

Capítulo 2. PROYECTO DE CONDUCTOS DE AIRE

La misión de un sistema de conductos es transmitir el aire desde el aparato acondicionador hasta el espacio que va a ser acondicionado.

Para cumplir esta misión de forma práctica el sistema debe proyectarse dentro de ciertas limitaciones establecidas de antemano relativas al espacio disponible, pérdidas por rozamiento, velocidad, nivel de ruido, pérdidas o ganancias de calor y fugas.

En este capítulo se estudiarán los criterios prácticos de proyecto y se considera también el equilibrio económico entre el precio de compra y los gastos de explotación. Además ofrece al proyectista la forma más recomendable de construir varios tipos de sistemas de conductos.

GENERALIDADES

CLASIFICACIÓN

Los sistemas de conductos de impulsión y de retorno se clasifican atendiendo a la velocidad y presión del aire dentro del conducto.

Velocidad

Existen dos tipos de sistemas de transmisión de aire empleados en el acondicionamiento de aire. Los de pequeña velocidad, o sistemas convencionales, y los de gran velocidad. La línea divisoria entre estos dos sistemas es imprecisa, pero para el estudio que vamos a hacer en este capítulo estableceremos la siguiente norma a título de orientación:

1. Acondicionamiento de aire para locales comerciales.
 - a) Baja velocidad: hasta 12 m/s. Normalmente entre 6 y 12 m/s.
 - b) Alta velocidad: más de 12 m/s.
2. Acondicionamiento de aire para locales industriales.
 - a) Baja velocidad: hasta 12 m/s. Normalmente entre 11 y 12 m/s.
 - b) Alta velocidad: de 12 a 15 m/s.

Normalmente, los sistemas de retorno de aire, tanto para baja como para alta velocidad de impulsión, se proyectan siempre como sistemas de pequeña velocidad. En aplicaciones comerciales e industriales, las velocidades empleadas en estos sistemas de retorno son:

1. Acondicionamiento de aire para locales comerciales: baja velocidad (hasta 10 m/s). Normalmente entre 8 y 10 m/s.
2. Acondicionamiento de aire para locales industriales: baja velocidad (hasta 12 m/s). Normalmente entre 10 y 12 m/s.

Presión

Los sistemas de distribución de aire se dividen en tres categorías en cuanto a la presión del aire en el conducto: Baja, media y alta presión. Esta clasificación corresponde a la misma que utilizan los ventiladores, que clasificamos como clase I, clase II y clase III, en la forma siguiente:

1. Baja presión, o clase I — hasta 90 mm c.a.
2. Media presión, o clase II — desde 90 mm hasta 180 mm c.a.
3. Alta presión, o clase III — desde 180 mm hasta 300 mm c.a.

Las presiones indicadas son presiones totales, incluyendo las pérdidas de carga dentro del equipo acondicionador, conductos y bocas de impulsión.

ESPACIO DISPONIBLE Y ASPECTO DECORATIVO

Tanto el espacio disponible para los conductos de impulsión y de retorno, como el aspecto decorativo, presentan con frecuencia limitaciones que obligan a adoptar un determinado sistema en los conductos. En los hoteles y locales de oficinas, donde el espacio es tan importante, la solución más práctica será la de un sistema de alta velocidad para unidades de inducción, empleando pequeños conductos circulares.

En algunos casos el conducto tiene que ser visible (expuesto) y estar adosado al techo, como ocurre en locales de venta u oficinas construidas de antemano. En estos casos lo más adecuado son los conductos rectangulares de líneas aerodinámicas. Este tipo de conductos se construye de forma que presente exteriormente un aspecto uniforme, mientras las uniones de los conductos se realizan por el interior del mismo. El conducto se construye con un mínimo de reducciones en su sección para mantener un aspecto exterior agradable, en forma de haz.

La colocación y el aspecto exterior de los conductos en los locales industriales suele tener importancia secundaria. En tales casos el sistema más económico será probablemente el de conductos rectangulares a pequeña velocidad.

FACTORES ECONÓMICOS QUE INFLUYEN EN EL SISTEMA DE CONDUCTOS

El equilibrio entre los precios de coste y los de explotación es un aspecto que no debe perderse de vista, tanto como el espacio disponible, para establecer un buen sistema de distribución. Como cada instalación es distinta de las demás, sólo pueden darse reglas generales para seleccionar el sistema más adecuado. Los factores que influyen en el precio de compra y gastos de explotación son:

1. Ganancias o pérdidas de calor en el conducto.
2. Relación entre dimensiones del conducto.
3. Pérdidas de carga en el conducto.
4. Clase de acoplamientos.

Ganancias o pérdidas de calor

Tanto las ganancias como las pérdidas de calor en los conductos de impulsión y de retorno pueden ser considerables. Esto ocurre, no solamente cuando el conducto atraviesa un local no acondicionado, sino incluso cuando los conductos son de gran longitud y atraviesan espacios acondicionados. El calor se transmite de fuera a dentro cuando se está refrigerando un local y de dentro a fuera cuando se impulsa aire caliente a través del conducto.

Cuando el conducto atraviesa un espacio no acondicionado debe tenerse en cuenta esta circunstancia al calcular la carga térmica. En la primera parte de este libro ya se ha hecho referencia a este problema y al método de incrementar la carga. El resultado de ello es que, al aumentar las ganancias de calor, se necesita mayor cantidad de aire o menor temperatura de impulsión, e incluso algunas veces ambas cosas.

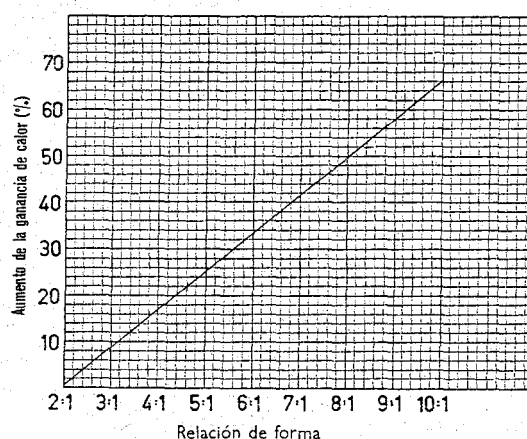
Para compensar el efecto de enfriamiento o calentamiento de la superficie del conducto es

preciso, a veces, hacer una redistribución del aire hacia las bocas de impulsión en el trayecto inicial del sistema de conductos.

Para que el proyectista pueda comprender los distintos factores que influyen en el trazado de los conductos, se exponen las siguientes reglas de carácter general:

1. Cuando la relación entre el lado mayor y el lado menor de la sección del conducto es grande, se tiene más ganancia de calor que cuando es pequeña, para un mismo caudal de aire. El gráfico 3 indica esta relación.

GRÁFICO 3. GANANCIA DE CALOR EN EL CONDUCTO EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE FORMA



2. Los conductos que transportan pequeñas cantidades de aire a baja velocidad tienen mayores ganancias de calor.
3. El aislamiento de los conductos disminuye estas ganancias; por ejemplo, aislando el conducto con un material cuya conductividad térmica sea de $0,6 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ la ganancia de calor disminuye un 90 %.

Por lo tanto es una buena norma proyectar sistemas que tengan secciones rectangulares de conducto con una pequeña relación entre sus dimensiones y grandes velocidades de aire para disminuir al máximo las ganancias de calor en los conductos. Si éstos han de atravesar locales no acondicionados, es imperativo aislarlos.

Relación de forma

Llamaremos relación de forma a la relación entre las dimensiones mayor y menor de la sección de un conducto rectangular. Esta relación es un factor importante a tener en cuenta en el

proyecto inicial. Aumentando esta relación aumenta no solamente el precio de coste sino también los gastos de explotación.

El precio de compra de la instalación de conductos depende de la cantidad de material que se utilice y de la dificultad en la fabricación y colocación del conducto. La tabla 6 refleja estos factores. Esta tabla contiene también la clase de construcción del conducto, área de la sección recta para distintos tamaños de conducto de sección circular y el diámetro del conducto circular equivalente a otro rectangular. Los números grandes de la tabla indican la clase del conducto. Ésta, varía de 1 a 6 y depende de la dimensión mayor y del semiperímetro del conducto tal como indica la siguiente tabla.

Clase del conducto	Dimensión mayor (cm)	Semiperímetro (cm)
1	15-45	25-60
2	30-60	60-120
3	65-100	80-120
4	60-225	120-240
5	120-230	240-450
6	230-370	240-610

La clase del conducto es una representación numérica de su precio de coste. Cuanto mayor es la clase, más caro es el conducto. Si la clase aumenta, pero la sección y capacidad del conducto sigue siendo la misma, esto puede implicar un aumento en:

1. Semiperímetro y superficie de conductos.
2. Peso del material.
3. Espesor del metal.
4. Cantidad de aislamiento necesario.

Por lo tanto, desde el punto de vista económico, debe proyectarse el sistema de conductos de forma que tenga la clase más baja posible y la relación de forma más pequeña. El ejemplo 1 explica las variaciones del precio en función de la relación de forma, para una cantidad de aire y presión estática dadas.

