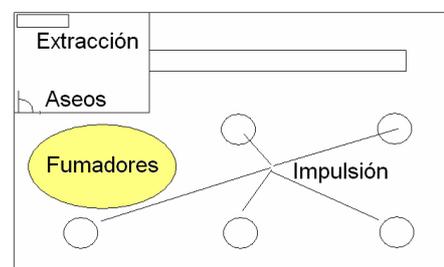
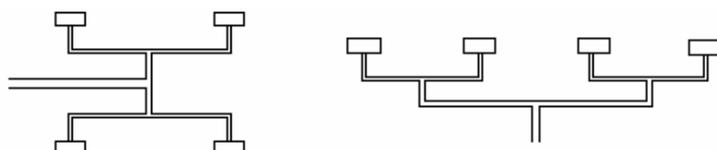
5

2.- Difusión del Aire (IV)

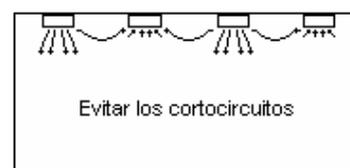
- Las **sustancias contaminantes** a extraer de un local están marcadas por las concentraciones que resultan perjudiciales ó molestas (normativa)

- Hay que mantener **zonas de presión positiva o negativa**

- La **ubicación de las bocas de descarga** tiene que tender al diseño de conductos equilibrados

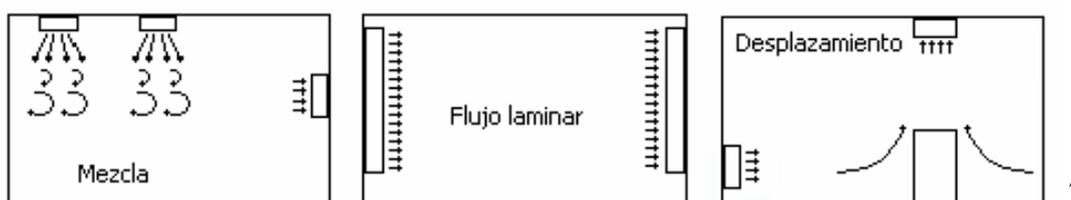


- La **ubicación de las bocas de aspiración** ha de evitar cortocircuitos con el aire impulsado, y la dispersión de la contaminación



3.- Tipos de Difusión (I)

- **Por mezcla:** el aire introducido se mezcla con el del local antes de ser extraído. Tiende homogeneizar las condiciones en el local
- **Por flujo laminar:** el aire se desplaza de un lado a otro del local provocando un barrido sin mezcla. Se da prioridad a la calidad del aire en la zona de impulsión; se emplea cuando se exigen gran calidad del aire
- **Por desplazamiento:** se aprovechan las corrientes ascendentes del aire provocadas por las fuentes de calor del local; el aire se impulsa sin turbulencias, a velocidad muy baja y a nivel del suelo; al chocar con las corrientes convectivas de los focos de calor asciende

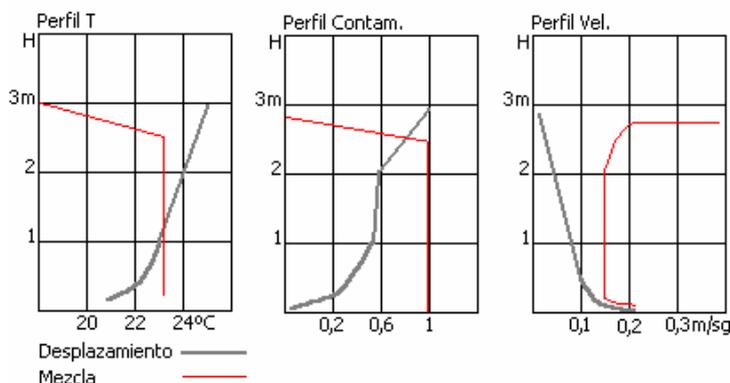


3.- Tipos de Difusión (II)

**Mezcla vs desplazamiento**

**En refrigeración** interesa la estratificación, el desplazamiento es mejor, ya que la mezcla del aire se produce en la zona ocupada

El desplazamiento sólo es válido en refrigeración



Mezcla				Desplazamiento	
Impulsión arriba Extracción arriba		Impulsión arriba Extracción abajo		Impulsión abajo Extracción arriba	
$\Delta T$ (°C)	Ev	$\Delta T$ (°C)	Ev	$\Delta T$ (°C)	Ev
0	0,9 a 1	menos de -5	0,9	menos de 0	1,2 a 1,4
0 a 2	0,9	de -5 a 0	0,9 a 1	de 0 a 2	0,7 a 0,9
2 a 5	0,8	mas de 0	1	mas de 2	0,2 a 0,7
mas de 5	0,4 a 0,7				

3.- Tipos de Difusión (III)

**Cálculo del sistema de desplazamiento (I)**

- El sistema sólo debe eliminar la **carga térmica convectiva**, no la radiante
- **El caudal de aire** se ha de determinar por cuatro formas diferentes y quedarse con el mayor de los obtenidos:
  1. En función de la carga térmica
  2. En función del caudal exterior requerido
  3. En función de las corrientes convectivas ascendentes
  4. En función de la presurización del local

a) Según la **carga térmica** se definen los coeficientes C y K (I)

- **C** relaciona la diferencia de T vertical en la zona ocupada y la existente entre el aire impulsado y el retornado

C	Porc (%) de carga de enfriamiento en el suelo	Uso del local
0,16	0 - 20	Iluminación próxima al techo; ej museos y estudios
0,25	20 - 60	Area de oficinas
0,33	60 - 100	Desplazamiento con inducción
0,4	60 - 100	Grandes cargas caloríficas en zonas de oficinas, techos fríos, locales de reunión

$$C = \frac{\Delta T_{\text{zona ocupada}}}{\Delta T_{\text{retorno-impulsión}}}$$

9

3.- Tipos de Difusión (IV)

**Cálculo del sistema de desplazamiento (II)**

a) Según la **carga térmica** se definen los coeficientes C y K (II)

- **K** relación de diferencia de T entre el aire en la parte baja de la zona ocupada y el aire impulsado, y entre el aire extraído y el impulsado.

$$K = \frac{T_{a10cm} - T_{impulsión}}{\Delta T_{\text{retorno-impulsión}}}$$

Actividad	Calor emitido (W)	$\Delta T_{\text{retorno-impulsión}}$	$\Delta T_{\text{zona ocupada}}$
Sentado	120	22	Menor de 2°C
De pie	150	19	Menor de 2,5°C
Media de pie	190	17	Menor de 3°C
Gran actividad de pie	270	15	Menor de 3,5°C

K	Caudal de aire específico m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	Uso del local
0,5	5 - 10	Caudal exterior mínimo
0,33	15 - 20	Desplazamiento con inducción, Volumen Aire Variable
0,2	más de 25	Talleres de montaje

### 3.- Tipos de Difusión (V)

#### Cálculo del sistema de desplazamiento (III)

a) Según la **carga térmica** se definen los coeficientes C y K (II)

Se definen factores de carga térmica ( $U_w$ ), y de captación de la carga térmica del sistema de extracción ( $U_s$ )

$$M \text{ (l/seg)} = \frac{1000 U_w Q_{\text{local}} \text{ (W)} (1 - U_s)}{1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)} 1002 \text{ (kJ/kg}^{\circ}\text{C)} (T_{\text{local}} - T_{\text{impulsión}})}$$

b) Según el **caudal de aire exterior**, se realiza en función de:

- El número de personas y su actividad
- La superficie del local
- La concentración de contaminantes y el factor de captación de los mismos ( $N_s$ )

$$Q = \frac{U_s \sum g (1 - N_s)}{(\text{Camb} - \text{Cimp})}$$

11

### 3.- Tipos de Difusión (VI)

#### Cálculo del sistema de desplazamiento (IV)

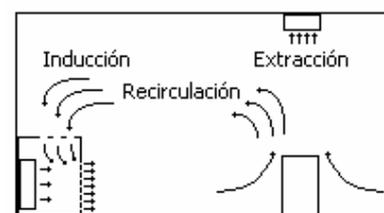
c) Según el **caudal convectivo** ascendente (tablas)

Tipo de fuente de calor	Valor aprox carga en W	Caudal aire aprox a 1,1 m en m³/h	Caudal aire aprox a 1,8 m en m³/h
Personas, actividad mod.	100 - 120	80 - 100	180 - 210
Lampara	60	40	100
PC-Fax	300	100	200
Impresora	400	120	250
Fotocopiadora	1000	200	400
Calefacción	400	40	100

d) Según la **presurización de los locales**

Se puede utilizar un **sistema de desplazamiento** para eliminar la contaminación, **y combinarlo** con otro que elimine la carga térmica

$\Delta T$  entre el aire impulsado y el del local tiene que ser baja, puede combinarse con un sistema de inducción



### 3.- Tipos de Difusión (VII)

El **RITE** limita la velocidad del aire en la zona ocupada

a) **Difusión por mezcla:**  $V = \frac{T}{100} - 0,07 \text{ m/s}$

b) **Difusión por desplazamiento**  $V = \frac{T}{100} - 0,1 \text{ m/s}$

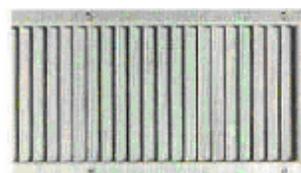
V (m/s)	Verano (23°C)	Verano (25°C)	Invierno (21°C)	Invierno (23°C)
Mezcla	0,16	0,18	0,14	0,16
Desplazamiento	0,13	0,15	0,11	0,13

13

### 4.- Unidades Terminales (I)

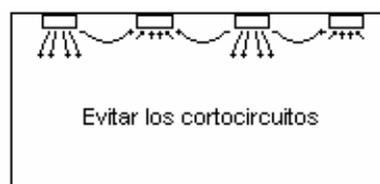
#### Bocas de Retorno

- **Rejillas:** lamas horizontales o verticales



Las situación de las bocas

- No se necesitan muchas bocas, una basta
- No tiene influencia en la velocidad del aire en el local
- Tiene influencia en el recorrido del aire
- Tiene gran importancia en la contaminación en el local
- Deben evitarse los cortocircuitos con la impulsión

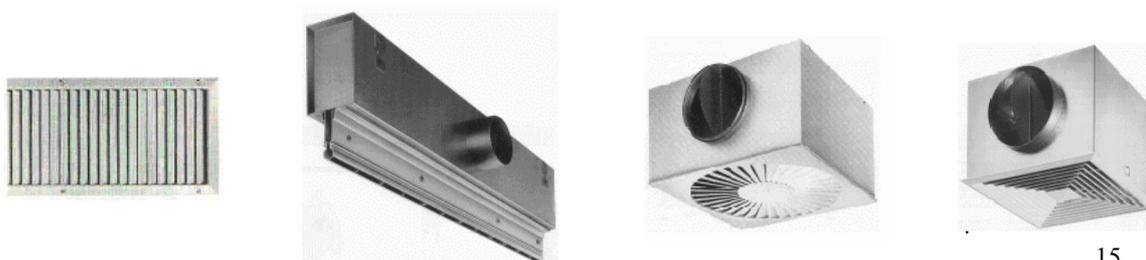


14

4.- Unidades Terminales (II)

Dentro de las de **impulsión** se pueden destacar **(I)** :

- **Rejillas**: lamas horizontales o verticales, generalmente orientables
- **Lineales**: evitar que las venas de los difusores choquen
- **Difusores rotacionales**; elevada inducción del aire impulsado, se pueden colocar unos cerca de otros, permiten gran caudal total
- **De techo**: son circulares, rectangulares o cuadrados, realizados en "conos" concéntricos, facilitan la mezcla del aire



15

4.- Unidades Terminales (III)

Dentro de las de **impulsión** se pueden destacar **(II)** :

- **Toberas de impulsión**: son un tubo por el que se logra un gran alcance, apropiados para grandes espacios



16

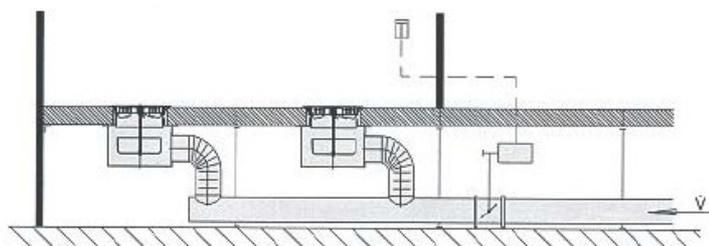
#### 4.- Unidades Terminales (IV)

