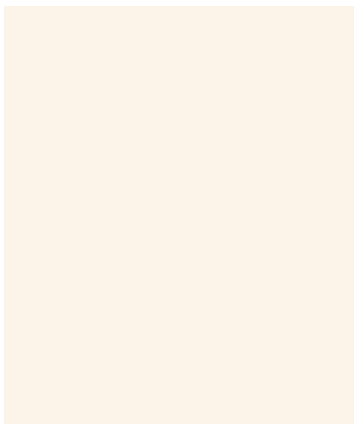
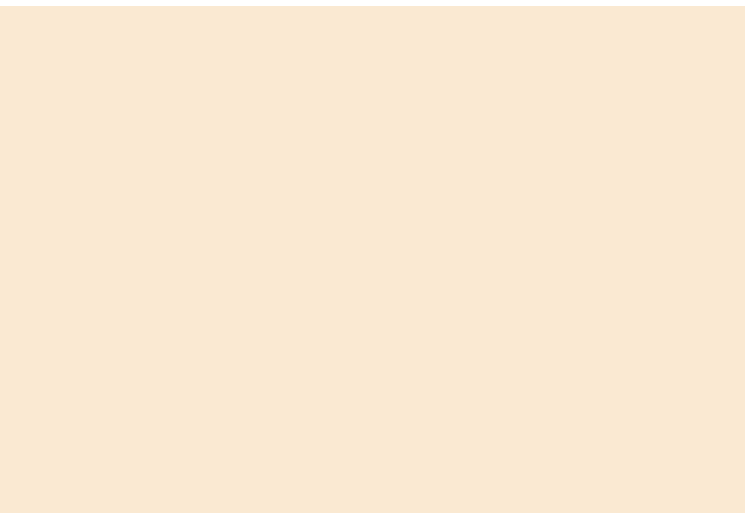
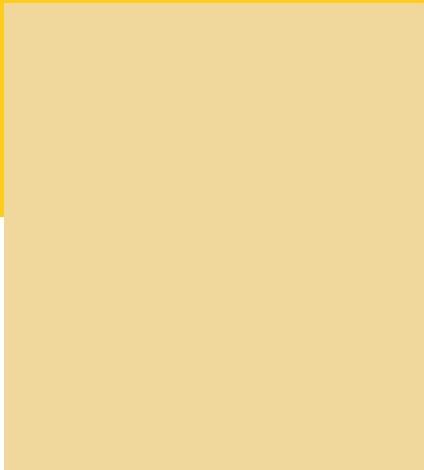


6. pérdidas de carga en conductos climaver





EL AIRE QUE CIRCULA POR LA RED DE CONDUCTOS, RECIBE LA ENERGÍA de impulsión (aspiración) por medio de un ventilador. Esta energía debe ser suficiente para que el aire sea distribuido a todos los locales a acondicionar, en las condiciones previstas de caudal, temperatura y velocidad, según las condiciones de diseño.

El problema reside en el diseño correcto de las dimensiones de los conductos, para que circule por ellos el caudal previsto, y para que la energía total del aire sea capaz de vencer de manera equilibrada las inevitables pérdidas que se producen en todo proceso de flujo dinámico en conductos.

Estas pérdidas son de dos tipos:

- Pérdidas por rozamiento, debido a la viscosidad del fluido. Dependen de la geometría, la rugosidad interna de los conductos y el régimen de movimiento del aire.
- Pérdidas dinámicas, causadas por las perturbaciones de velocidad, por cambios direccionales o por variaciones bruscas de la temperatura.

A lo largo de este capítulo, se tratará de establecer tanto el método de cálculo como la valoración de estas pérdidas.

6.1. Presiones estática, dinámica y total

Conceptos

La energía suministrada por el sistema de impulsión (aspiración) se establece en forma de presiones, mediante dos componentes:

- a) La presión estática, P_s , que es la consecuencia de la compresión del fluido dentro del conducto. Se mide por exceso (o defecto) sobre la presión atmosférica ambiental.