Ejemplo 1. Influencia de la relación de forma en el precio de los conductos

Datos:

Área de la sección recta del conducto: 0,54 m².
Espacio disponible: sin limitación.
Sistema de conductos: de baja velocidad.

Determinar:

Dimensiones del conducto, clase, superficie, peso y espesor necesarios de plancha.

Solución:

1. Entrar en la tabla 6 con 0,54 m² y determinar las dimensiones del conducto rectangular y clase de conducto (ver la tabla que sigue a continuación).
2. Determinar los espesores de plancha en las tablas 14 y 15.
3. Determinar el peso de la plancha en la tabla 18.

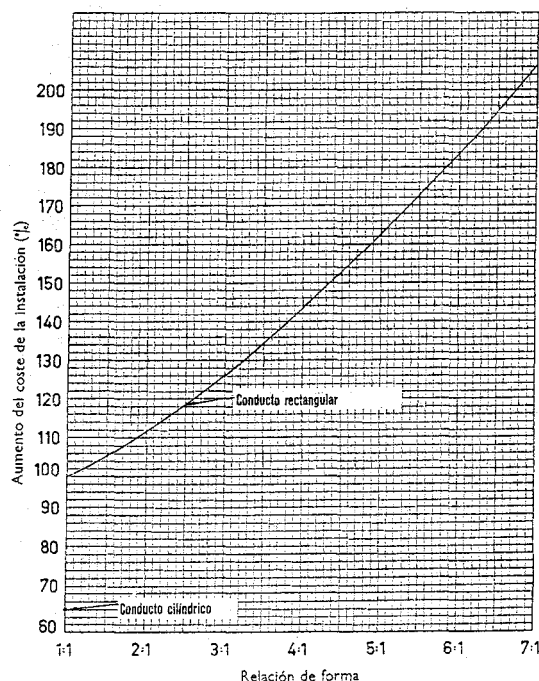
Dimensiones (cm)	Sección (m ²)	Relación de forma	Clase
239 × 30	0,54	7,8 : 1	6
213 × 33	0,54	6,5 : 1	5
193 × 36	0,54	5,4 : 1	4
107 × 56	0,54	1,9 : 1	4
76 × 76	0,54	1 : 1	4
83 (circular)	0,54	—	—

Dimensiones (cm)	Espesor (mm)	Superficie (m ² /m)	Peso (kg/m)
239 × 30	1,30	5,38	56
213 × 33	1,00	5,02	40
193 × 36	1,00	4,58	36,7
107 × 56	0,90	3,26	23,5
76 × 76	0,70	3,04	17
83 (circular)	1,00	2,61	21

Cuando la relación de forma aumenta de 1:1 a 8:1, la superficie de los conductos y el aislamiento aumenta hasta un 70 %, y el peso del metal aumenta 3 veces y media. Este ejemplo indica que también es posible, para una sección dada, construir un conducto de clase 4 con tres espesores distintos de chapa. Por lo tanto, para que el precio de coste sea lo más bajo posible, el sistema de conductos debe proyectarse para la clase más baja, relación de forma más pequeña y espesor de metal recomendado más ligero.

El gráfico 4 indica el porcentaje de aumento de los costes de instalación al variar la relación de

GRÁFICO 4. COSTE DE LA INSTALACIÓN DE UN CONDUCTO EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE FORMA



forma del conducto rectangular. En el mismo gráfico se señala el coste del conducto circular. La curva se ha basado en los precios de instalación de 30 m de conducto rectangular y circular con distintas relaciones de forma, pero igual capacidad de transporte de aire. Como 100 % de coste de la instalación se ha tomado el del conducto rectangular cuya relación de forma es 1:1.

Coefficiente de rozamiento

Cuando las dimensiones de los conductos rectangulares no están determinados según la tabla de equivalentes de sección circular (tabla 6), los costes de explotación de un sistema de distribución de aire pueden ser adversamente afectados. Esta tabla se emplea para obtener dimensiones de conductos rectangulares que tienen la misma capacidad y el mismo coeficiente de rozamiento que el conducto circular equivalente. Por ejemplo: Supongamos que la sección recta de un conducto es de $0,309 \text{ m}^2$ y que las dimensiones del conducto rectangular se deducen de esta tabla. Los datos que siguen a continuación nos indican los diámetros del conducto equivalente y el coeficiente de rozamiento correspondiente cuando circulan $6.800 \text{ m}^3/\text{h}$ en los conductos seleccionados.

Dimensiones del conducto (mm)	Diám. conducto circ. equivalente (mm)	Pérdida unitaria de carga (coeficiente de rozamiento) (mm c.a./30 m)	Relación de forma
600 x 500	607	2,28	1,2 : 1
750 x 400	602	2,41	1,9 : 1
1200 x 250	567	3,17	4,8 : 1
2000 x 150	511	5,33	13,3 : 1

Si la presión estática total que se necesita ha de ser de unos 25 mm c.a. basándose en 30 m de conducto, más el equipo correspondiente, los gastos de explotación aumentan a medida que aumenta la relación de forma, como puede verse en el gráfico 5.

Por este motivo cuando se utiliza el tubo Spiro se obtiene no sólo un precio de coste más bajo, sino también menores gastos de explotación. Si no pudiera usarse el conducto circular por las limitaciones de espacio, deberá usarse el rectangular que más se aproxime al cuadrado. La relación de forma deseable será la 1:1.

Tipos de acoplamientos

En general, los acoplamientos pueden ser de clase A y clase B tal como indica la tabla 3. Cuando se desea un precio de coste bajo es preferible el empleo de los de clase A, puesto que los de

GRÁFICO 5. COSTE DE EXPLOTACIÓN EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE FORMA

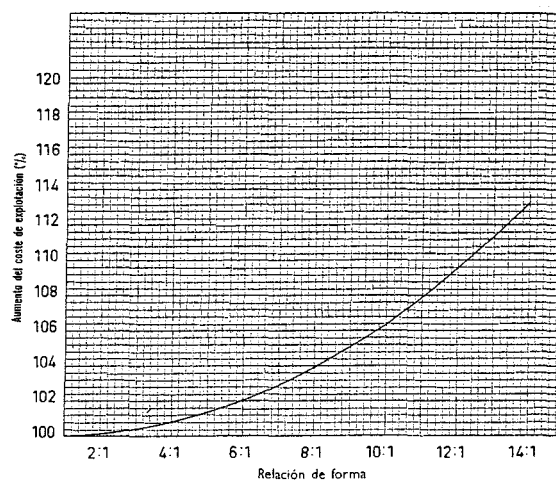


TABLA 3. CLASES DE ACCESORIOS DE CONDUCTO

CLASE A-ACCESORIOS SIN GUÍA	
Cualquier accesorio con dimensiones constantes de sección recta	
Cualquier accesorio con radio variable y anchura constante	
Accesorios con caras rectas y costuras	
CLASE B-TODOS LOS ACCESORIOS CON GUÍA	
Cualquier accesorio de radios concéntricos y anchura variable	
Cualquier accesorio con radios excéntricos y anchura variable	

clase B exigen un tiempo de fabricación que es aproximadamente 2,5 veces el de los de clase A.

CONSIDERACIONES SOBRE EL MONTAJE DE CONDUCTOS

En el tendido de un sistema de conductos han de tenerse en cuenta una serie de factores antes de dimensionarlos. Éstos son: las transformacio-

nes, codos, acoplamientos, derivaciones, condensación de agua y control del aire.

Transformaciones

Se emplean las transformaciones para unir dos conductos de diferente forma o sección recta. Cuando se modifica la forma del conducto rectangular, permaneciendo igual su sección recta, se

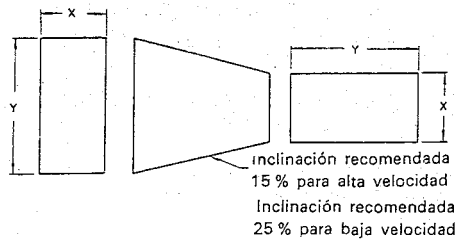
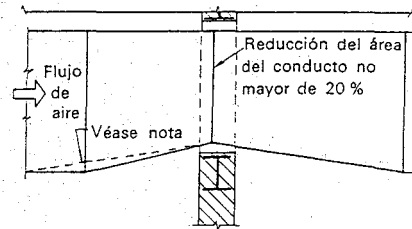


FIG. 19. Transformación de conducto

recomienda una pendiente de 15% para las piezas laterales de la transformación, como se puede ver en la figura 19. Si esta pendiente no pudiera realizarse, no deberá sobrepasarse un máximo de 25%.