Dentro de las de **impulsión** se pueden destacar (III) :

- **Vigas Frías:** a lo largo de toda la estancia



- **Difusores de suelo:** la zona próxima no se puede ocupar, necesitan conductos por el suelo



- **Difusores de peldaño:** cuidado con la zona cercana



#### 4.- Unidades Terminales (V)

Dentro de las de **impulsión** se pueden destacar (IV) :

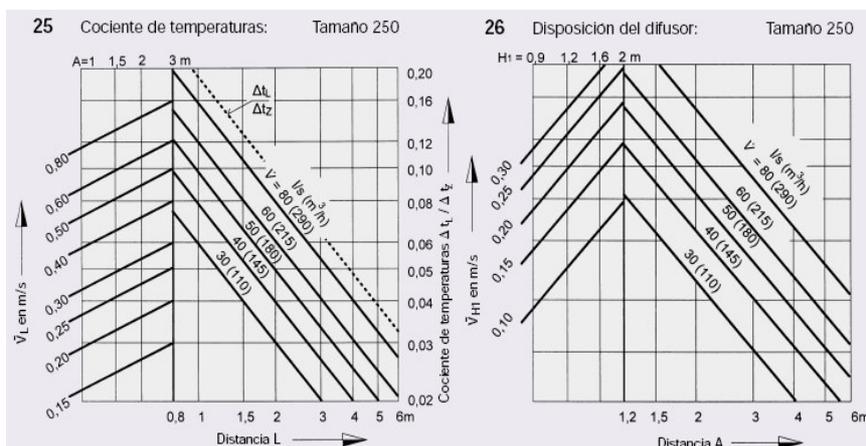
- **Paneles de chapa perforada:** se colocan en el techo o en las paredes, el aire es distribuido por los orificios con una distribución uniforme a baja velocidad y con baja turbulencia



- **Difusores de geometría variable;** adaptan su geometría a la diferente situación de la difusión del aire en invierno y verano

4.- Unidades Terminales (VI)

Los **fabricantes** de los impulsores proporcionan unos **gráficos** en los cuales se pueden determinar las características de flecha, caída, propulsión, presión necesaria, ...



El aspecto estético no debe eliminar el técnico

4.- Unidades Terminales (VII)

Otros **fabricantes** proporcionan software de selección

Calcular por:  Caudal y Alcance  Caudal y Potencia Sonora  Impulsión  
 Caudal y Difusor

Seleccionar con las velocidades recomendadas

Caudal:  l/s Regulator:  No  100% Abierto  50% Abierto  25% Abierto

Alcance:  m

T.Ambiente:  °C

T.Impulsión:  °C

Selección Técnica

Modelo	Q (m³/h)	Dt (°C)	Aeff (m²)	Veff (m/s)	Dpt1 (Pa)	Lwa1 (dB(A))	AI02 (m)	T02 (°C)	AI03 (m)	T03 (°C)	bv (m)
AXP-200	180,1	-4	0,0133	3,76	13,28	25<x<30	1,6	22	1,1	22	0,1
AXP-250	180,1	-4	0,0192	2,6	6,77	0<x<25	1,2	22	0,8	22	0,1

Velocidades recomendadas: Vmin 2.5 m/s Vmax 4.5 m/s

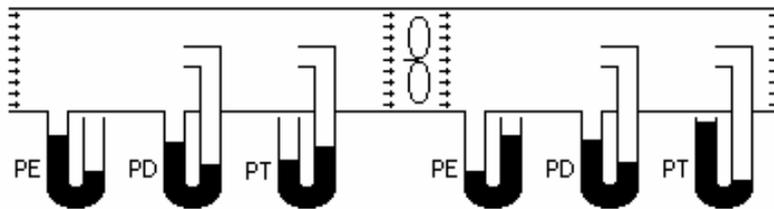
## 5.- Ventiladores (I)

Son máquinas destinadas a producir **movimiento de aire**

- Caudal volumétrico
- Incremento de la presión estática
- Potencia disponible
- Rendimiento del ventilador
- Ruido, las dimensiones, y el modo de arrastre

Tres tipos de **presiones**:

- Presión estática, sobre las paredes del conducto
- Dinámica, al convertir la energía cinética en presión
- Total que es la suma de las dos



$P_{\text{estática}}$ : en todas las direcciones

$P_{\text{dinámica}}$ : en la dirección del flujo

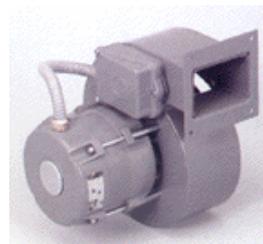
$$P_{\text{din}} = \frac{v^2}{2g} \quad [m]$$

21

## 5.- Ventiladores (II)

**Clasificación de los ventiladores (I):**

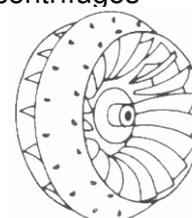
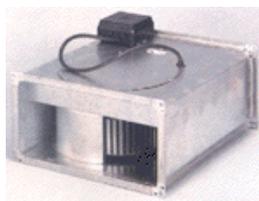
- Por **la diferencia de presión estática**:
  - Alta presión:  $180 < \Delta p < 300$  mm.c.a.
  - Media presión:  $90 < \Delta p < 180$  mm.c.a.
  - Baja presión:  $\Delta p < 90$  mm.c.a.
- Por el **sistema de accionamiento**:
  - Accionamiento directo
  - Accionamiento indirecto por transmisión
- Por el **modo de trabajo (I)**:
  - **Ventiladores axiales**: mueven grandes caudales con incrementos de presión estática baja
    - Hélice*
    - Tubo axial*: en una envolvente, dan mayores presiones, generan mucho ruido



5.- Ventiladores (III)

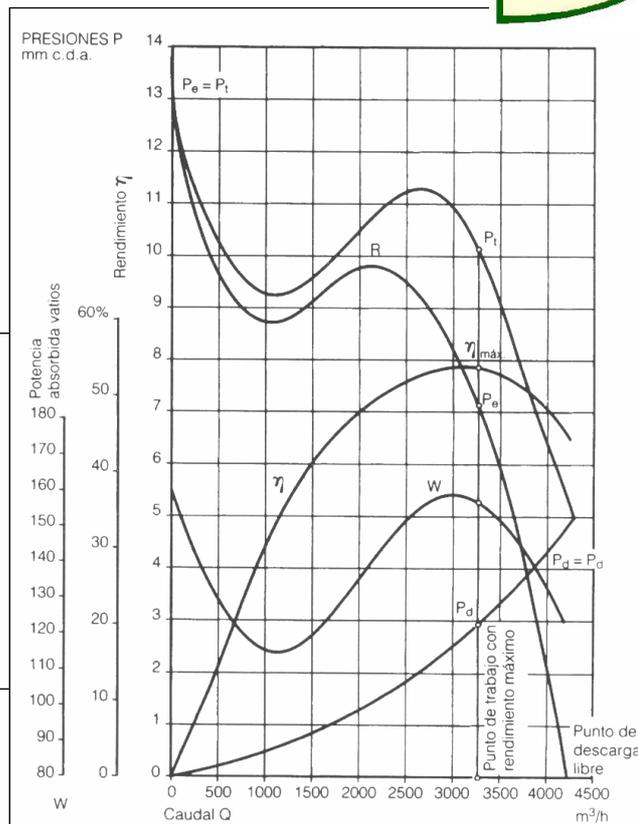
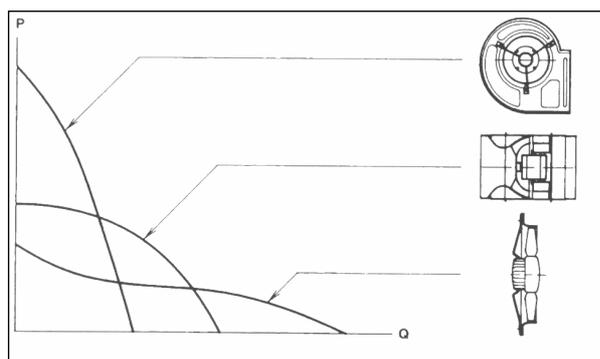
Clasificación de los ventiladores (II):

- Por el **modo de trabajo**:
  - **Ventiladores centrífugos**: el flujo de salida es perpendicular al de entrada.
    - De alabes curvados hacia delante
    - De alabes curvados hacia atrás
    - De álabes rectos a radiales; captación de residuos
  - **Ventiladores transversales**; la trayectoria del aire en el rodete es normal al eje tanto a la entrada como a la salida
  - **Ventiladores helicocentrífugos**; intermedios entre los centrífugos y los axiales, el aire entra como en los helicoidales y sale como en los centrífugos



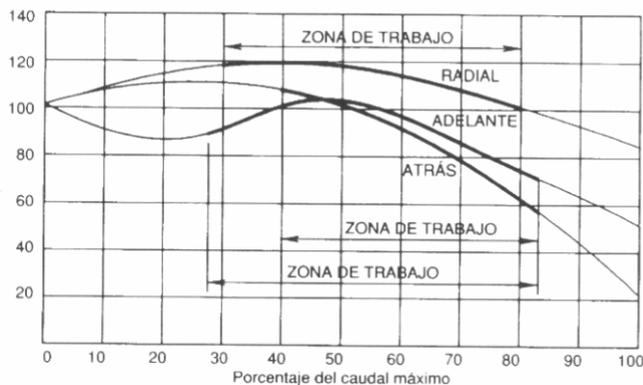
5.- Ventiladores (IV)

Las **curvas características (I)**:

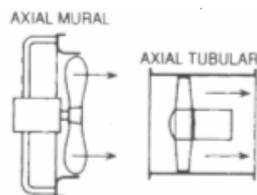
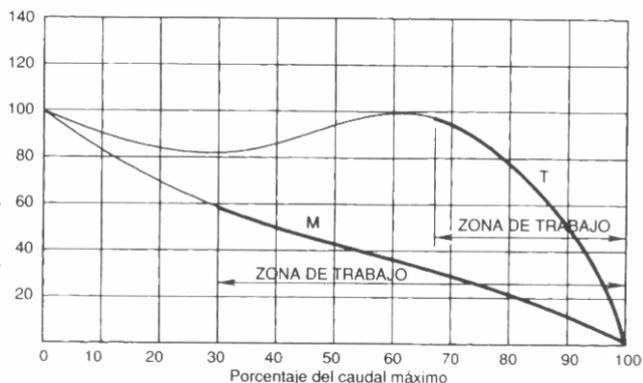


5.- Ventiladores (V)

Las **curvas características (II)**:

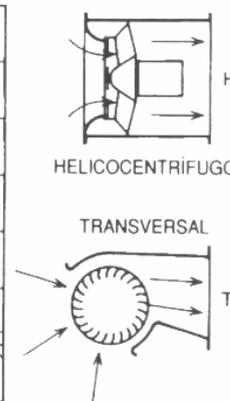
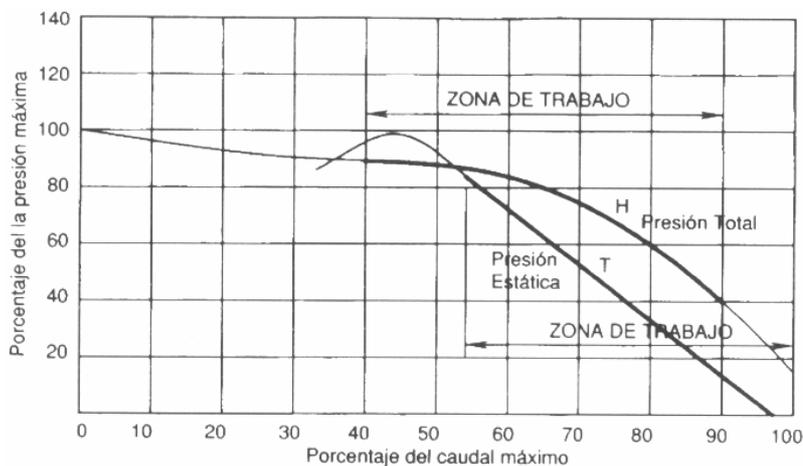


CENTRÍFUGOS



5.- Ventiladores (VI)

Las **curvas características (II)**:



5.- Ventiladores (VII)

Leyes de los ventiladores (I):