Esta presión es positiva en impulsión y negativa en aspiración.

La presión estática es máxima en el punto de impulsión y decrece a lo largo del conducto por efecto de las pérdidas por fricción, hasta ser prácticamente nula en la salida. Sucede lo mismo en el circuito de aspiración, aunque con valores negativos.

- b) La presión dinámica, P_d , es la componente de energía debido a la velocidad del fluido, y su valor se obtiene mediante la expresión:

$$P_d = \frac{\rho v^2}{2}$$

siendo:

ρ = densidad del aire circulante (kg/m^3)

v = velocidad del aire circulante (m/s)

La presión dinámica siempre es positiva (en el sentido de avance del aire).

Como la masa de aire transportada en la unidad de tiempo es constante a lo largo del conducto, la velocidad varía en cada cambio de sección del conducto, hasta su salida o hasta la distribución del aire en las bifurcaciones.

c) La presión total, P_t , es la resultante de la suma algebraica de $P_s + P_d$.

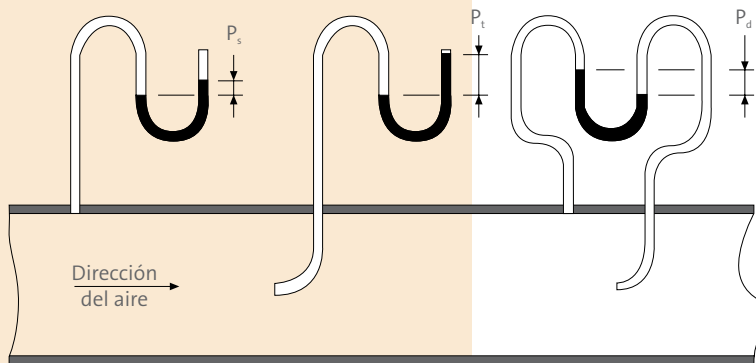
En un conducto de aspiración, la P_t será negativa (depresión), siendo siempre positiva en conductos de impulsión.

Unidades y equipos de medida

La unidad utilizada para medida de presiones en el Sistema Internacional es el Pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$).

Habitualmente, en cálculos relativos a aire acondicionado se utiliza también el milímetro de columna de agua (mm.c.a), cuya equivalencia es: $1 \text{ mm.c.a.} = 9,81 \text{ Pa}$.

Como equipo de medida se utilizan tubos de Pitot, como se indica en la figura.



6.2. Pérdidas de carga

El progreso fluido-dinámico del aire en los conductos provoca dos tipos de pérdidas de carga: pérdidas por rozamiento y pérdidas dinámicas.

a) Pérdidas de carga por rozamiento

Se deben a la viscosidad del fluido, y a las variaciones de dirección y choques de las partículas de aire dentro del régimen de turbulencia, en las condiciones habituales para la climatización.

Las pérdidas se producen a lo largo de toda la extensión lineal del conducto, y se expresan en valores de pérdidas de la presión total por unidad de longitud del conducto considerado: (Pa/m) ó (mm.c.a./m).

El cálculo de pérdidas de carga mediante formulación es complicado, ya que depende de un número de factores considerable en forma de ecuaciones exponenciales, establecidas por Darcy-Weisbach

y Colebrook. Únicamente es posible la utilización de estas fórmulas con métodos informáticos, mediante el software adecuado.

Otro método más práctico, si no se dispone de software, es la utilización de Gráficos de Rozamientos, que se establecen para una geometría del conducto, tipo de material (única rugosidad absoluta), y unas condiciones del aire en temperatura y densidad, así como de presión atmosférica (altura).

Las variaciones en las condiciones señaladas en los gráficos necesitan factores de corrección que, aplicándose a los obtenidos directamente de las Gráficas de Rozamiento, darán el valor de pérdida de carga real buscado.