Con frecuencia debe reducirse el tamaño de los conductos para salvar un obstáculo; en este caso es una buena norma no reducir su sección más

de un 20%. La pendiente más recomendable para reducir la sección del conducto es la de 15%. Cuando sea imposible llegar a este valor, puede aumentarse la inclinación hasta un máximo de 25%. Si la sección del conducto aumentase, la pendiente de la transformación no debe pasar de 15%. La figura 20 presenta la transformación

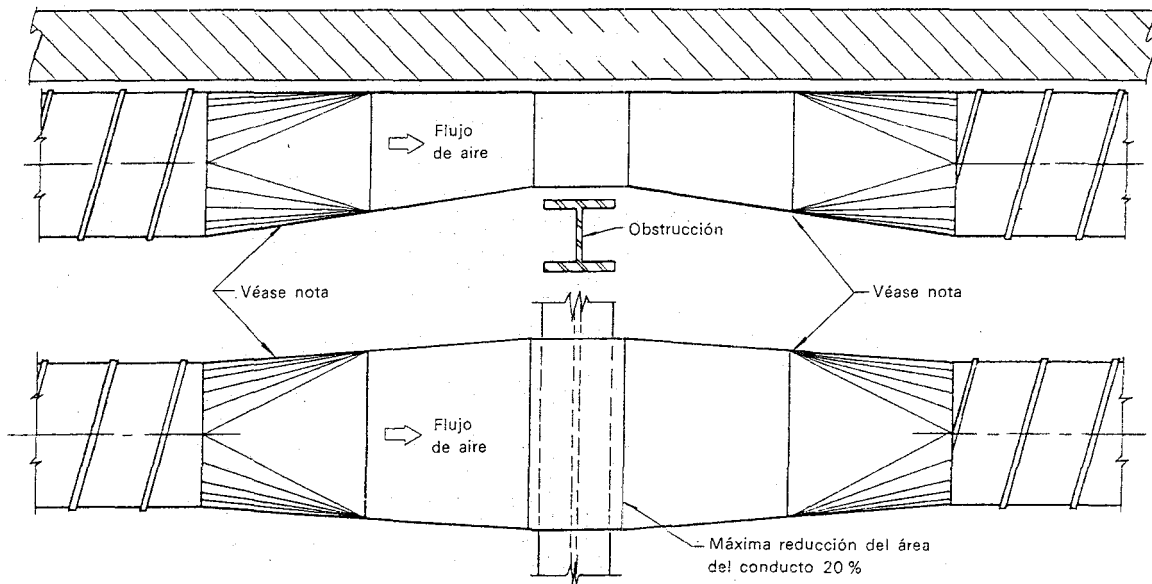


Nota: Pendiente recomendada de 15% para alta velocidad
Pendiente de 25% para baja velocidad

FIG. 20. Transformación de conducto rectangular para evitar obstrucciones

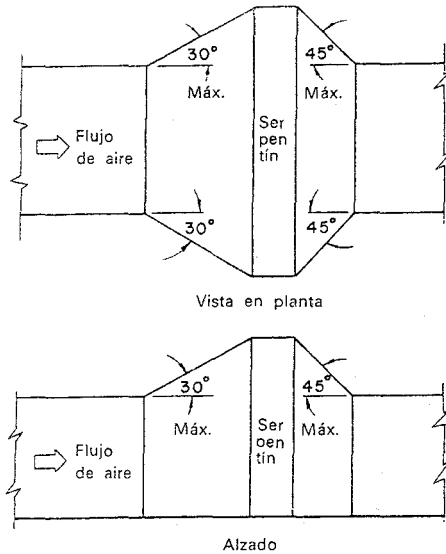
de un conducto rectangular para evitar un obstáculo, y la figura 21 presenta una transformación de conducto circular a rectangular al objeto de salvar un obstáculo.

En algunos sistemas de distribución de aire se colocan en el interior del conducto algunos elementos, tales como baterías de calefacción.



Nota: Pendiente de 15% para alta velocidad, pendiente de 25% para baja velocidad.

FIG. 21. Transformación de conducto redondo para evitar obstrucciones



Nota: Los ángulos indicados son para bajas velocidades. Para altas velocidades se recomienda una inclinación de 15%.

FIG. 22. Transformación de conducto con equipo en el mismo

Normalmente, las dimensiones de estos elementos son mayores que las del conducto y, en consecuencia, debe aumentarse su sección. En tales casos la transformación situada antes del elemento, en el sentido de la corriente, debe tener una limitación de 30°, mientras que la que está situada a continuación del elemento no debe superar los 45°, como indica la figura 22.

Reducción de dimensiones de los conductos

Los métodos normalmente empleados en el cálculo de conductos, exigen una reducción después de cada boca de impulsión y de cada derivación. No obstante, si esta reducción es inferior a 5 cm, no es conveniente modificar la sección primitiva del conducto porque pueden reducirse los gastos de instalación hasta un 25 % aprovechando la misma sección de conducto para distintas salidas de aire.

Las dimensiones de los conductos deben reducirse de 5 en 5 cm, preferentemente en una sola dimensión y el tamaño mínimo recomendable para conductos prefabricados es de 20 por 25 centímetros.

Obstáculos

Las tuberías, conducciones eléctricas, elementos estructurales y otros obstáculos, deben evitarse siempre en el interior de los conductos, espe-

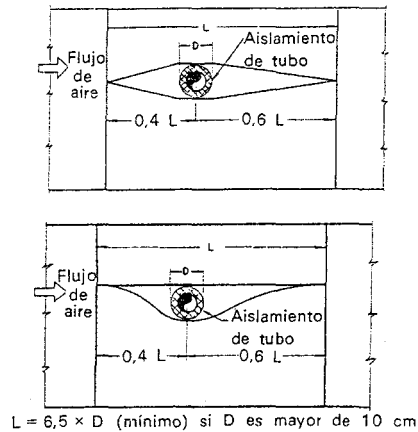


FIG. 23. Transiciones para cubrir obstrucciones

cialmente en los codos y las T. En los conductos de gran velocidad deben evitarse toda clase de obstáculos. Estos originan unas pérdidas de carga innecesarias y, en los sistemas de alta velocidad, pueden ser fuente de ruidos en la corriente de aire.

En aquellos casos en que forzosamente dichos obstáculos deban atravesar un conducto, deberán tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Cubrir todas las tuberías y obstáculos circulares de diámetro mayor que 10 cm con una cubierta de forma aerodinámica. En la figura 23 se ven dos casos típicos de cubiertas.
2. También deben protegerse con una cubierta todas las formas planas o irregulares cuya anchura supere los 8 cm. Todos los soportes o apoyos en el interior del conducto deben ser paralelos a la corriente de aire. Cuando esto no sea posible, deben protegerse con una cubierta. La figura 24 presenta una cubierta en forma de ala de avión protegiendo un perfil angular. El soporte «B» necesita una cubierta.
3. Si la cubierta obstruye el 20 % de la sección del conducto, éste debe transformarse o dividirse en dos conductos. Tanto si se divide como si se transforma, debe mantenerse el área de la sección recta. La figura 25 indica la transformación y bifurcación de un conducto para acomodarse al obstáculo. En el segundo caso, la misma bifurcación del conducto actúa de cubierta, y en ambos casos se tendrán en cuenta las recomendaciones que se han hecho para las transformaciones.

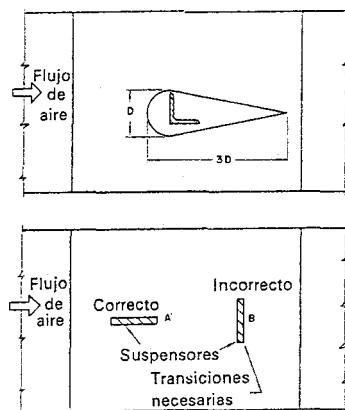


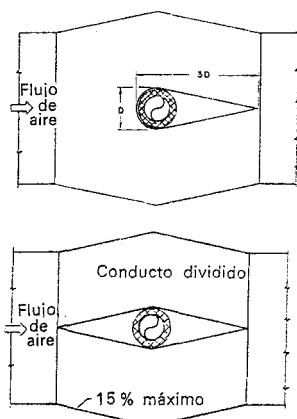
FIG. 24. Transiciones para cubrir formas irregulares

4. Si un obstáculo presenta dificultades sólo en la esquina de un conducto, se transforma esta parte para evitar el obstáculo, teniendo en cuenta que la reducción no sobrepase el 20 % del área de la sección primitiva.

Codos

En los conductos circulares y rectangulares pueden establecerse distintos tipos de codos. Los más comunes son los siguientes:

- | Conducto rectangular | Conducto circular |
|--|--------------------------|
| 1. Codo ordinario | 1. Codo suave |
| 2. Codo reducido con aletas directrices. | 2. Codo de tres piezas. |
| 3. Codo recto con aletas. | 3. Codo de cinco piezas. |



Nota: Pendiente de 15 % para alta velocidad.
Pendiente de 25 % para baja velocidad

FIG. 25. Conducto transformado para transmisiones

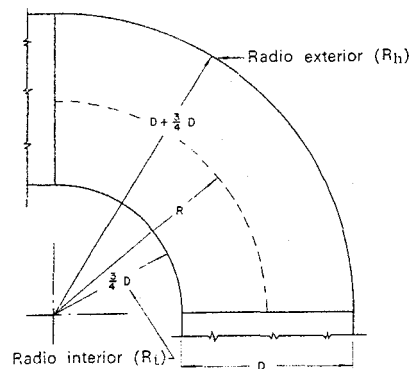


FIG. 26. Codo de sección rectangular

Los codos se han enumerado por orden de su mínimo coste. Este orden no indica necesariamente que también sea mínima la pérdida de carga o caída de presión en el codo. Las tablas 9 a 12 dan las pérdidas de carga que corresponden a varios codos rectangulares y circulares.