- Variación de la velocidad de giro:

$$Q = Q_0 \frac{n}{n_0} \quad P = P_0 \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 \quad \text{Pot} = \text{Pot}_0 \left( \frac{n}{n_0} \right)^3 \quad Lw = Lw_0 + 50 \log \left( \frac{n}{n_0} \right)$$

- Variación del diámetro del rodete:

$$Q = Q_0 \left( \frac{D}{D_0} \right)^3 \quad P = P_0 \left( \frac{D}{D_0} \right)^2 \quad \text{Pot} = \text{Pot}_0 \left( \frac{D}{D_0} \right)^5 \quad Lw = Lw_0 + 70 \log \left( \frac{D}{D_0} \right)$$

- Variación de la densidad del aire:

$$Q = Q_0 \quad P = P_0 \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right) \quad \text{Pot} = \text{Pot}_0 \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right) \quad Lw = Lw_0 + 20 \log \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)$$

27

5.- Ventiladores (VIII)

Leyes de los ventiladores (II):

- Variación varios parámetros:

$$Q = Q_0 \left( \frac{D}{D_0} \right)^3 \frac{n}{n_0} \quad \text{Pot} = \text{Pot}_0 \left( \frac{D}{D_0} \right)^5 \left( \frac{n}{n_0} \right)^5 \frac{\rho}{\rho_0} \quad n = n_0 \left( \frac{Q_0}{Q} \right)^{1/2} \left( \frac{P}{P_0} \right)^{3/4} \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right)^{3/4}$$

$$Lw = Lw_0 + 70 \log \left( \frac{D}{D_0} \right) + 50 \log \left( \frac{n}{n_0} \right) + 20 \log \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right)$$

- Variación de las prestaciones

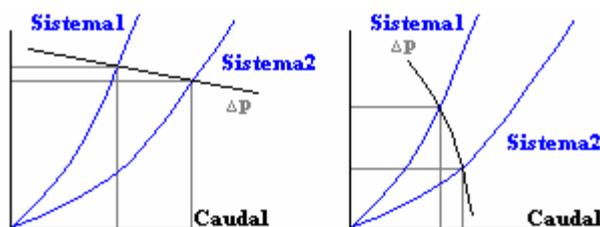
$$\text{Pot} = \text{Pot}_0 \left( \frac{Q}{Q_0} \right) \left( \frac{P}{P_0} \right) \quad D = D_0 \left( \frac{Q}{Q_0} \right)^{1/2} \left( \frac{P}{P_0} \right)^{1/4} \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1/4} \quad n = n_0 \left( \frac{Q_0}{Q} \right)^{1/2} \left( \frac{P}{P_0} \right)^{3/4} \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right)^{3/4}$$

$$Lw = Lw_0 + 10 \log \left( \frac{Q}{Q_0} \right) + 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

28

**5.- Ventiladores (IX)**

El **punto de funcionamiento** depende del sistema de distribución del aire, que es cambiante (filtros, suciedad, control)



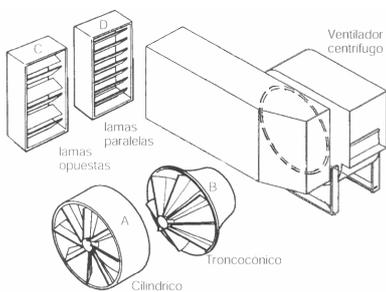
Para Q variable

Para Q cte

**Control del caudal**

Ventilador	Sistema de regulación	Zona posible de regulación		Zona de regulación recomendada		Coste inicial	Consumo energía	Nivel acústico
		de %	a %	de %	a %			
Centrífugo y helicoidal	Compuerta	100	70	100	90	Bajo	Malo	Malo
	Bypas	100	0	100	80	Alto	Regular	-
	Reg. velocidad	100	20	100	20	Medio	Bueno	Regular
Helicoidal	Ang. álabes	100	0	100	0	Muy alto	Muy bueno	Bueno

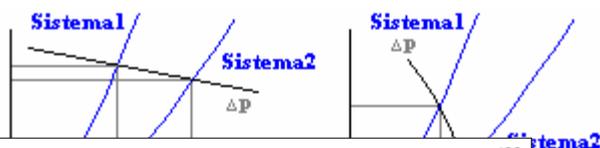
No



Compuerta laminas paralelas      Compuerta laminas opuestas

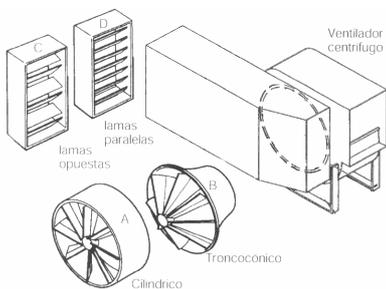
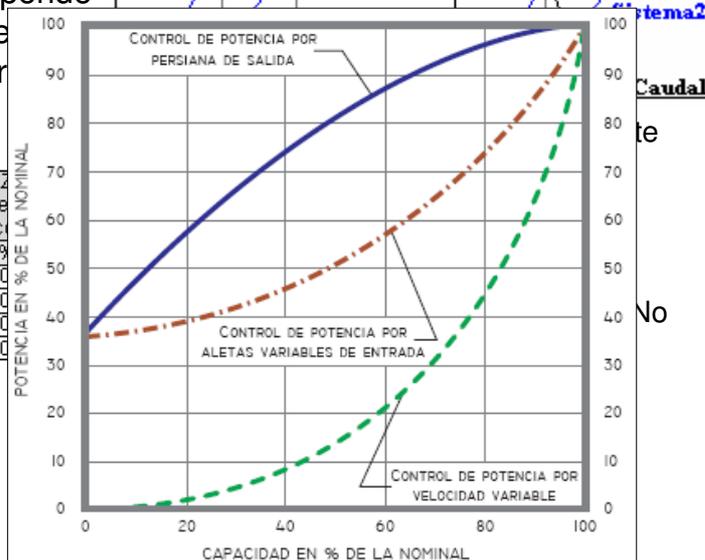
**5.- Ventiladores (IX)**

El **punto de funcionamiento** depende del sistema de distribución del aire, que es cambiante (filtros, suciedad, control)



**Control del caudal**

Ventilador	Sistema de regulación	Zona posible de regulación		Zona de regulación recomendada
		de %	a %	
Centrífugo y helicoidal	Compuerta	100	70	100
	Bypas	100	0	100
	Reg. velocidad	100	20	100
Helicoidal	Ang. álabes	100	0	100

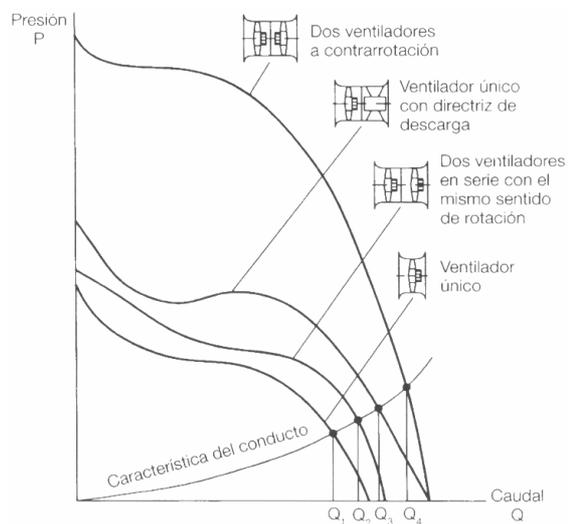
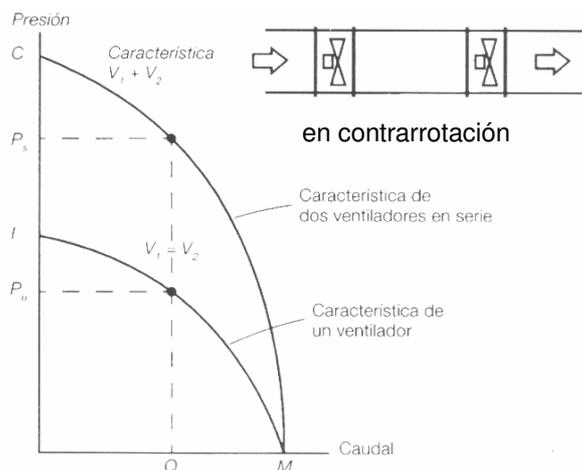


Compuerta laminas paralelas      Compuerta laminas opuestas

5.- Ventiladores (X)

Acoplamiento de ventiladores (I)

• Serie

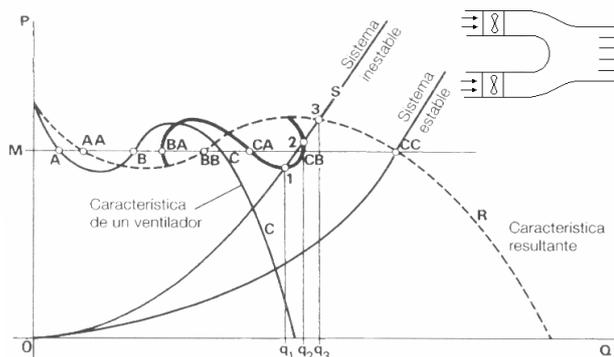
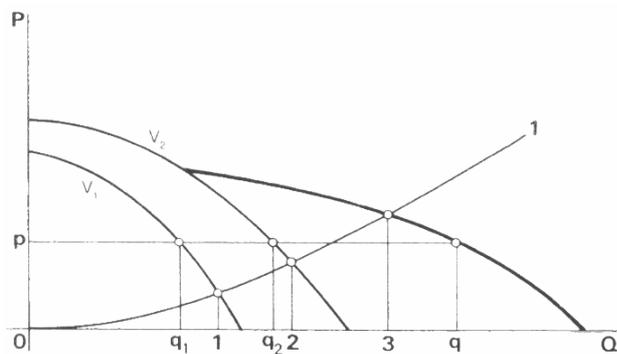


31

5.- Ventiladores (XI)

Acoplamiento de ventiladores (II)

• Paralelo



**5.- Ventiladores (XII)**

El RITE marca la categoría del sistema [W/(m<sup>3</sup>/s)] (imp. + ret.)

Categoría	Potencia Específica [W/(m <sup>3</sup> /s)]
SFP 1	≤500
SFP 2	500 – 750
SFP 3	750 – 1.250
SFP 4	1.250 – 2.000
SFP 5	2.000 <

**6.- Conductos de Aire (I)**

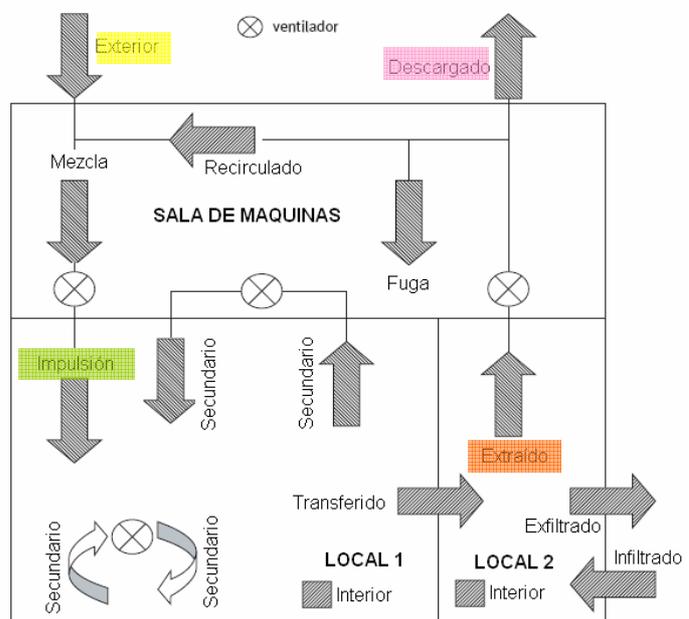
**Clasificación (I):**

**Por la velocidad del aire:**

- Baja velocidad ( $v < 10$  m/seg)
- Alta velocidad ( $v > 10$  m/seg)

**Por aire transportado:**

- Conducto de impulsión
- Conducto de extracción
- Conducto de expulsión
- Conducto de renovación



6.- Conductos de Aire (II)

**Clasificación (II):**

**Por el material empleado:**

- Metálicos; larga duración, resistencia mecánica, más fácil mantenimiento, no desprenden impurezas ni olores
- De fibra de vidrio, lana de roca, ...; menor peso, más fácil construcción (no necesitan maquinaria, se construyen in situ), son aislante térmico y acústico
- Textiles; fácil instalación, lavables, difusión incorporada