Pérdidas de carga en conductos CLIMAVER Plus R y CLIMAVER Neto

Las experiencias de laboratorio, realizadas sobre montajes reales de diversas secciones, han permitido establecer:

- Las pérdidas de carga reales son prácticamente iguales a las teóricas determinadas por el Gráfico de Rozamiento de ASHRAE para conductos cilíndricos de chapa galvanizada, dentro del campo de velocidades de 0 a 15 m/s para **CLIMAVER Plus R**, y de 0 ó 10 m/s para **CLIMAVER Neto**(*).
- Los codos de dos ángulos de 135°, es decir, aquellos fabricados a partir de tramos rectos, tienen similares o ligeramente inferiores pérdidas de carga que los codos curvos fabricados a partir de **CLIMAVER Plus R** y **CLIMAVER Neto**.

(*) Para conseguir una adecuada atenuación acústica, se recomienda trabajar a baja velocidad en instalaciones de conductos **CLIMAVER Neto**.

En estas condiciones, es posible la utilización directa del gráfico indicado, por lo que se procede del modo siguiente:

- a) Establecer el diámetro del conducto rectangular, con una sección circular que representa la misma pérdida de carga para igual caudal.

Para ello, se utiliza la equivalencia:

$$D_e = 1,3 \frac{(a \cdot b)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}} \text{ (mm)}$$

Siendo a y b los lados del conducto rectangular en mm.

- b) Conocido el caudal (m³/ h) y el valor “De”, se determina la pérdida de carga en el Gráfico de Rozamiento correspondiente a estos conductos.

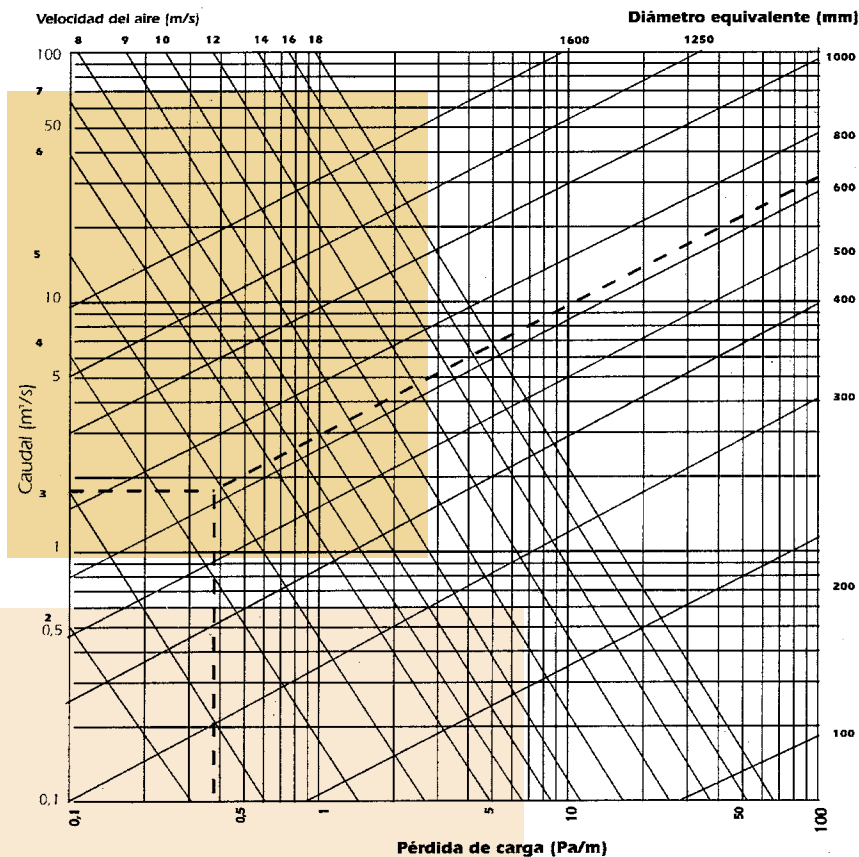
EJEMPLO

Se desea conocer la pérdida de carga a 20 °C y 760 mm.c.a. (101,325 KPa) de un conducto de **CLIMAVER Plus R** de 600x600 mm de sección y considerando un caudal de 1,70 m³/s.

$$D_e = 1,3 \frac{(600 \cdot 600)^{0,625}}{(600 + 600)^{0,25}} = 656,3 \text{ mm}$$

Para este diámetro equivalente y un caudal de 1,7 m³/s, el Gráfico de Rozamiento indica un pérdida de carga de 0,37 Pa/m (0,037 mm.c.a./m).