Los codos ordinarios (fig. 26) se construyen con el radio menor igual a los $\frac{3}{4}$ de la dimensión del conducto en la dirección del giro. Un codo con este radio menor tiene una relación R/D de 1,25. Esta relación se considera óptima.

El codo reducido con aletas directrices es el que se ve en la figura 27. Puede tener una, dos o tres aletas, que se extienden por toda la curvatura del codo, y se sitúan donde indique el gráfico 6. El ejemplo 2 ilustra el empleo del gráfico 6 para determinar la situación de las aletas en el codo de la figura 28.

Ejemplo 2. Situación de las guías en un codo rectangular

Datos:

Codo rectangular de la figura 28.
Radio interno (R_l): 8 cm.

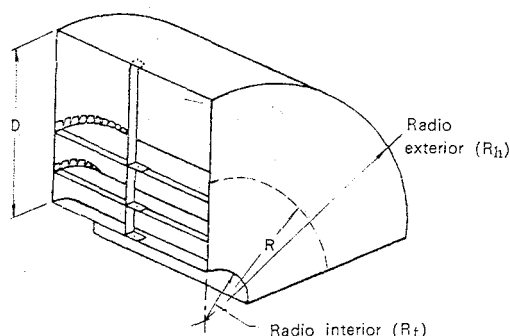


FIG. 27. Codo de radio corto con guías

Ancho del conducto: 50 cm.
Radio exterior (R_h): 58 cm.

Calcular:

1. Separación entre dos guías.
2. Relación R/D del codo.

Solución:

1. Entrar en el gráfico con $R_i = 8$ cm y $R_h = 58$ cm. Léase la separación entre guías en R_1 y R_2 (línea de trazo fino del gráfico)

$$R_1 = 15 \text{ cm} \quad R_2 = 28 \text{ cm}$$

2. El radio medio del codo es de 33 cm, por lo tanto

$$R/D = 33/50 = 0,66$$

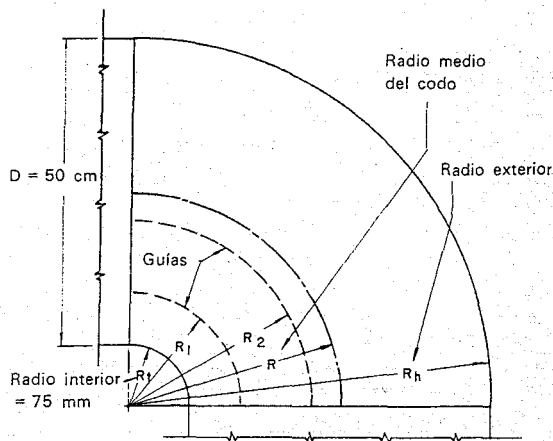


FIG. 28. Colocación de guías en codo de sección rectangular

Aunque lo recomendable es dar a los codos una curvatura interna, en ocasiones es necesario suprimirla (fig. 29). El gráfico 6 sirve también para estos casos, y en ellos se supone que el radio interior es la décima parte del exterior. El ejemplo 3 ilustra este caso.

Ejemplo 3. Situación de las guías o aletas en un codo rectangular cuyo radio interior es cero

Datos:

Codo de la figura 29. Radio interior = 0; radio exterior = 50 cm; ancho del conducto = 50 cm.

Calcular:

Separación entre las guías.

Solución:

Suponer que el radio interior es la décima parte del exterior, o sea, $R_i = 5$ cm. Entrar en el gráfico 6 con $R_i = 5$ cm y $R_h = 50$ cm, leyendo para R_1 y R_2

$$R_1 = 11 \text{ cm} \quad R_2 = 22 \text{ cm}$$

Además se añade una tercera guía a 5 cm, que resulta ser el radio interno.

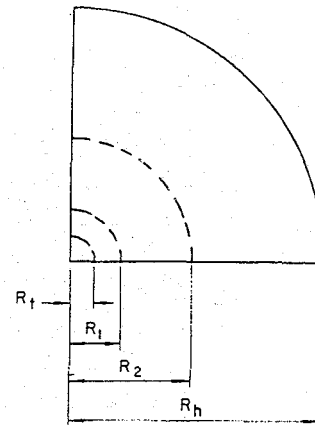


FIG. 29. Codo de sección rectangular sin radio interior

Un codo rectangular puede tener guías de doble espesor o sencillas. La figura 30 presenta un codo recto cuyas guías son de doble espesor. Estos codos se utilizan en aquellos sitios donde, por limitaciones de espacio, no se pueden instalar codos curvos. Este tipo de codo no sólo es más caro sino que tiene una caída de presión mayor que el codo reducido y el codo ordinario ($R/D = 1,25$).

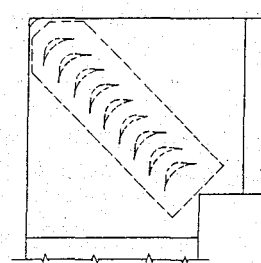
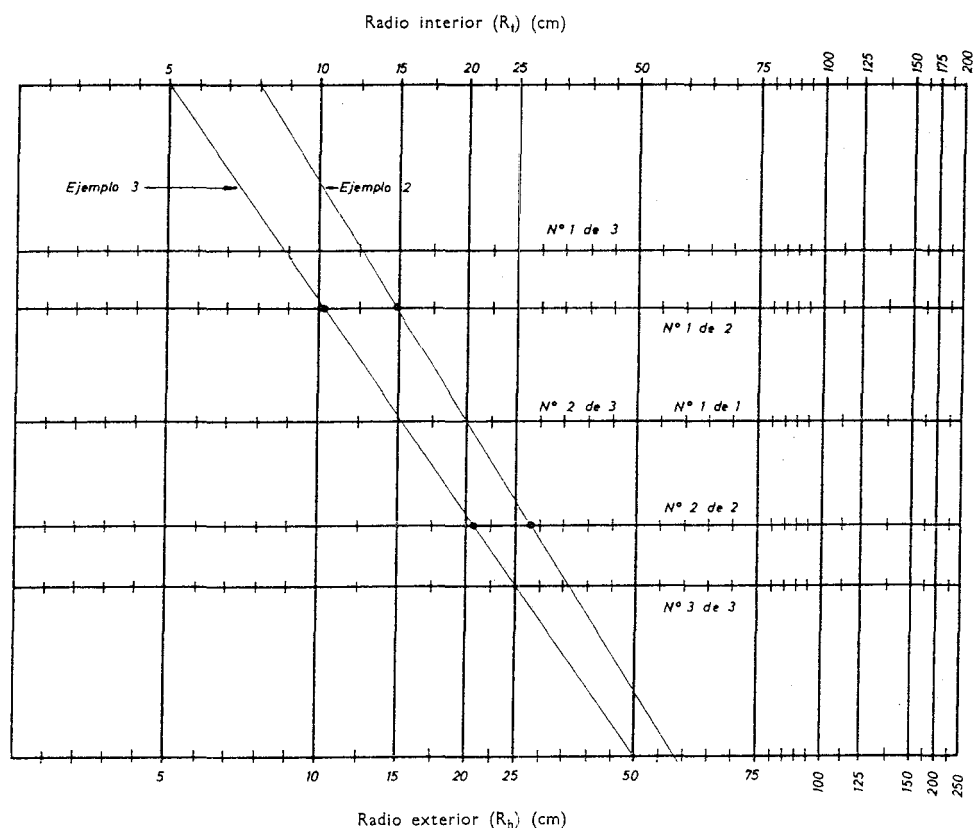


FIG. 30. Codo recto con guías

En los conductos que se construyen con tubo Spiro se recomienda la instalación de codos suaves. La figura 31 presenta un codo suave de 90° con una relación R/D de 1,5. Esta relación es la normal en todos los codos que se realizan con tubo Spiro, o en los conductos de sección circular.

El codo de tres piezas (fig. 32) tiene la misma relación R/D que el codo suave, pero su caída de presión es mayor, y también mayor que la del codo de cinco piezas (fig. 33). Este tipo de codo es el que se recomienda cuando hay imposibilidad de colocar codos suaves. El codo de

GRÁFICO 6. SITUACIÓN DE LAS GUÍAS EN CODOS RECTANGULARES



5 piezas (fig. 33) es el más caro de los tres y se usa solamente cuando al colocar uno de tres piezas nos encontramos con una excesiva caída de presión, y no podemos instalar un codo suave.