**Por la forma:**

- Circulares (prefabricados)
- Rectangulares (mejor cuanto más cuadrado; sección equivalente)



(2 kg/m<sup>2</sup>)



(7 kg/m<sup>2</sup>)



6.- Conductos de Aire (II)

**Clasificación (II):**

**Por el material empleado:**

- Metálicos; larga duración, resistencia mecánica, más fácil mantenimiento, no desprenden impurezas ni olores
- De fibra de vidrio, lana de roca, ...; menor peso, más fácil construcción (no necesitan maquinaria, se construyen in situ), son aislante térmico y acústico
- Textiles; fácil instalación, lavables, difusión incorporada

**Por la forma:**

- Circulares (prefabricados)
- Rectangulares (mejor cuanto más cuadrado; sección equivalente)

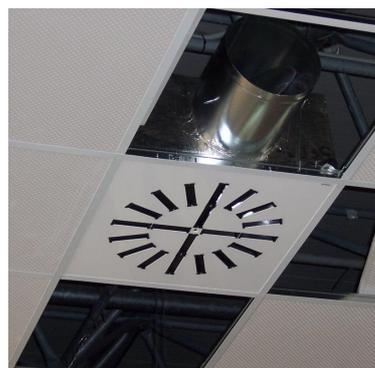


En exterior metálicos



6.- Conductos de Aire (III)

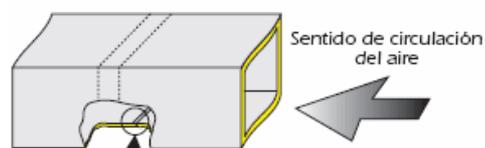
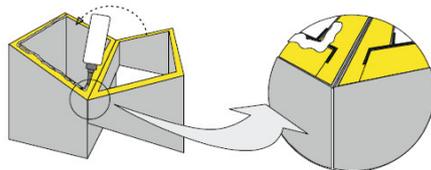
Conexión de los elementos de difusión



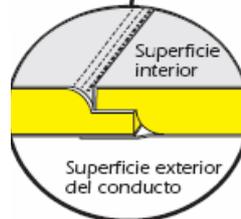
6.- Conductos de Aire (IV)

Fabricación de conductos de lana de roca o vidrio:

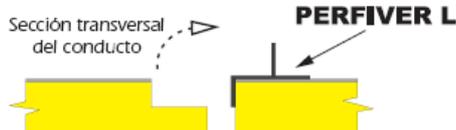
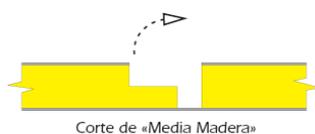
Sellado interior de conductos



Unión transversal de conductos



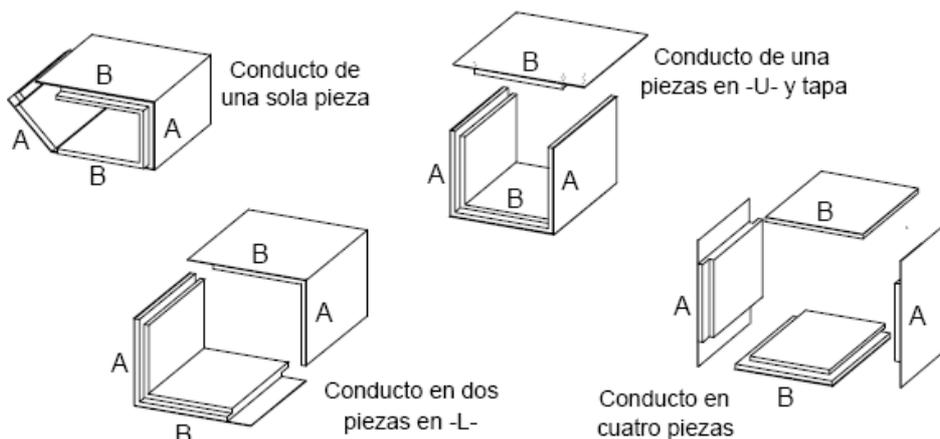
Canteado exclusivo rebordeado



**6.- Conductos de Aire (V)**

**Fabricación de conductos de lana de roca o vidrio:**

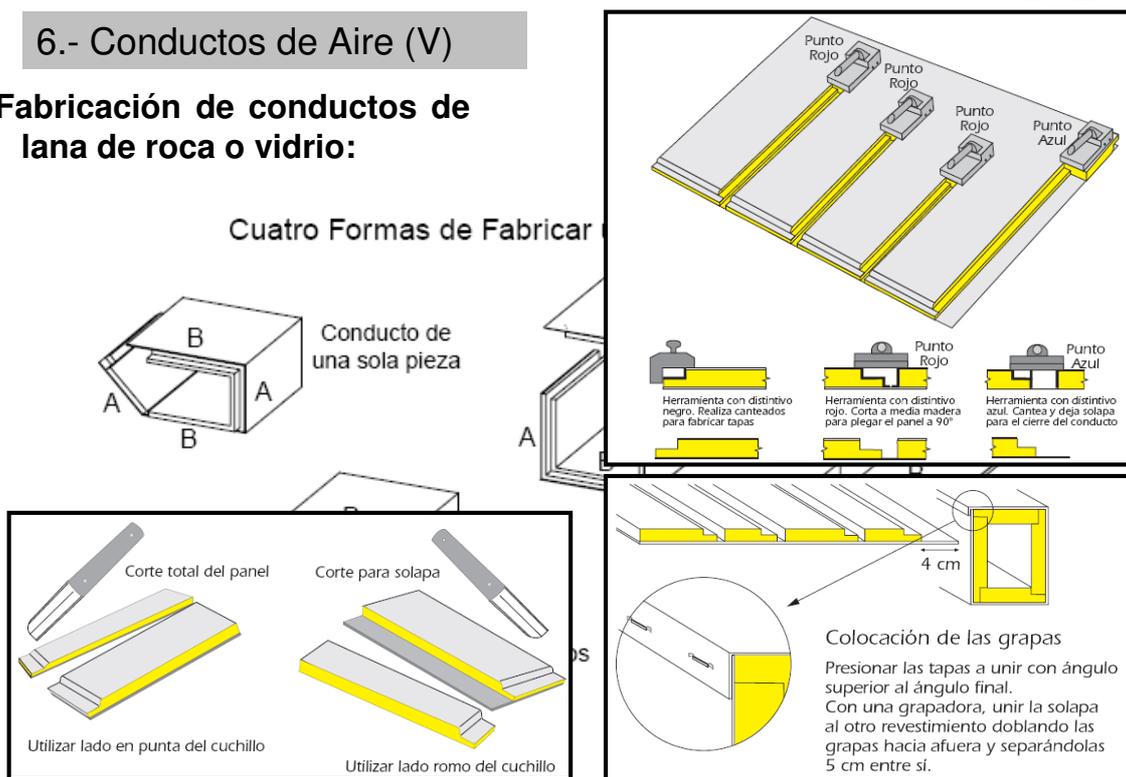
**Cuatro Formas de Fabricar un Conducto Recto**



**6.- Conductos de Aire (V)**

**Fabricación de conductos de lana de roca o vidrio:**

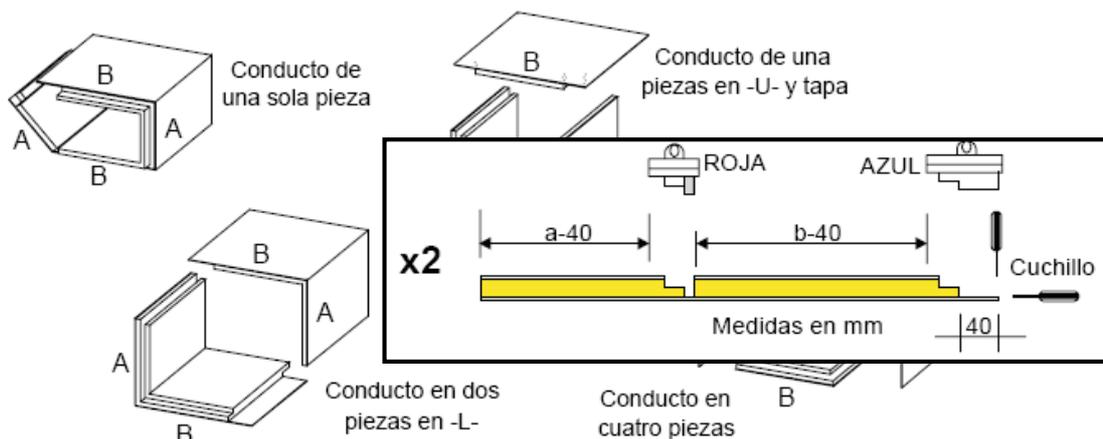
**Cuatro Formas de Fabricar**



**6.- Conductos de Aire (V)**

**Fabricación de conductos de lana de roca o vidrio:**

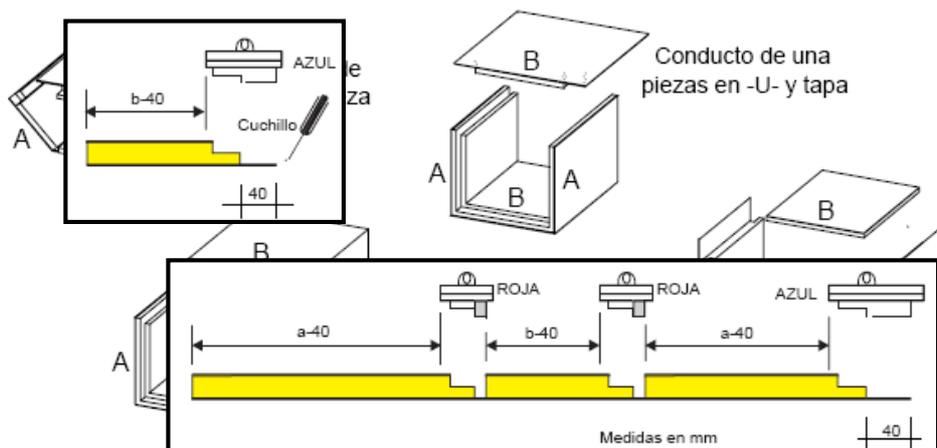
**Cuatro Formas de Fabricar un Conducto Recto**



**6.- Conductos de Aire (V)**

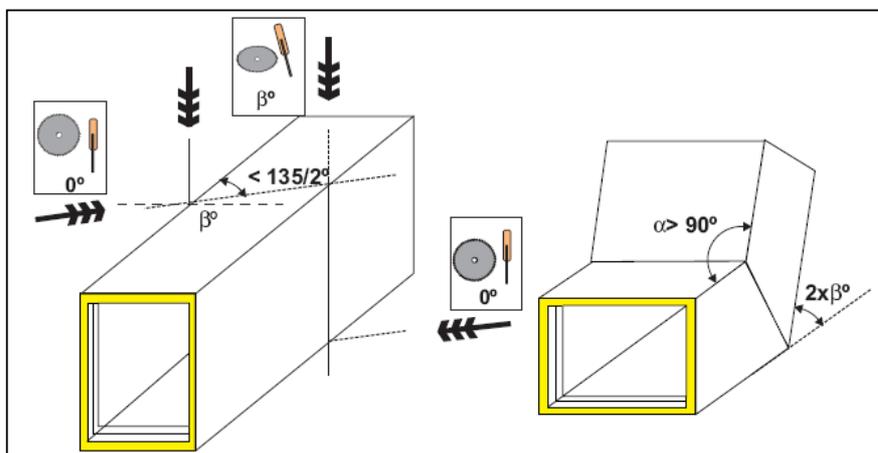
**Fabricación de conductos de lana de roca o vidrio:**