Gráfico de rozamiento para CLIMAVER PLUS R y CLIMAVER NETO



Pérdidas de carga locales o dinámicas

Corresponden a aquellos puntos o tramos donde el flujo sufre perturbaciones de velocidad por cambios de direcciones o variación de sus valores absolutos.

Estas pérdidas dinámicas, aunque se producen en toda la longitud de un conducto, a efectos prácticos se suponen localizadas en las zonas que afectan al cambio en la velocidad que se ha mencionado, lo que facilita el cálculo de las mismas.

Este cálculo es válido, siempre que se considere que las pérdidas de carga por rozamiento afectan a tramos rectos suficientemente largos (longitudes mayores que 6 diámetros equivalentes). Si el tramo recto entre dos uniones que supongan pérdidas de carga locales, es inferior a esta cantidad, las configuraciones de la corriente no permiten este tipo de cálculo.

Coefficientes para pérdidas locales

Son valores adimensionales que responden a la relación de pérdidas de carga, referidas a la presión total, respecto de la presión dinámica en la sección considerada:

$$C = \frac{\Delta P_t}{P_v}$$

Siendo:

C: Coeficiente de pérdidas (adimensional).

ΔP_t : Pérdida de presión total en la sección considerada (Pa).

P_v : Presión dinámica en la sección considerada (Pa).

Estos coeficientes responden a configuraciones geométricas en las uniones, así como a las características adimensionales de los conductos.

Cuando el flujo de aire cambie de dirección en un conducto, las consideraciones geométricas deben complementarse con otro coeficiente que afecta a las características propias del aire circulante, mediante correcciones debidas al número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds (adimensional).

ρ : Densidad del aire (Kg/m³).

D: Diámetro equivalente del conducto (m).

v: Velocidad del aire (m/s).

μ : Viscosidad del aire (m·Pa/s).

En condiciones normales, aplicables al aire acondicionado:

$$Re = 6,63 \times 10^4 \cdot D \cdot v$$

En estos casos, el coeficiente de pérdidas viene representado por:

$$C = C' \cdot K_{Re}$$

Siendo:

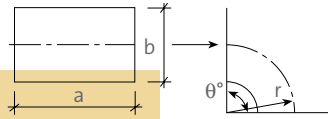
C': Coeficiente de pérdidas por características geométricas (adimensional).

K_{Re} : Coeficiente de pérdidas por flujo (adimensional).

Valores de los Coeficientes de Pérdidas Locales en Conductos CLIMAVER

Se indican a continuación los coeficientes C para algunas de las condiciones geométricas más usuales en los conductos de la gama **CLIMAVER**. Para el producto **CLIMAVER Plus R** o **CLIMAVER Neto**, los coeficientes C son equivalentes a los valores de la chapa galvanizada y pueden obtenerse a partir de los valores reflejados en el "Manual Fundamentals" de ASHRAE.

Codo con radio uniforme y sección rectangular



a) Codo a 90°

$$C = C' \cdot K_{Re}$$

siendo:

Valores de C'											
a/b	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
r/b											
0,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	0,98	0,92	0,89	0,85	0,83
0,75	0,57	0,52	0,48	0,44	0,40	0,39	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44
1,0	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,18	0,19	0,20	0,27	0,21
1,5	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
2,0	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15

Valores de K _{Re}									
Re · 10 ⁻⁴	1	2	3	4	6	8	10	14	20
r/b									
0,5	1,40	1,26	1,19	1,14	1,09	1,06	1,04	1,0	1,0
≥0,75	2,0	1,77	1,64	1,56	0,46	1,38	1,30	1,15	1,0

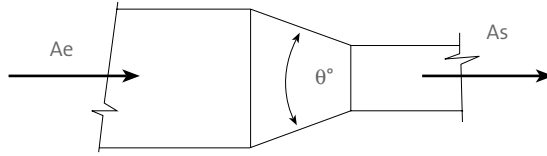
b) Codo a θ°

$$C = C' \cdot K_{Re} \cdot K_{\theta}$$

Nota: C' y K_{Re} corresponden a los valores indicados en a).