Derivaciones

En los conductos rectangulares se pueden instalar varios tipos de derivaciones. A éstas se pue-

den aplicar las mismas consideraciones hechas respecto a los codos. La figura 36 presenta los tipos de derivación más comúnmente empleados. La figura 36-A es una derivación que utiliza un codo ordinario. Tanto en la figura 36-A, como en la 36-B los radios interior y exterior arrancan de distintos puntos, puesto que D es mayor que D_1 . La principal diferencia entre las figuras 36-A y 36-B consiste en que en esta última la

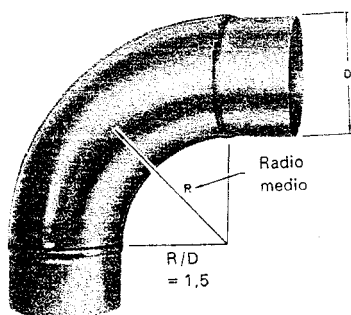


FIG. 31. Codo liso de 90°

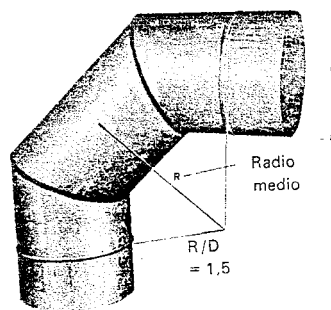


FIG. 32. Codo de 90° de tres piezas

derivación parte de dentro del conducto y no hay ninguna reducción en el conducto principal.

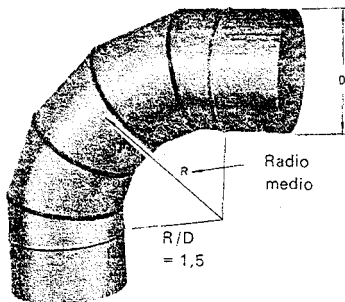


FIG. 33. Codo de 90° de cinco piezas

La figura 36-C presenta una derivación que no forma parte del conducto principal. Este tipo es muy utilizado cuando la cantidad de aire que se deriva es pequeña. La derivación en ángulo recto (figura 36-D), utilizando un codo rectangular, es la menos adecuada, no sólo por su coste sino por su mayor caída de presión. Su empleo se limita a los casos en que no se puede instalar un codo ordinario.

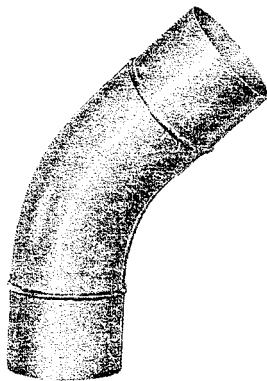


FIG. 34. Codo liso de 45°

La derivación perpendicular al conducto (figura 37) rara vez se utiliza para tender un ramal secundario. No obstante, se usa en aquellos casos en que el ramal no tiene más que una boca de impulsión. Para controlar mejor el aire a la salida, puede añadirse una compuerta.

En los conductos circulares y tubos Spiro pueden hacerse dos clases de derivaciones: La T de 90° (fig. 38) y la T cónica de 90° (fig. 39). La T cónica de 90° se utiliza cuando la velocidad del aire es mayor que 20 m por segundo, o cuando se quiere tener una caída de presión menor que en una derivación perpendicular o T de 90°. En

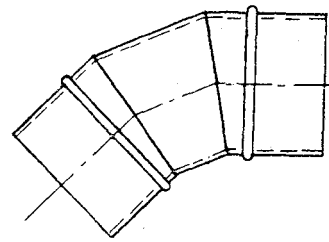


FIG. 35. Codo de tres piezas de 45°

la figura 40 se pueden ver unas crucetas con las derivaciones situadas a 180° y a 90° entre sí.

Cuando se proyecta el sistema de conductos, puede presentarse el problema de reducir el tamaño de los mismos en ciertas derivaciones. Esta reducción puede realizarse en la misma derivación o inmediatamente después de ella (figuras 41 y 42). Lo recomendable es hacer la reducción en la misma derivación, ya que de este modo se evita un acoplamiento.

Regulación del aire

En los sistemas de distribución de baja velocidad, la corriente de aire hacia los ramales se regula por medio de una compuerta. La posición de la compuerta se establece por medio de una varilla. En la figura 36 se puede ver una compuerta para conducto rectangular. A veces se montan compuertas giratorias en vez de compuertas divisoras como la de la figura 36. Estas últimas se utilizan con preferencia en los sistemas de baja velocidad, mientras que las giratorias son más empleadas en los de alta velocidad. En estos últimos sistemas las compuertas giratorias reguladoras de caudal, o equilibradoras, son indispensables en las unidades de tratamiento de aire para la regulación del caudal.

Condensación en los conductos

Los conductos pueden exudar cuando la temperatura de la superficie exterior está por debajo del punto de rocío del aire que lo rodea. La tabla 4 indica las diferencias máximas entre la temperatura de impulsión y el punto de rocío correspondientes a distintas velocidades para que no se produzcan condensaciones en el conducto. Para la correcta aplicación de los datos que contiene, ver las notas al pie de la tabla. La tabla 5 da varios coeficientes de conductibilidad térmica de los materiales aislantes más corrientes. Estos datos pueden emplearse junto con la tabla 4

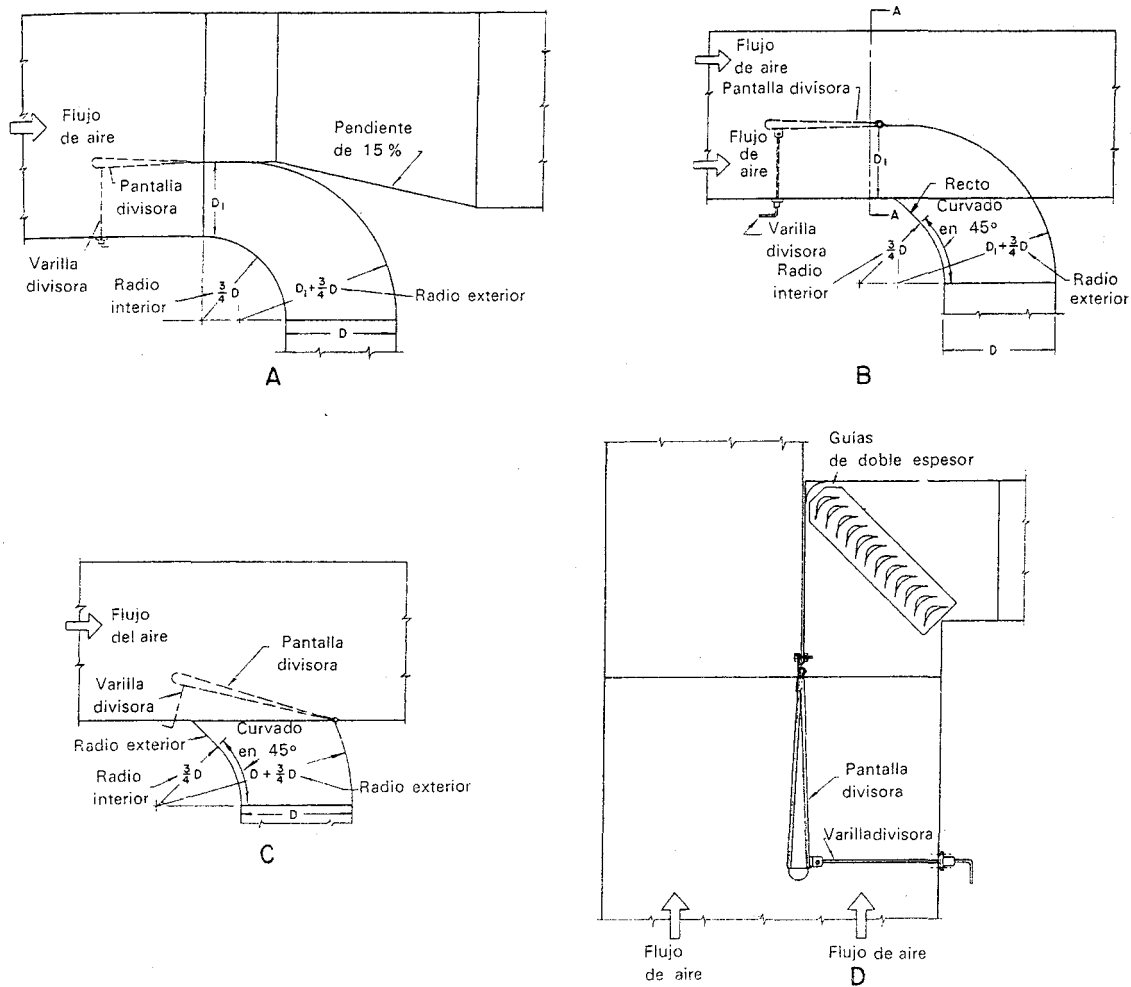


FIG. 36. Derivaciones típicas

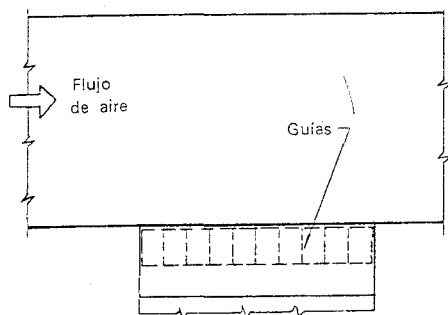


FIG. 37. Collar de salida

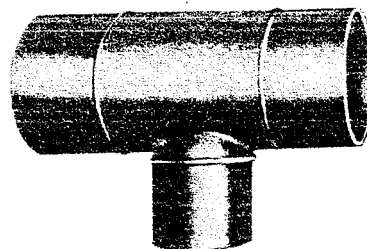


FIG. 38. T de 90°

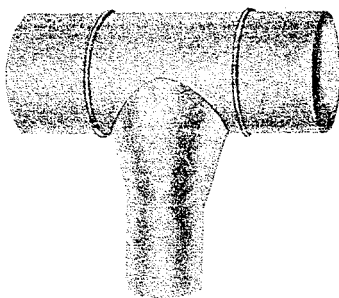


FIG. 39. T cónica de 90°

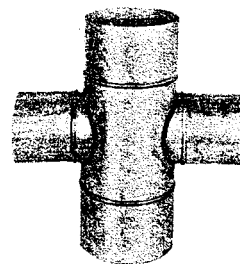
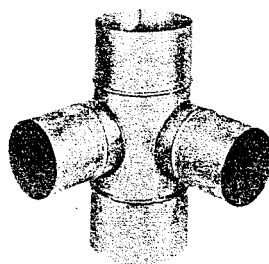