**Cuatro Formas de Fabricar un Conducto Recto**



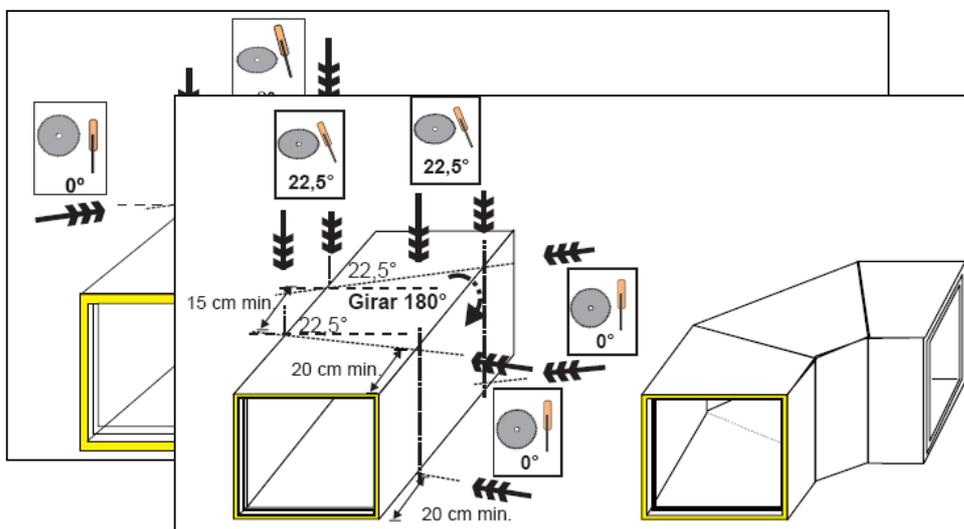
6.- Conductos de Aire (VI)

Fabricación de conductos de lana de roca o vidrio:



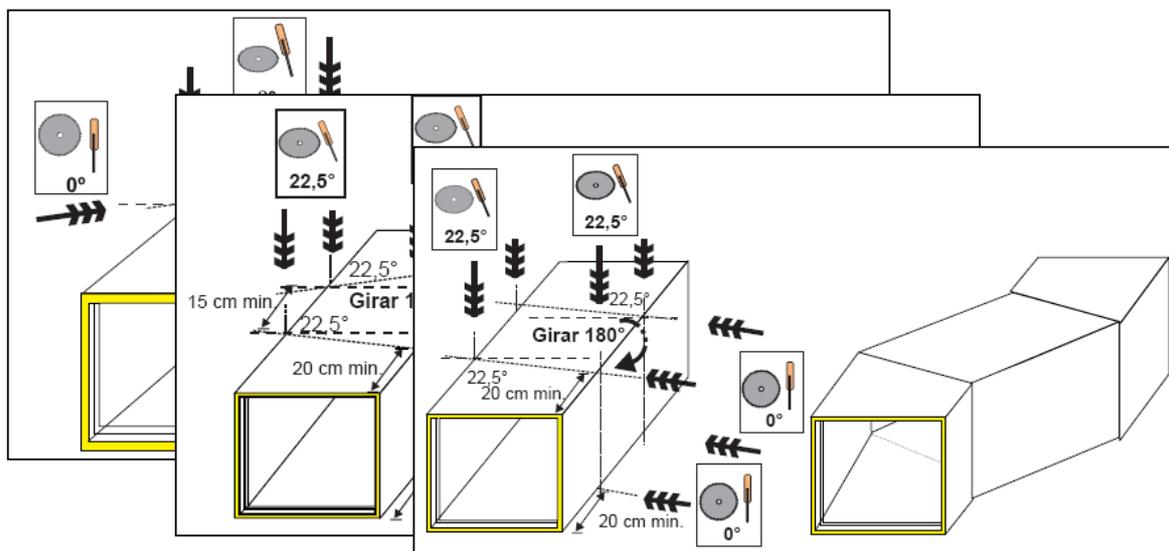
6.- Conductos de Aire (VI)

Fabricación de conductos de lana de roca o vidrio:



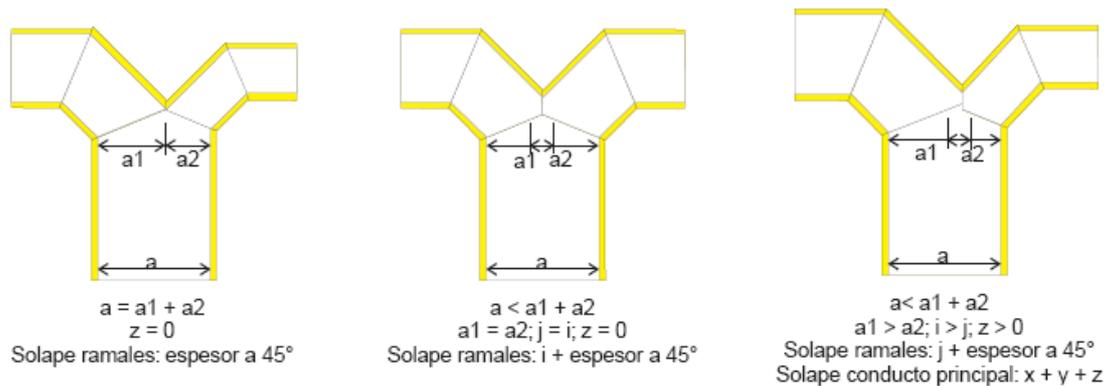
6.- Conductos de Aire (VI)

Fabricación de conductos de lana de roca o vidrio:



6.- Conductos de Aire (VII)

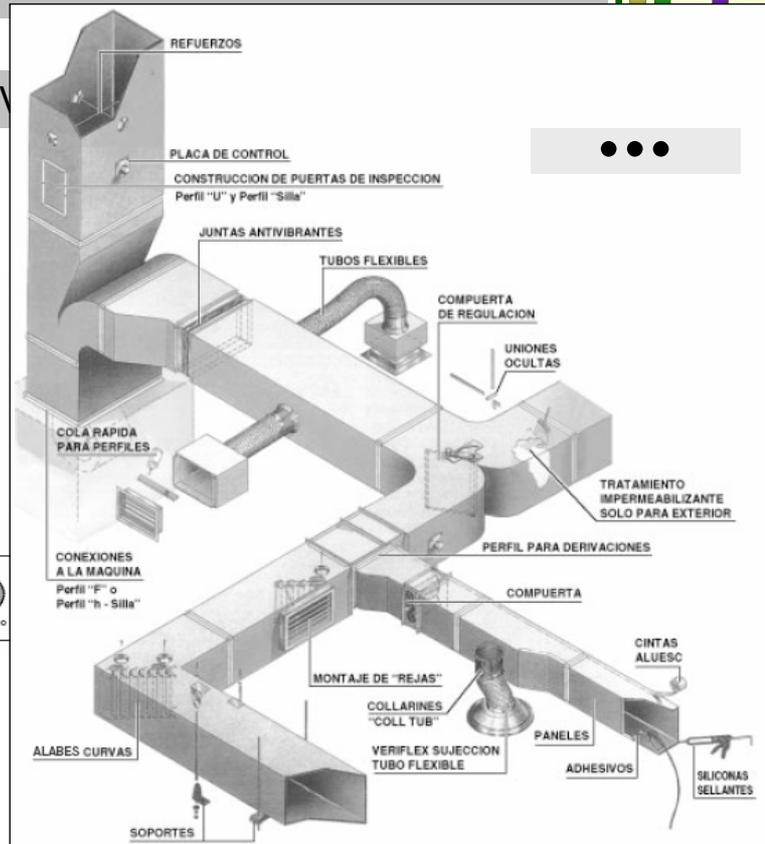
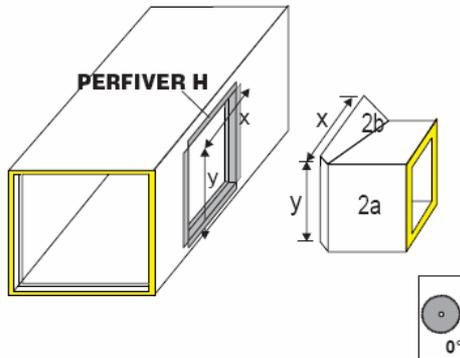
Fabricación de conductos de lana de roca o vidrio:





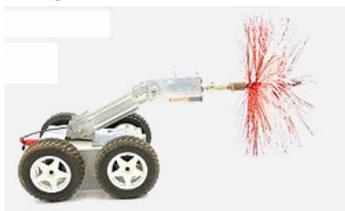
6.- Conductos de Aire (V)

Fabricación de conductos lana de roca o vidrio:



8.- Programas Informáticos (IX)

Limpieza de los conductos:



6.- Conductos de Aire (X)

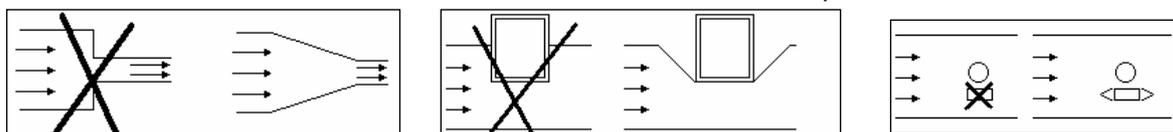
Los **efectos de aumentar la velocidad** del aire:

- Disminución de sección, menor costo inicial en conductos
- Aumento de la pérdidas de carga, mayor gasto anual en electricidad
- Aumento del ruido, con un menor confort

Hay que evitar la transmisión de **ruidos y vibraciones** y han de tener **aislamiento térmico** (pérdidas térmicas y evitar condensaciones)

**Aspectos para el diseño de la red de conductos (I):**

- El número de difusores y rejillas de recirculación, y su posición
- Espacio disponible para los conductos
- Economía del conducto, forma del conducto
- Aspecto decorativo, estética; importante si los conductos van vistos
- Cambios de sección, obstáculos interiores, exteriores, pantallas aerodinámicas



6.- Conductos de Aire (XI)

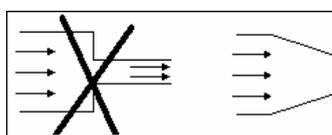
Los **efectos de aumen**

- Disminución de se
- Aumento de la pé
- Aumento del ruido

Hay que evitar la tr  
**aislamiento térmico** (

**Aspectos para el dise**

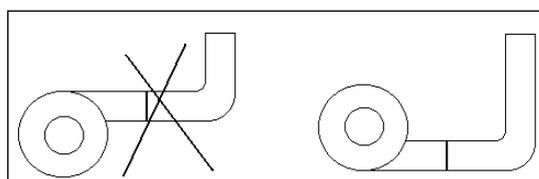
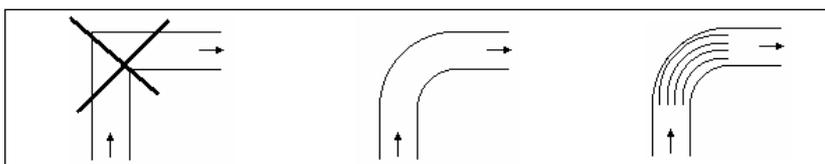
- El número de difu
- Espacio disponibl
- Economía del cor
- Aspecto decorativ
- Cambios de secc



6.- Conductos de Aire (XII)

**Aspectos para el diseño de la red de conductos (II):**

- Sellado de los conductos
- Codos; derivaciones, Tes,, ... deben de se lo menos bruscos posible
- Regulación del caudal; compuertas regulación, conductos equilibrados
- Posición de salida de los ventiladores
- Compuestas cortafuegos; compuertas de acceso, filtros accesibles; uniones flexibles; filtros acústicos y silenciadores; aislamiento térmico

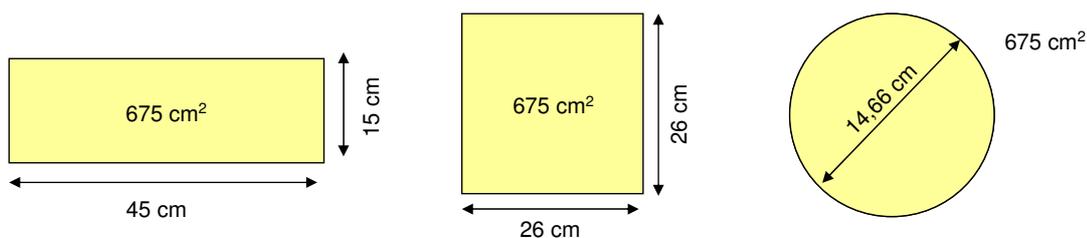


53

6.- Conductos de Aire (XIII)