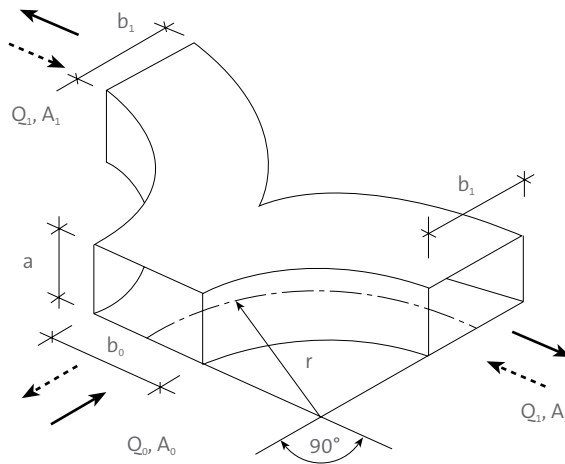
Valores de K _θ										
θ°	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K _θ	0,31	0,45	0,60	0,78	0,90	1,00	1,13	1,20	1,28	1,40

Reducción y sección rectangular



Valores de C							
θ°	10	15-40	50-60	90	120	150	180
Ae/As							
2	0,05	0,05	0,06	0,12	0,18	0,24	0,26
4	0,05	0,04	0,07	0,17	0,27	0,35	0,41
6	0,05	0,04	0,07	0,18	0,28	0,36	0,42
10	0,05	0,05	0,08	0,19	0,29	0,37	0,43

Y simétrica y sección rectangular

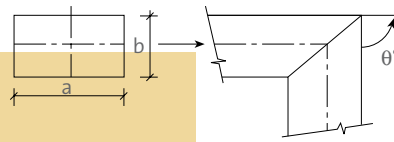


Nota: sólo para $r/b_0 = 1,5$

$$Q_1 = Q_0/s$$

Valores de C		
A_1/A_0	0,5	1'
Flujo		
Convergente	0,23	0,07
Divergente	0,3	0,25

Codo a bisel y sección rectangular



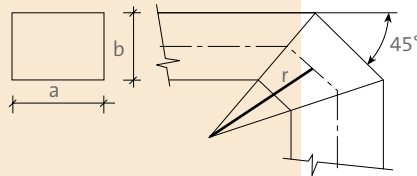
$$C = C' \cdot K_{Re}$$

siendo:

Valores de C'											
a/b	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
θ°											
20	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
30	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
45	0,38	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24
60	0,60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43	0,41	0,39	0,38
75	0,89	0,87	0,84	0,81	0,77	0,73	0,67	0,63	0,61	0,58	0,57
90	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	0,98	0,92	0,89	0,85	0,83

Valores de K _{Re}									
Re · 10 ⁻⁴	1	2	3	4	6	8	10	≥14	
K _{re}	1,40	1,26	1,19	1,14	1,09	1,06	1,04	1,0	

Codo 90° (achaflanado 45°) y sección rectangular



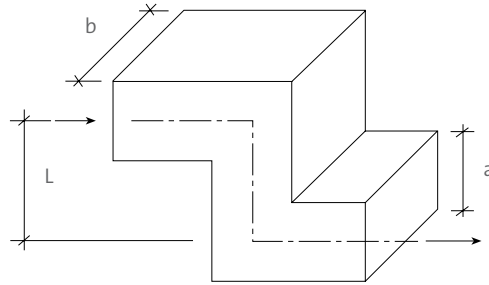
$$C = C' \cdot K_{Re}$$

siendo:

Valores de C'							
a/b	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3
r/b							
0,5	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	0,98
0,75	0,9	0,85	0,78	0,72	0,65	0,64	0,64
1	0,49	0,47	0,44	0,40	0,36	0,34	0,34
1,5	0,47	0,45	0,43	0,39	0,34	0,32	0,32
2	0,46	0,45	0,43	0,39	0,34	0,32	0,32

Piezas en Z, codos a 90° y sección rectangular

a) Para $a = b$



$$C = C' \cdot K_{Re}$$

siendo:

Valores de C'											
L/a	0,4	0,6	0,8	1	1,4	1,8	2	2,4	2,8	3,2	4
C'	0,62	0,9	1,6	2,6	4	4,2	4,2	3,7	3,3	3,2	3,1

Nota: Valores de K_{Re} , iguales a 8.2.2.2.2.

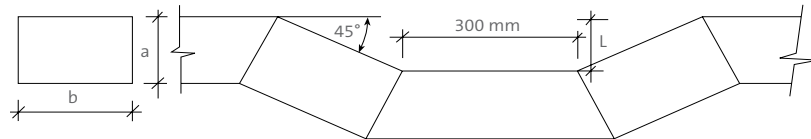
b) Para $a \neq b$

$$C = C' \cdot K_{Re} \cdot K_{Ge}$$

siendo C' y K_{Re} , valores iguales a a) y

Valores de K_{Ge}									
b/a	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	
K_{Ge}	1,1	1,07	1,04	1	0,95	0,9	0,83	0,78	

Bordeo de obstáculo y sección rectangular

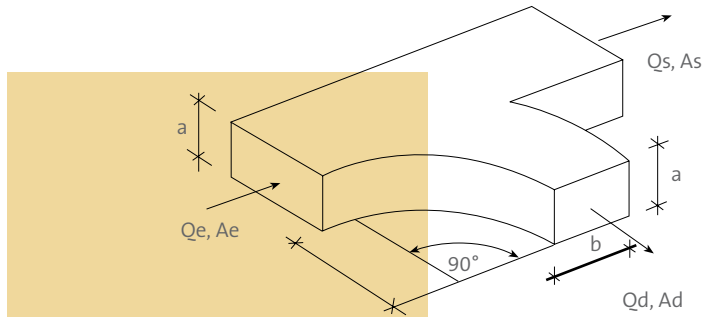


$a/b = 0,5$

$L 1,5 a$

Valores de C					
V (m/s)	4	6	8	10	12
C	0,18	0,22	0,24	0,25	0,26

Derivación con radio y sección rectangular



Nota: sólo para $\theta = 90^\circ$ y $r = b$

Q_e, A_e : caudal y área de entrada.

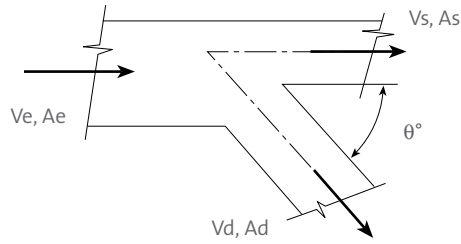
Q_s, A_s : caudal y área de salida (principal).

Q_d, A_d : caudal y área de la derivación.

Valores de C_d (en derivación)										
Q_d/Q_e		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
A_d/A_s	A_d/A_e									
0,25	0,25	0,55	0,50	0,60	0,85	1,2	1,8	3,1	4,4	6,0
0,33	0,25	0,35	0,35	0,50	0,80	1,3	2,0	2,8	3,8	5,0
0,5	0,5	0,62	0,48	0,40	0,40	0,48	0,60	0,78	1,1	1,5
0,67	0,5	0,52	0,40	0,32	0,30	0,34	0,44	0,62	0,92	1,4
1,0	0,5	0,44	0,38	0,38	0,41	0,52	0,68	0,92	1,2	1,6
1,0	1,0	0,67	0,55	0,46	0,37	0,32	0,29	0,29	0,30	0,37
1,33	1,0	0,70	0,60	0,51	0,42	0,34	0,28	0,26	0,26	0,29
2,0	1,0	0,60	0,52	0,43	0,33	0,24	0,17	0,15	0,17	0,21