FIG. 40. Derivaciones en cruz

TABLA 4. MÁXIMA DIFERENCIA ENTRE LA TEMPERATURA DEL AIRE IMPULSADO Y EL PUNTO DE ROCÍO DEL LOCAL SIN CONDENSACIÓN DE HUMEDAD EN CONDUCTOS (°C)

CONDICIONES DEL AIRE QUE RODEA AL CONDUCTO		VELOCIDAD DEL AIRE EN TRAMO RECTO DE CONDUCTO (m/s) *											
		Pintado	Metal brillante	Pintado	Metal brillante	Pintado	Metal brillante	Pintado	Metal brillante	Pintado	Metal brillante	Pintado	Metal brillante
DB (°C) (temperatura seca)	RH (%) (humedad relativa)	2		4		6		8		10		15	
23,5-38	45	11	8,5	8,5	5	6	4,5	4,5	3	4	2	3	1,5
	50	10	7	7	4,5	5,5	4	4	3	3,5	2	2	1,5
	55	8,5	6	6	4	4,5	3,5	3,5	2	3	1,5	2	1
	60	7	5,5	5,5	3,5	4	3	3	1,5	2	1,5	1,5	1
	70	5	4	4	2	3	2	2	1	1,5	1	1	1
	80	3,5	2	2	1,5	1,5	1	1	1	1	0,5	1	0,5
	85	2	1,5	1,5	1	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5
VALOR DE $\frac{f_2}{U} - 1$		0,90	0,66	0,66	0,42	0,49	0,31	0,37	0,24	0,31	0,20	0,23	0,15

* Para codos y otros accesorios, véanse notas 4 y 7.

$$\text{ECUACIÓN: } t_{dp} - t_{sa} = (t_{rm} - t_{dp}) \left(\frac{f_2}{U} - 1 \right)$$

donde: t_{dp} = temperatura de la superficie del conducto supuesta igual al punto de rocío del local. t_{sa} = temperatura seca del aire impulsado en el conducto. t_{rm} = temperatura seca del local. U = coeficiente global de transmisión del calor del conducto kcal/h·m²·°C. f_2 = coeficiente de transmisión térmica en la película adyacente a la superficie exterior del conducto, kcal/h·m²·°C = 8,05 para conductos pintados y 5,12 para conductos de metal brillante.

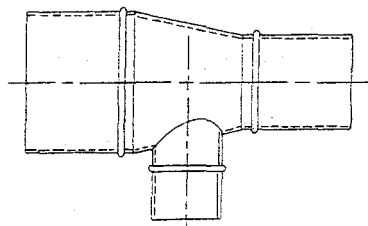
(1) Hemos de advertir al lector que a este coeficiente global de transmisión del calor se le ha designado por K en la 1.ª Parte (véase pág. 1-58). En el resto del libro se le designa por U para evitar posibles confusiones con diversos coeficientes y constantes representados también por K que accidentalmente intervienen en los cálculos (N . del T).

Notas:

1. Casos excepcionales: Se producirá la condensación con humedad relativa inferior a la indicada en la Tabla, cuando f_2 sea inferior al valor medio de 8,05 para conductos pintados y 5,12 para conductos de metal brillante. La componente de radiación de f_2 disminuirá cuando el conducto esté expuesto a superficies más frías que el aire ambiente o del local, como ocurre cuando está cerca de una pared fría. La componente de convección disminuirá en la parte superior de los conductos y también cuando la corriente de aire encuentre obstáculos, como ocurre en un conducto instalado muy cerca de un tabique. Si existe alguna de estas condiciones utilizar los valores dados para humedad relativa un 5% menor que la humedad relativa en local. Si existen ambas condiciones, utilizar el valor dado para humedad relativa un 10% menor.
2. Conducto de origen: Calculado utilizando el coeficiente de transmisión térmica de película en interior de conducto entre límites de 7,3 y 35,15 kcal/h·m²·°C. La ecuación anterior está basada en la regla de que la caída de temperatura en una capa es directamente proporcional a su resistencia térmica. Se supone que el movimiento del aire que circunda la capa exterior del conducto no excede de 0,25 m/s.
3. Para condiciones ambientales o del local no indicadas: Utilizar la ecuación anterior y los valores de $\frac{f_2}{U} - 1$ indicados en la parte inferior de la Tabla.
4. Aplicación: Para conductos desnudos, no forrados ni aislados. Utilizar los valores correspondientes a los conductos de metal brillante para conductos de aluminio no pintado y de hierro galvanizado pintado. La condensación en los codos, transformaciones y otros accesorios tendrá lugar a una temperatura más alta que la del aire impulsado a causa del coeficiente de transmisión térmica de la película interior por el aire que incide en el codo o

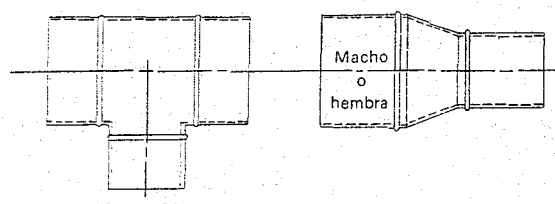
accesorio. Para accesorios de baja velocidad, se asigna una velocidad equivalente doble que la correspondiente a tramo recto y se utiliza la tabla anterior. Para accesorios de alta velocidad en los que la velocidad en tramo recto es 7,5 m/s y mayor, la temperatura del aire impulsado no debe ser inferior en más de un grado al punto de rocío del local. Las transformaciones que tengan menor pendiente del 16% pueden considerarse como tramos rectos.

5. Factor de bypass (desvío) y calor de ventilador: El aire que sale del deshumidificador tendrá una temperatura más alta que la del punto de rocío del aparato cuando el factor de bypass es mayor que cero. Esto se trata como un problema de mezcla. Si el ventilador está en el lado de salida del deshumidificador, la temperatura del aire impulsado suele ser 0,5 a 2,2 °C más alta que la del aire que sale del deshumidificador, y se puede calcular por la potencia absorbida (potencia al freno) del ventilador.
6. Goteo: Generalmente la condensación no será suficiente para que se produzca goteo a no ser que la temperatura de la superficie sea 1,1 a 1,6 °C inferior al punto de rocío del local. Obsérvese que la tabla está basada en una temperatura de la superficie del conducto igual al punto de rocío del local cuando se calcula la posibilidad de goteo. Se recomienda que la temperatura de la superficie se mantenga superior a la del punto de rocío del local.
7. Eliminación de la condensación: La temperatura del aire impulsado debe ser suficientemente elevada para evitar la condensación en los codos y accesorios. Algunas veces puede ser conveniente aislar únicamente los codos o los accesorios. Si es previsible que la humedad se condense sólo en los accesorios, aplicar el aislamiento (ordinariamente basta con un espesor de 12 mm) en la cara interior o en la exterior del conducto o del accesorio, y en una longitud en el sentido del flujo igual a 1,5 veces el perímetro del conducto. Si la condensación se produce en un tramo recto, el espesor del aislamiento necesario se puede hallar despejando U en la ecuación anterior.



T de reducción de 90°

Fig. 41. Reducción de las dimensiones del conducto en una derivación



T de 90°

Reductor

Fig. 42. Reducción de las dimensiones del conducto después de una derivación

para el estudio del aislamiento necesario a fin de evitar las condensaciones.

ACCESORIOS DEL SISTEMA DE CONDUCTOS

Existen una serie de accesorios tales como cortafuegos, puertas de acceso y amortiguadores de sonido, que no afectan al cálculo del sistema, pero que pueden ser necesarios. Únicamente será preciso tenerlos en cuenta en el cálculo en el caso de que varios elementos se encuentren en serie, al objeto de que la resistencia que oponen sea tenida en cuenta en la elección del ventilador.

Cortafuegos

La colocación, empleo y construcción de cortafuegos, suele ajustarse a las normas de seguridad establecidas en las Ordenanzas Municipales. El «National Board of Fire Underwriters», de Estados Unidos, explica en su folleto NBFU 90 A las normas generales para la construcción e instalación.