**Cálculo de la pérdida de carga en los conductos (I)**

*Conducto circular equivalente*



$$D_{eq} = \frac{1,3 (ab)^{5/8}}{(a+b)^{1/4}}$$

donde a y b son los lados del rectángulo

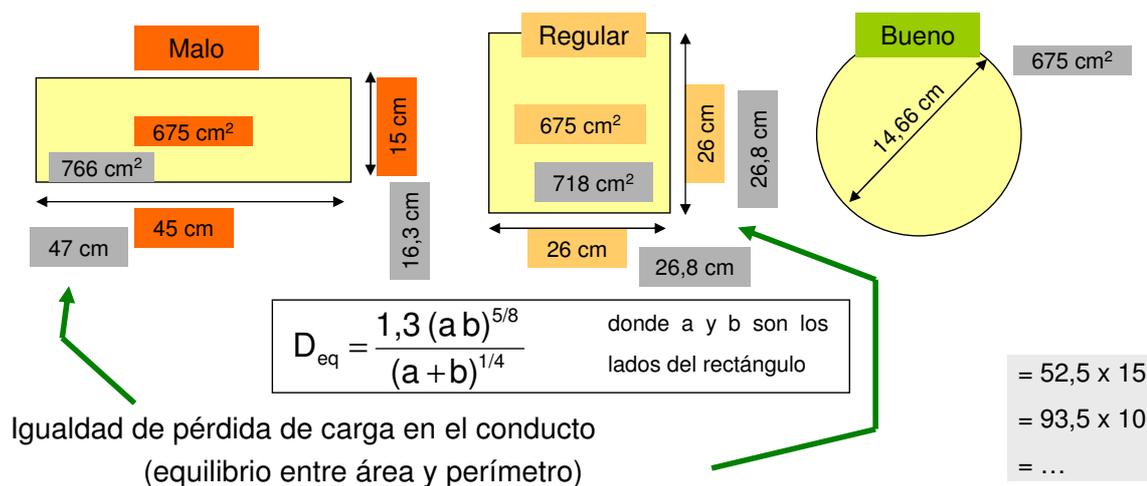
Igualdad de pérdida de carga en el conducto  
(equilibrio entre área y perímetro)

54

6.- Conductos de Aire (XIII)

Cálculo de la pérdida de carga en los conductos (I)

Conducto circular equivalente



6.- Conductos de Aire (XIV)

Cálculo de la pérdida de carga en los conductos (II)

- **Por el rozamiento** del aire: función de la rugosidad del conducto, de la sección, y de la longitud equivalente y del caudal de aire

$$\Delta p = 0,4 * f * \frac{L}{d^{1,22}} * v^{1,82}$$

f = rugosidad del conducto, depende del material  
L = longitud del conducto (m)  
d = diámetro equivalente del conducto (cm)  
v = velocidad del aire (m/seg); [caudal / sección conducto]  
válido para una altitud inferior a 600 m y T<sup>a</sup> aire entre 0 y 50°C

**6.- Conductos de Aire (XIV)**

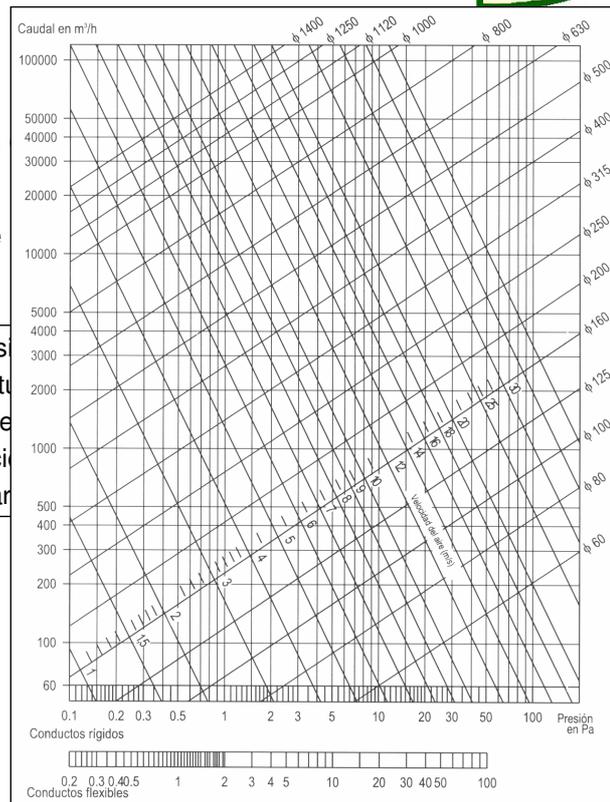
**Cálculo de la pérdida de carga en los**

- **Por el rozamiento** del aire: función de la longitud equivalente y del caudal de aire

$$\Delta p = 0,4 * f * \frac{L}{d^{1,22}} * V^{1,82}$$

f = rugosidad  
L = longitud  
d = diámetro  
v = velocidad  
válido para

**P. Carga Continuas**



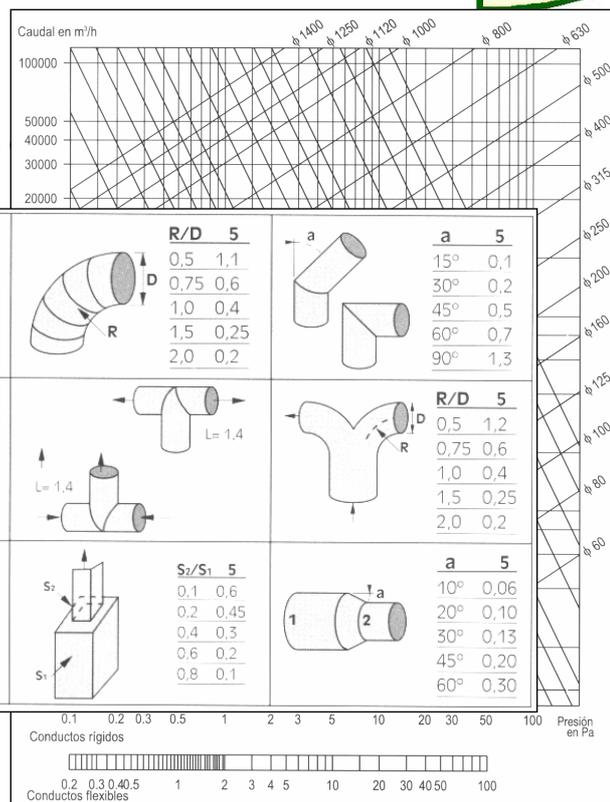
**6.- Conductos de Aire (XIV)**

**Cálculo de la pérdida de carga en los**

- **Por**  
la l

<table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,5</td><td>1,3</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,8</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>1,5</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>0,25</td></tr> </tbody> </table>	R/D	5	0,5	1,3	0,75	0,8	1,0	0,5	1,5	0,3	2,0	0,25	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,5</td><td>0,90</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,45</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,35</td></tr> <tr><td>1,5</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>0,20</td></tr> </tbody> </table>	R/D	5	0,5	0,90	0,75	0,45	1,0	0,35	1,5	0,25	2,0	0,20	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,5</td><td>1,1</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,6</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,4</td></tr> <tr><td>1,5</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>0,2</td></tr> </tbody> </table>	R/D	5	0,5	1,1	0,75	0,6	1,0	0,4	1,5	0,25	2,0	0,2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15°</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>30°</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>45°</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>60°</td><td>0,7</td></tr> <tr><td>90°</td><td>1,3</td></tr> </tbody> </table>	a	5	15°	0,1	30°	0,2	45°	0,5	60°	0,7	90°	1,3										
R/D	5																																																												
0,5	1,3																																																												
0,75	0,8																																																												
1,0	0,5																																																												
1,5	0,3																																																												
2,0	0,25																																																												
R/D	5																																																												
0,5	0,90																																																												
0,75	0,45																																																												
1,0	0,35																																																												
1,5	0,25																																																												
2,0	0,20																																																												
R/D	5																																																												
0,5	1,1																																																												
0,75	0,6																																																												
1,0	0,4																																																												
1,5	0,25																																																												
2,0	0,2																																																												
a	5																																																												
15°	0,1																																																												
30°	0,2																																																												
45°	0,5																																																												
60°	0,7																																																												
90°	1,3																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>b/a</th> <th>0,25</th> <th>0,5</th> <th>1,0</th> <th>4,0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1,3</td><td>1,5</td><td>1,5</td><td>1,4</td></tr> <tr><td>0,5</td><td>1,3</td><td>1,1</td><td>1,0</td><td>1,0</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,4</td><td>0,4</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,4</td><td>0,3</td><td>0,25</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>1,5</td><td>0,2</td><td>0,15</td><td>0,1</td><td>0,1</td></tr> </tbody> </table>	b/a	0,25	0,5	1,0	4,0	0	1,3	1,5	1,5	1,4	0,5	1,3	1,1	1,0	1,0	0,75	0,6	0,5	0,4	0,4	1,0	0,4	0,3	0,25	0,2	1,5	0,2	0,15	0,1	0,1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15°</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>30°</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>45°</td><td>0,7</td></tr> <tr><td>60°</td><td>1,0</td></tr> <tr><td>90°</td><td>1,4</td></tr> </tbody> </table>	a	5	15°	0,1	30°	0,3	45°	0,7	60°	1,0	90°	1,4	<table border="1"> <thead> <tr> <th>L</th> <th>1,4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1,4</td><td>1,4</td></tr> </tbody> </table>	L	1,4	1,4	1,4	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,5</td><td>1,2</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,6</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,4</td></tr> <tr><td>1,5</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>0,2</td></tr> </tbody> </table>	R/D	5	0,5	1,2	0,75	0,6	1,0	0,4	1,5	0,25	2,0	0,2
b/a	0,25	0,5	1,0	4,0																																																									
0	1,3	1,5	1,5	1,4																																																									
0,5	1,3	1,1	1,0	1,0																																																									
0,75	0,6	0,5	0,4	0,4																																																									
1,0	0,4	0,3	0,25	0,2																																																									
1,5	0,2	0,15	0,1	0,1																																																									
a	5																																																												
15°	0,1																																																												
30°	0,3																																																												
45°	0,7																																																												
60°	1,0																																																												
90°	1,4																																																												
L	1,4																																																												
1,4	1,4																																																												
R/D	5																																																												
0,5	1,2																																																												
0,75	0,6																																																												
1,0	0,4																																																												
1,5	0,25																																																												
2,0	0,2																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>R/a</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,5</td><td>1,0</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>1,5</td><td>0,15</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>0,1</td></tr> </tbody> </table>	R/a	5	0,5	1,0	0,75	0,5	1,0	0,25	1,5	0,15	2,0	0,1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>d/D</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,1</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>0,2</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>0,4</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>0,6</td><td>2,3</td></tr> <tr><td>0,8</td><td>1,9</td></tr> <tr><td>0,9</td><td>1,5</td></tr> </tbody> </table>	d/D	5	0,1	2,5	0,2	2,5	0,4	2,5	0,6	2,3	0,8	1,9	0,9	1,5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S2/S1</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,1</td><td>0,6</td></tr> <tr><td>0,2</td><td>0,45</td></tr> <tr><td>0,4</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>0,6</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>0,8</td><td>0,1</td></tr> </tbody> </table>	S2/S1	5	0,1	0,6	0,2	0,45	0,4	0,3	0,6	0,2	0,8	0,1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10°</td><td>0,06</td></tr> <tr><td>20°</td><td>0,10</td></tr> <tr><td>30°</td><td>0,13</td></tr> <tr><td>45°</td><td>0,20</td></tr> <tr><td>60°</td><td>0,30</td></tr> </tbody> </table>	a	5	10°	0,06	20°	0,10	30°	0,13	45°	0,20	60°	0,30								
R/a	5																																																												
0,5	1,0																																																												
0,75	0,5																																																												
1,0	0,25																																																												
1,5	0,15																																																												
2,0	0,1																																																												
d/D	5																																																												
0,1	2,5																																																												
0,2	2,5																																																												
0,4	2,5																																																												
0,6	2,3																																																												
0,8	1,9																																																												
0,9	1,5																																																												
S2/S1	5																																																												
0,1	0,6																																																												
0,2	0,45																																																												
0,4	0,3																																																												
0,6	0,2																																																												
0,8	0,1																																																												
a	5																																																												
10°	0,06																																																												
20°	0,10																																																												
30°	0,13																																																												
45°	0,20																																																												
60°	0,30																																																												

**P. Carga accidentales**



6.- Conductos de Aire (XV)

**Cálculo de la pérdida de carga en los conductos (III)**

- **Por variación de velocidad:** en los estrechamientos aumenta la velocidad y por tanto se pierde presión, en los ensanchamientos se reduce la velocidad y por tanto se recupera presión

Si  $V_{\text{ventilador (fan)}} < V_{\text{conducto (duct)}}$ : Pérdidas =  $1,1 * \left[ \left( \frac{V_d}{242,4} \right)^2 - \left( \frac{V_f}{242,4} \right)^2 \right]$

Si  $V_{\text{ventilador (fan)}} > V_{\text{conducto (duct)}}$ : Ganancia =  $0,75 * \left[ \left( \frac{V_f}{242,4} \right)^2 - \left( \frac{V_d}{242,4} \right)^2 \right]$