Valores de C_ξ (en C. principal)										
Q_d/Q_e		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
A_d/A_s	A_d/A_e									
0,25	0,25	-0,01	-0,03	-0,01	0,05	0,13	0,21	0,29	0,38	0,46
0,33	0,25	0,08	0	-0,02	-0,01	0,02	0,08	0,16	0,24	0,34
0,5	0,5	-0,03	-0,06	-0,05	0	0,06	0,12	0,19	0,27	0,35
0,67	0,5	0,04	-0,02	-0,04	-0,03	-0,01	0,04	0,12	0,23	0,37
1,0	0,5	0,72	0,48	0,28	0,13	0,05	0,04	0,09	0,18	0,30
1,0	1,0	-0,02	-0,04	-0,04	-0,01	0,06	0,13	0,22	0,30	0,38
1,33	1,0	0,10	0	0,01	-0,03	-0,01	0,03	0,10	0,20	0,30
2,0	1,0	0,62	0,38	0,23	0,13	0,08	0,05	0,06	0,10	0,20

Derivación a bisel y conducto rectangular



Nota: sólo para $15^\circ < \theta < 90^\circ$ y $A_e = A_s + A_d$

V_e, A_e : velocidad y área de entrada.

V_s, A_s : velocidad y área de salida (principal).

V_d, A_d : velocidad y área de la derivación.

Valores de C_d (en derivación)													
V_d/V_e	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
θ°													
15	0,81	0,65	0,51	0,38	0,28	0,20	0,11	0,06	0,14	0,30	0,51	0,76	1,0
30	0,84	0,69	0,56	0,44	0,34	0,26	0,19	0,15	0,15	0,30	0,51	0,76	1,0
45	0,87	0,74	0,63	0,54	0,45	0,38	0,29	0,24	0,23	0,30	0,51	0,76	1,0
60	0,90	0,82	0,79	0,66	0,59	0,53	0,43	0,36	0,33	0,39	0,51	0,76	1,0
90	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Valores de C_s (en cond. principal)							
θ		15-60	90				
V_s/V_e	A_s/A_e	0-1,0	0-0,4	0,5	0,6	0,7	$\geq 0,8$
0		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1		0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
0,2		0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
0,3		0,50	0,50	0,52	0,52	0,50	0,50
0,4		0,36	0,36	0,40	0,38	0,37	0,36
0,5		0,25	0,25	0,30	0,28	0,27	0,25
0,6		0,16	0,16	0,23	0,20	0,18	0,16
0,8		0,04	0,04	0,17	0,10	0,07	0,04
1,0		0	0	0,20	0,10	0,05	0
1,2		0,07	0,07	0,36	0,21	0,14	0,07
1,4		0,39	0,39	0,79	0,59	0,39	—
1,6		0,90	0,90	1,4	1,2	—	—
1,8		1,8	1,8	2,4	—	—	—
2,0		3,2	3,2	4,0	—	—	—

Resumen.

Al diseñar una red de conductos, debe evaluarse la resistencia al paso del aire que ofrece el conducto; y las pérdidas de presión a las que esta resistencia da lugar.

Para la evaluación de las pérdidas de carga, pueden utilizarse programas informáticos, o ábacos, o tablas, que relacionan el caudal, sección, velocidad y pérdida de carga, algunos de los cuales se presentan en este manual.

En lo que respecta a los conductos **CLIMAVER**, tanto **CLIMAVER** Plus R como **CLIMAVER** Neto asimilan sus pérdidas de carga a la de conductos metálicos, y, por tanto, pueden utilizarse los gráficos de Ashrae para cálculos.