6.- Conductos de Aire (XVI)

**Métodos de Cálculo de Conductos (I)**

- Reducción de velocidad
- Pérdida de carga constante
- Igual pérdida de carga en cada rama
- Recuperación estática
- Optimización, T

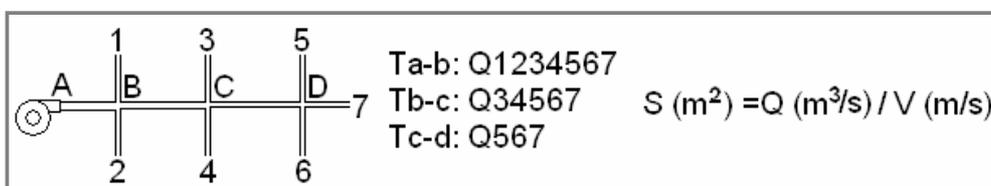
Utilización	Conductos Impulsión		Conductos Retorno	
	C. Principal	C. Derivado	C. Principal	C. Derivado
Residencia	5	3	4	3
Auditorios	6.5	5	5.5	4
Dormitorios	7.5	6	6.5	5
Oficinas	9	7	7	6

6.- Conductos de Aire (XVII)

Métodos de Cálculo de Conductos (II)

• **Reducción de velocidad:** (empleado para sistemas sencillos)

1. Conocidos los caudales de cada tramo se realiza el trazado de los conductos
2. Se elige la velocidad del conducto principal, *tablas*, y con el gráfico se dimensiona el conducto y se obtiene la pérdida de carga unitaria
3. Para los siguientes tramos se va reduciendo la velocidad, *tablas*, y con los caudales y la velocidad se va repitiendo el proceso para el primer tramo
4. El ventilador debe poseer la presión suficiente para suministrar la necesitada en el conducto más desfavorable
5. Para que el sistema esté equilibrado se deberá de cumplir que las presión al final de todos los conductos sea la misma; **hay que equilibrar los conductos** añadiendo en alguno de ellos pérdidas de carga adicionales



61

6.- Conductos de Aire (XVIII)

Métodos de Cálculo de Conductos (III)

• **Pérdida de carga cte** (+ / – 0,1 mm.c.a/m)

1. Con el caudal y la pérdida de carga se obtienen en el gráfico la velocidad del conducto principal y la sección del conducto circular equivalente
2. Se dimensiona el conducto principal rectangular equivalente al circular
3. Finalmente se selecciona el ventilador; hay que equilibrar los conductos
4. Cuando se realiza una derivación el área que debe tener cada uno de los dos conductos derivados se expresa como porcentaje del conducto del que derivan, *tablas*
5. Se **requiere equilibrar los conductos**, ofrece mejores resultados que el método anterior

% Caudal	% Area Conducto
1	2
5	9
10	16,5

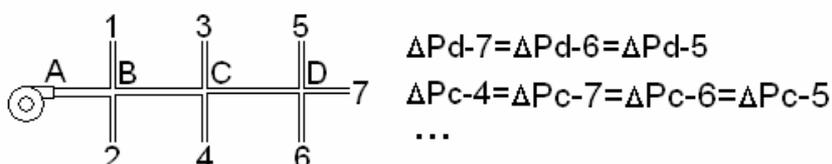
% Caudal	% Area Conducto
35	43
40	48
45	53

62

6.- Conductos de Aire (XIX)

Métodos de Cálculo de Conductos (IV)

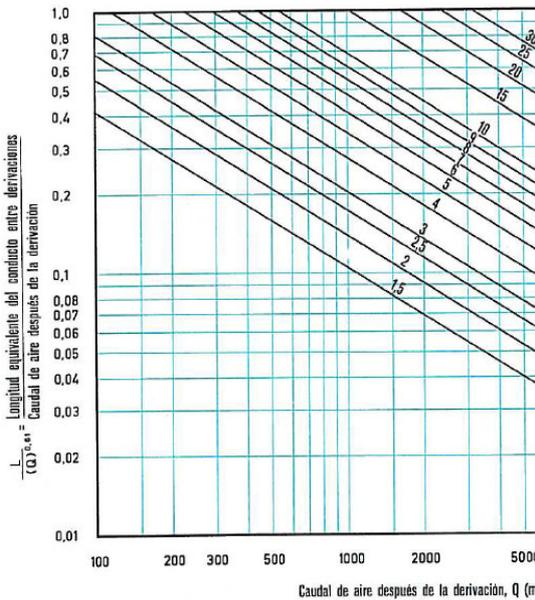
- **Igualdad de pérdida de carga en cada rama:** la misma presión en cada boca
  1. Se fija la pérdida de carga lineal en la rama más larga (long eq.), se resuelve como en el caso anterior y se selecciona el ventilador
  2. Se coge la siguiente rama más larga y se calcula la pérdida por metro lineal en "el resto" del conducto, y se dimensiona como en el caso anterior
  3. Resultan conductos equilibrados, pero las velocidades pueden ser excesivas, lo que puede obligar a recalcular la red



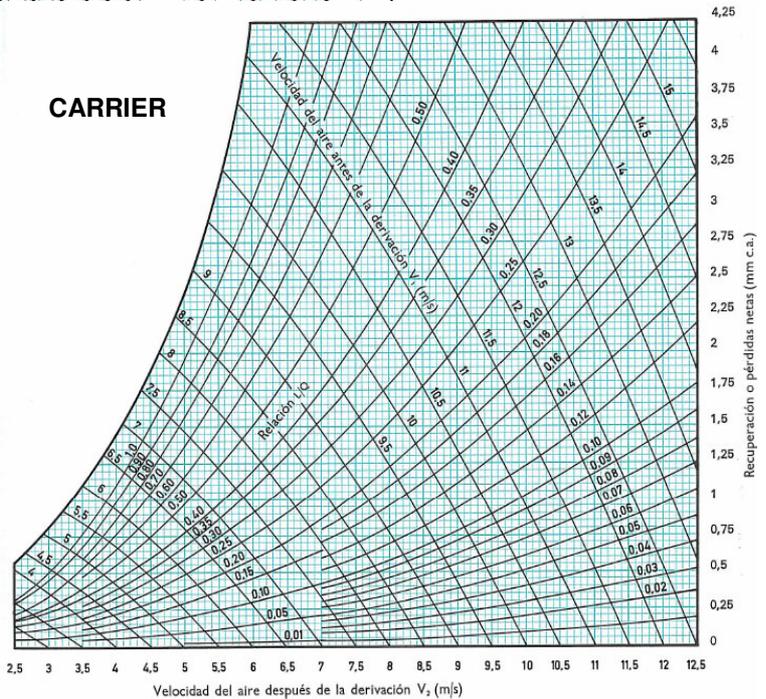
6.- Conductos de Aire (XX)

Métodos de Cálculo de Conductos (V)

- **Recuperación estática:** la misma presión en cada boca; compensa la pérdida continua con recuperación por pérdida de velocidad
  1. Conocido el caudal de aire, se selecciona la velocidad del conducto principal o la pérdida de carga lineal, y se dimensiona con el gráfico hasta la primera derivación.
  2. Se dimensionan todas las derivaciones para que la recuperación estática sea igual a la pérdida de carga por lo que en la práctica se realiza apoyándose en gráficas
    - a) Existe un gráfico para con el caudal de aire obtener la relación L/Q
    - b) En un segundo gráfico con la relación L/Q y la velocidad antes de la derivación,  $V_1$ , se obtiene la velocidad después de la derivación,  $V_2$
    - c) Con  $V_2$  y el Q se determina la sección circular del conducto equivalente y con esta se dimensiona el conducto rectangular
    - d) El ventilador se selecciona por el conducto más desfavorable
  3. Resultan conductos equilibrados y; de mayores dimensiones  $\Rightarrow$  ventilador menor (mayor coste de instalación, menor coste de explotación)



### CARRIER



- b) En un segundo gráfico con  $V_2$  y el  $Q$  se determina la velocidad después de la derivación.
  - c) Con  $V_2$  y el  $Q$  se determina la longitud equivalente de conducto entre derivaciones.
  - d) El ventilador se selecciona por su capacidad de flujo y presión.
3. Resultan conductos equilibrados (mayor coste de instalación, menor coste de funcionamiento).



## T10.- DISTRIBUCIÓN DE AIRE



### 6.- Conductos de Aire (XXI)

#### Métodos de Cálculo de Conductos (VI)

- **Optimizado, T:** dimensiona simultáneamente los conductos y el ventilador con una función de coste; requiere software específico
  1. Hay que obtener una función de coste de instalación y funcionamiento (difícil)
  2. Se reduce la red a un conducto "equivalente", cuyas dimensiones se optimizan; finalmente se "rehace" la red
  3. Método de buenos resultados pero cálculos muy complejos
  4. Puede ser preciso iterar si las velocidades resultantes son elevadas
  5. Resultan conductos equilibrados

Como **resumen final** del cálculo de conductos:

- **Reducción de velocidad** sólo para **conductos de retorno con una única rama**
- **Pérdida de carga cte** es muy empleado por su **sencillez**, (no equilibrado)
- **Igual pérdida de carga**, hay que tener **cuidado con la velocidad**
- **Recuperación estática**, conduce a **conductos equilibrados y mayores**, es aconsejable en alta velocidad
- El **método T** requiere de un **programa informático**

**6.- Conductos de Aire (XXII)**

El RITE marca el nivel mínimo de aislamiento de los conductos

Pérdidas < 4% de la Potencia máxima que transporta

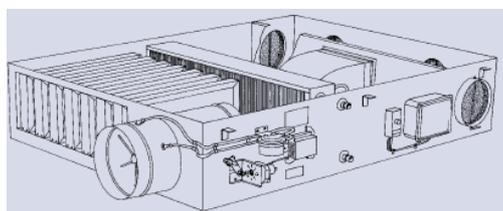
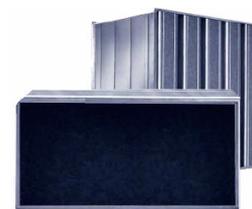
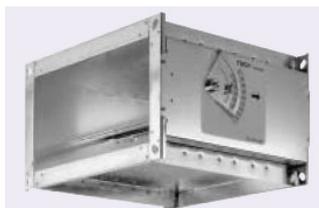
Ha de ser suficiente para evitar condensaciones

Para  $\lambda = 0,040 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$

Espesor (mm)	En interior	En exterior
Aire caliente	20	30
Aire frío	30	50

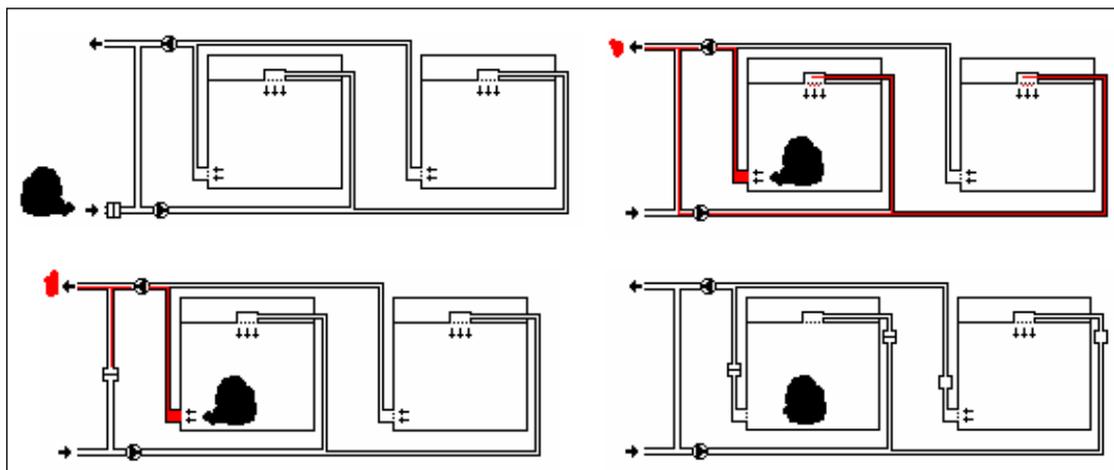
**7.- Elementos Auxiliares (I)**

- Filtros de aire
- Silenciadores o atenuadores acústicos
- Compuertas antiretorno
- Compuertas de regulación
- Cajas de caudal variable
- Compuertas cortafuegos ...



**7.- Elementos Auxiliares (II)**

- Filtros de aire
- Silenciadores o atenuadores acústicos
- Compuertas antiretorno
- Compuertas de regulación
- Cajas de caudal variable
- Compuertas cortafuegos ...



**7.- Elementos Auxiliares (III)**

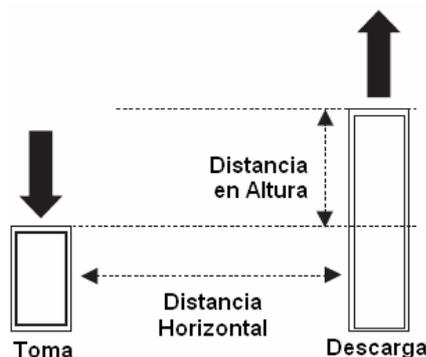
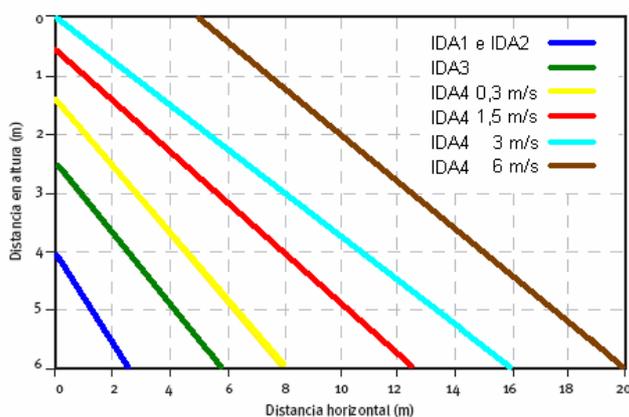
El RITE marca la máxima pérdida de carga en componentes

Baterías de calentamiento	40 Pa
Baterías de refrigeración en seco	60 Pa
Baterías de refrigeración y deshumectación	120 Pa
Recuperadores de calor	80 - 120 Pa
Atenuadores acústicos	60 Pa
Unidades terminales de aire	40 Pa
Elementos de difusión de aire	40 - 200 Pa
Rejillas de retorno de aire	20 Pa
Secciones de filtración	Menor que la admitida por el fabricante

**7.- Elementos Auxiliares (IV)**

Tomas y descargas de aire exterior (I):

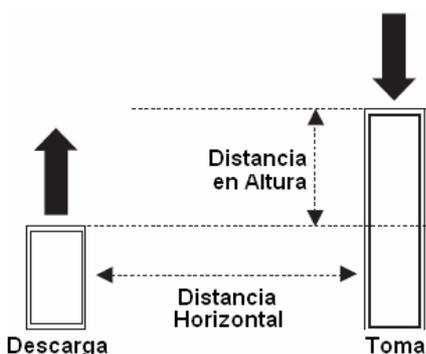
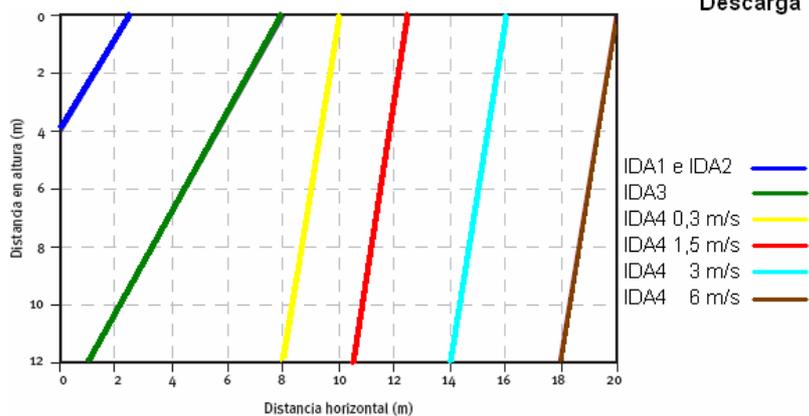
- Descarga por encima



**7.- Elementos Auxiliares (V)**

Tomas y descargas de aire exterior (II):

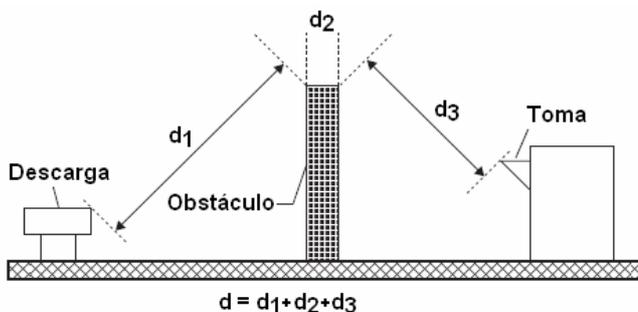
- Toma por encima de la descarga



7.- Elementos Auxiliares (VI)

Tomas y descargas de aire exterior (III):

- Con obstáculos entre tomas o ventanas y descarga de: torres de refrigeración o condensadores evaporativos, así como de chimeneas



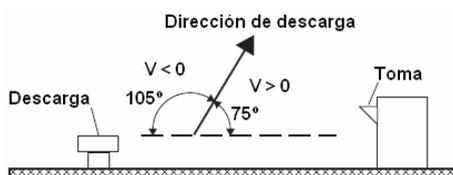
Si descarga más baja que la toma no hay que considerar la dist. vert.

$$d_{\min} = 0,04 \sqrt{C} \left[ \sqrt{50 \pm \frac{V}{2}} \right]$$

C caudal de expulsión (L/s)  
V velocidad de expulsión (m/s)

Válido de 75 a 1.500 L/s

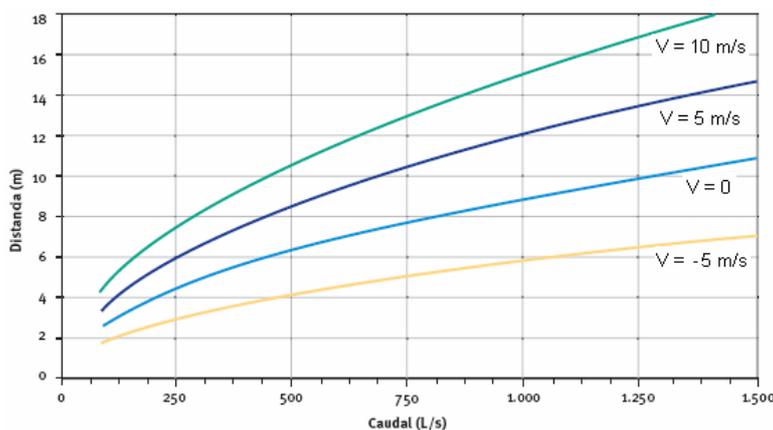
Signo (fig)



7.- Elementos Auxiliares (VII)

Tomas y descargas de aire exterior (III):

- Con obstáculos entre tomas o ventanas y descarga de: torres de refrigeración o condensadores evaporativos, así como de chimeneas



**8.- Programas Informáticos (I)**

**Saunier Duval**

Tipo de conducto

**Materiales**

Conducto:  
ALUMINIO  
CHAPA  
CIRCULAR  
FIBRA + ALUMINIO  
FIBRA DE VIDRIO

Material: ALUMINIO

Espesor: 1 mm

Factor de fricción: 0,9

Solapa: 0 mm

% Desperdicio: 9

Circular

Diámetros: 0

**Zonas**      **Tramos**      **Cálculo**

Inserción de Zonas:  
 Manual  
 Automática

Grupo General:  
Grupo General  
DIA

Verano  
 Invierno  
 Superficie

Actualizar Zonas

NOMBRE	RATIO	CAUDAL
D 1	925	107
D 2	1.106	129
D 3	1.106	129
D 4	2.228	259
SALON COMEDOR	4.531	527

**Zonas y caudales**

Zona  
 Todo

Eliminar

**8.- Programas Informáticos (II)**

Definición de conductos

INICIO	FINAL	LONGITUD	CONDUCTO	CURVAS	ZONA SALIDA	ANCHO	ALTO
1	2	0,5	FIBRA + ALUMINIO	0,0		450	150
2	3	1,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0	ALON COMEDOR	250	150
2	4	3,5	FIBRA + ALUMINIO	0,0		300	150
4	5	2,0	FIBRA + ALUMINIO	2,0	D 4	150	150
4	10	2,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0		200	150
10	6	1,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0	D 3	150	100
10	9	1,0	FIBRA + ALUMINIO	0,0		150	150
9	7	1,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0	D 2	150	100
9	8	3,0	FIBRA + ALUMINIO	1,0	D 1	150	100

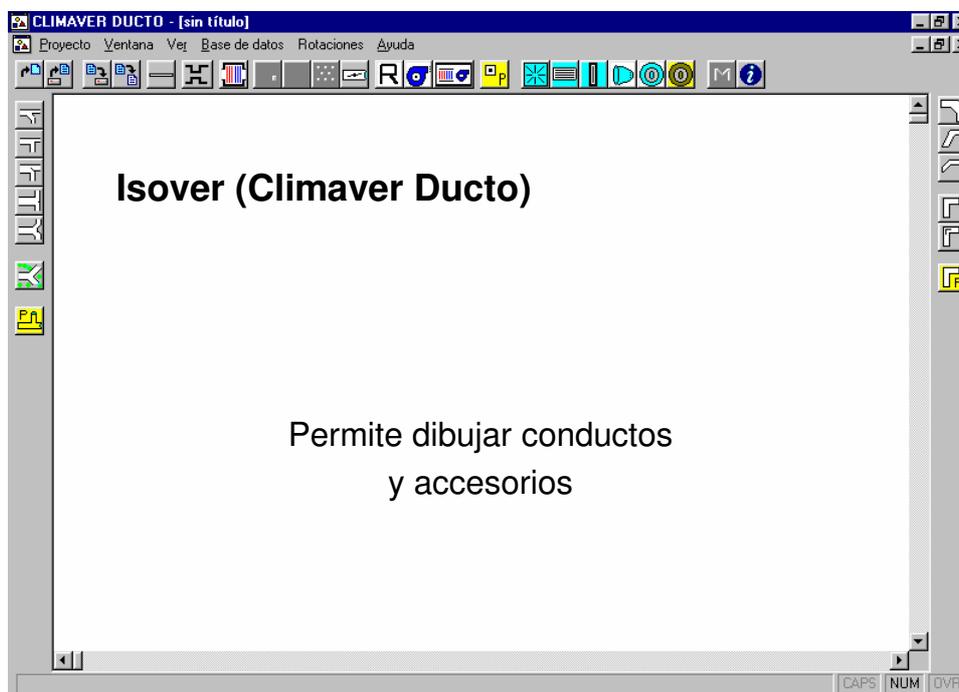
Resultados:  
Caudal: 1.151 m3/h  
V: 5.4 m/s  
P: 0.0716 mmca  
D: 274 mm  
Le: 0.50 m  
Sup: 0.8 m2

Conducto más desfavorable para seleccionar ventilador

Resultados

MATERIALES			MÁXIMA PÉRDIDA					
MATERIAL	Sup/Long (m)	Diametros (mm)	Tramo	Pérdida	Pérdida/m	V <sub>i</sub> (m/s)	V <sub>f</sub> (m/s)	Le (m)
FIBRA + ALUMINIO	15,50		9 - 8	1,19	0,0938	5,4	2,1	12,68

8.- Programas Informáticos (III)



77

Bibliografía del Tema (I)



**Manual de Ventilación  
S&P**

**Comentarios al RITE 2007  
IDAE**



**Cuadernos de Climatización:  
Instalaciones de Conductos  
FERROLI**



**DTIE 5.01 Cálculo de Conductos  
J.M. Pinazo**

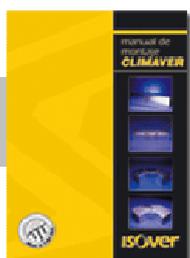
78

Bibliografía del Tema (II)



**Manual de Aplicación de Vigas Frías  
REHVA**

**Difusión de aire por Desplazamiento  
REHVA**



**Manual de Montaje  
CLIMAVER**

**Manual para la Construcción de Conductos  
PRODUCTAL**



Bibliografía del Tema (III)



**AirFlowControl  
TROX**

- Revistas nacionales:**
- El Instalador
  - Montajes e Instalaciones



<http://www.sodeca.com/>  
<http://www.soler-palau.com/>

<http://www.isover.net>

<http://www.airflow.es/>  
<http://www.airtechnics.com/>  
<http://www.madel.com/>  
<http://www.trox.es/es/>

<http://www.salvadorescodas.com/>