En un conducto rectangular se suele utilizar dos tipos de cortafuegos:

1. La pantalla rectangular giratoria (figura 43) que puede pivotar sobre eje vertical u horizontal.

TABLA 5. COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE CALOR EN EL CONDUCTO

TIPO DE AISLAMIENTO DEL CONDUCTO	ACABADO	ESPESOR TOTAL (mm)	PESO (kg/m²)	K *	U **
Chapa metálica no aislada	Ninguno	—	—	—	5,5 ***
	Listón metálico y yeso - 19 mm	—	—	—	4,8
	Listón de madera y yeso - 19 mm	—	—	—	3,8
Panel de corcho	Ninguno	25	3,4	0,034	1
	Ninguno	50	6,8	—	0,5
	Yeso - 9,5 mm	25	10,7	0,034	1
	Yeso - 9,5 mm	50	14,1	—	0,5
Papel de amianto corrugado (alvéolo de aire)	Ninguno	25	3,5	0,062	1,6
	Ninguno	50	7	—	0,9
Aglomerado de corcho	Ninguno	25	6,5	0,043	1,1
	Ninguno	50	13	—	0,6
	Yeso - 9,5 mm	25	14,1	0,043	1,1
	Yeso - 9,5 mm	50	20,4	—	0,6
Acolchado de lana mineral	Ninguno	25	5,7	0,034	1
	Ninguno	50	11,4	—	0,5
Fibra de vidrio	Ninguno	25	0,35	0,033	1
		50	0,7	—	0,4
85 % Magnesita	Ninguno	25	4,8	0,048	1,2

* Conductividad del material aislante (kcal·m/m²·°C·h).

** U global para aire quieto en el exterior del conducto y 6 m/s en el interior del conducto.

*** Conducto desnudo no aislado

Velocidad del aire (m/s)	2	4	6	8	10
U global	4,7	5,2	5,5	5,8	5,9

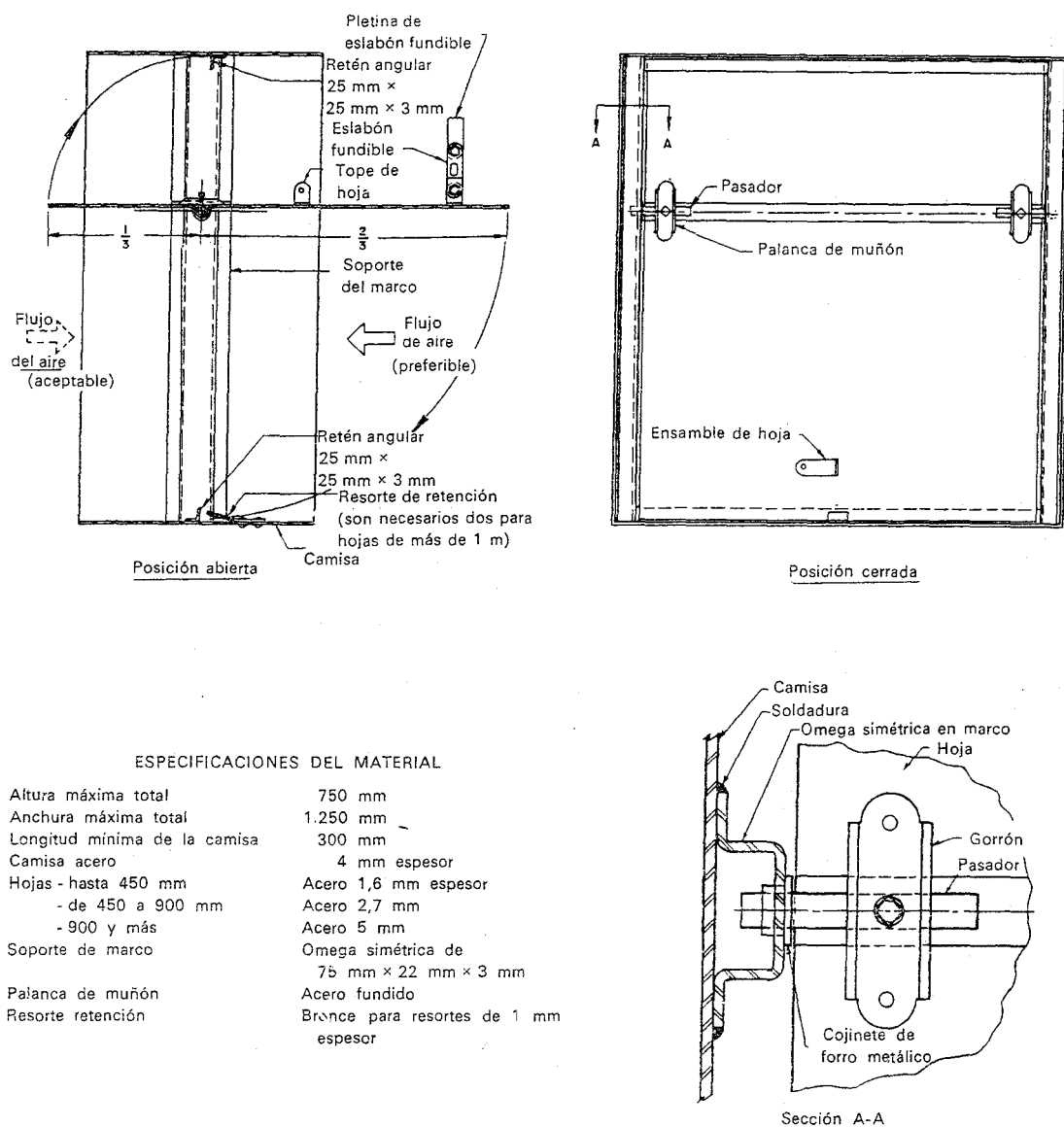


FIG. 43. Pantalla rectangular basculante contra incendios

- La persiana cortafuegos rectangular que puede utilizarse solamente en posición horizontal (fig. 44).

La figura 45 presenta un cortafuegos giratorio para conductos circulares que puede utilizarse con eje vertical u horizontal.

Compuertas de acceso

Las compuertas o paneles de acceso se instalan antes y después de los elementos instalados en los conductos. También son necesarias para el

acceso a los elementos fusibles de los cortafuegos.

CÁLCULO DE CONDUCTOS

En esta parte del capítulo se dan los datos necesarios para el cálculo de conductos de baja y alta velocidad. Estos datos comprenden los gráficos de pérdida de carga normales, las velocidades recomendadas, las pérdidas de carga en los codos y acoplamientos, y los métodos normales para el cálculo de sistemas de distribución de

aire. También se dan datos para evaluar los efectos de la altitud y ganancias de calor en el conducto, en el cálculo del sistema.

Gráfico de pérdidas de carga

En todos los conductos por los que circula aire, existe una continua pérdida de presión. Esta pérdida de presión se llama también pérdida de carga por rozamiento y depende de:

1. La velocidad del aire
2. Tamaño de los conductos
3. Rugosidad de la superficie interior
4. Longitud de los conductos

Cualquier variación en uno de estos factores modifica la pérdida de carga en el conducto. La relación que existe entre ellos viene dada por la ecuación:

$$\Delta P = 0.4 f \left(\frac{L}{d^{1.22}} \right) V^{1.82}$$

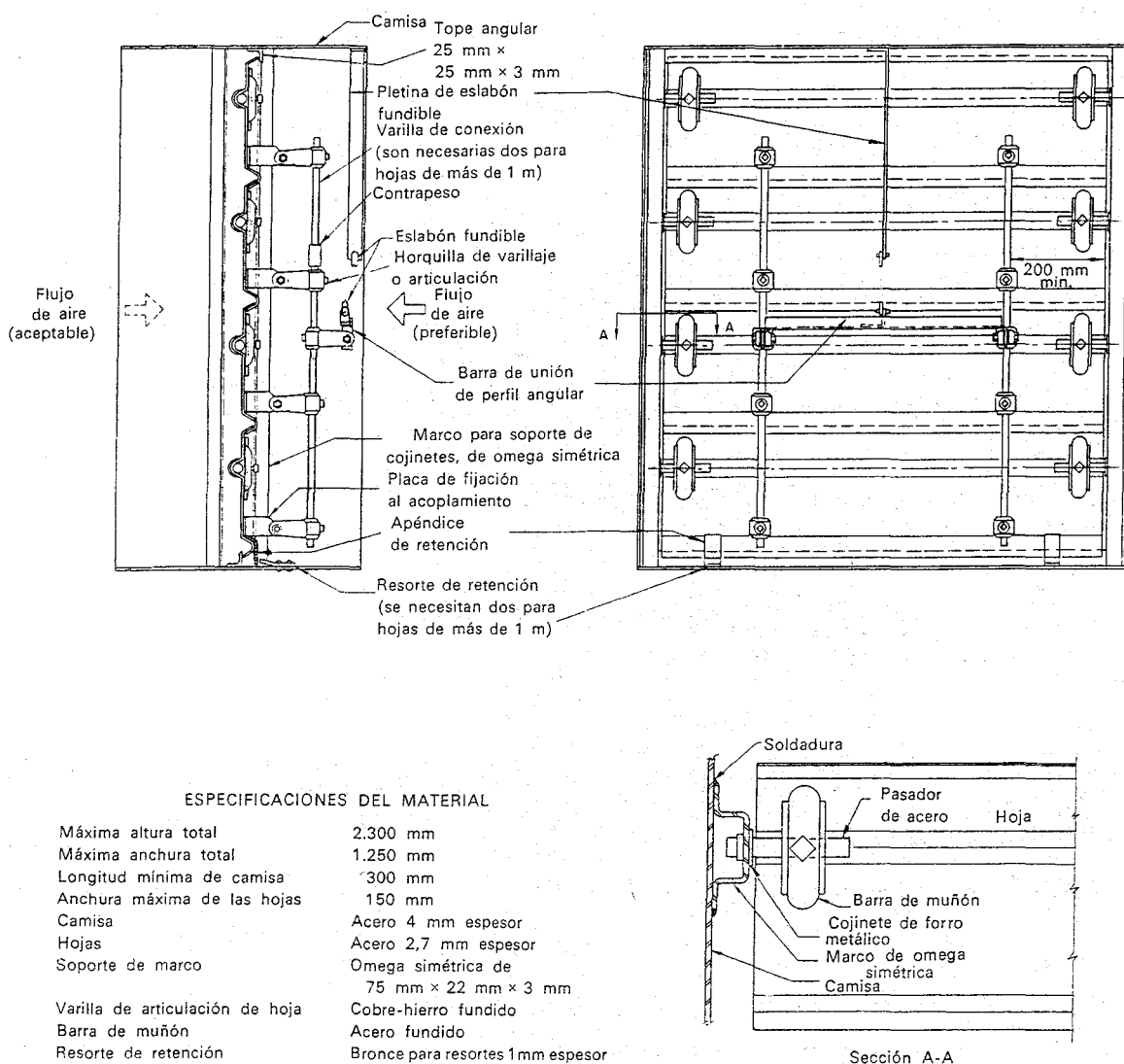


FIG. 44. Persiana rectangular contra incendios

donde ΔP = pérdida de carga en mm c.a.

f = rugosidad de la superficie interior
(0,9 para conductos galvanizados)

L = Longitud del conducto en m

d = diámetro del conducto circular (en centímetros) equivalente a otro rectangular

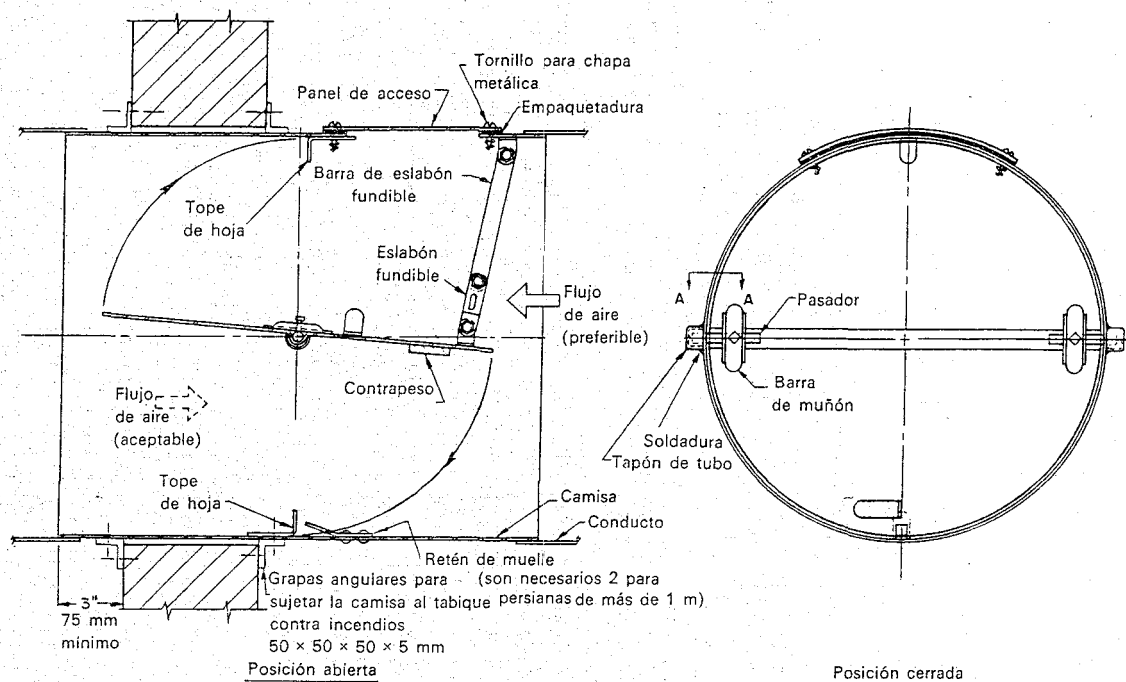
V = velocidad del aire en m/s.

Esta ecuación es la que se utiliza para construir el gráfico 7 de pérdidas de carga para conductos galvanizados. Este gráfico puede utilizarse

en los sistemas que transportan aire a temperaturas comprendidas entre 0° y 49 °C, y para altitudes de hasta 600 m sin necesidad de corregir la densidad del aire. Más adelante se dan los datos necesarios para proyectar sistemas de distribución de aire a grandes alturas.

Volumen de aire

El volumen total de aire y el que se necesita para cada espacio acondicionado se deduce en la forma explicada en la Parte 1 de este libro.



ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL

Diámetro máximo	1.200 mm
Mínima longitud de camisa	400 mm, más espesor de tabique *
Camisa	Plancha acero 4 mm espesor
Hoja - hasta 450 mm	Acero 1,6 mm espesor
- de 450 a 900 mm	Acero 2,7 mm espesor
- 900 mm y más **	Acero 5 mm espesor
Barra de muñón	Acero fundido
Resorte retención	1 mm espesor

* Panel de acceso en camisa. Longitud 200 mm, más espesor de pared, cuando el panel de acceso está en el conducto.

** Requiere angular para evitar la flexión de 20 x 20 x 20 x 3 mm

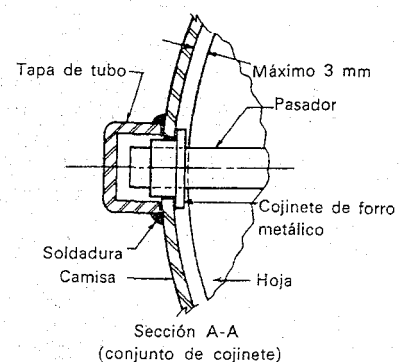


FIG. 45. Registro circular cortafuegos basculante

Diámetro del conducto

La tabla 6 da las dimensiones de conducto rectangular que corresponden a varios diámetros de conducto equivalente que se puede obtener en el gráfico 7. En la columna próxima a la de los diámetros, aparece la sección recta del conducto circular. Los conductos rectangulares, que se obtienen en esta tabla, transportan el aire con la misma pérdida de carga que los conductos circulares correspondientes. Por esta razón, el área de la sección recta es menor que la del conducto que se obtiene multiplicando sus dimensiones. Para determinar estas dimensiones en la tabla 6 puede entrarse con los diámetros de conducto hallados en el gráfico de pérdidas de carga, o con las secciones calculadas partiendo del caudal y velocidad del aire.

No obstante, las dimensiones del conducto rectangular no pueden deducirse directamente conociendo la sección, sino que es preciso utilizar la tabla 6. Si no se hiciera esto, resultaría un conducto más pequeño y con mayor pérdida de carga.

Velocidad del aire

Para establecer la velocidad del sistema de distribución de aire, hay que atender a las limitaciones respecto al ruido, precio de compra y gastos de explotación.

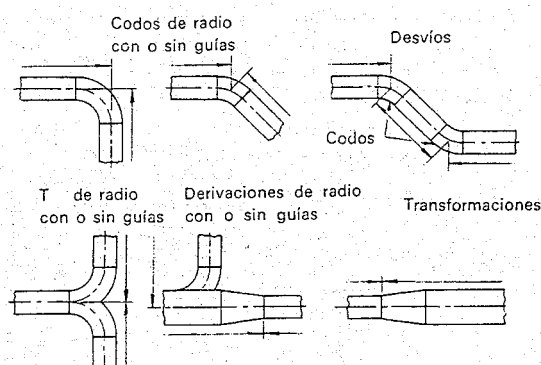
La tabla 7 proporciona las velocidades recomendadas para conductos de impulsión y de retorno en un sistema de baja velocidad, y también las presiones dinámicas correspondientes a dichas velocidades. Estas velocidades se han deducido de la experiencia.

En los sistemas de alta velocidad, los conductos de impulsión se limitan generalmente a una velocidad máxima de 25 m/s. Por encima de esta velocidad se plantean problemas de ruidos, y los gastos de explotación, como consecuencia de las pérdidas de carga, pueden resultar excesivos. La selección de la velocidad es por lo tanto un problema de economía. Una velocidad muy alta requiere conductos más pequeños, y por lo tanto menor precio de coste, pero en cambio los gastos de explotación serán mayores y posiblemente hará falta un ventilador mayor con un motor más potente. Si se emplea una velocidad menor, los conductos serán mayores, pero los gastos de explotación son inferiores.

Los conductos de retorno de un sistema de gran velocidad tienen las mismas limitaciones indicadas en la tabla 7 para los sistemas de pequeña velocidad, a no ser que se disponga de amortiguadores de sonido para emplear mayores velocidades.

Pérdida de carga

La pérdida de carga se da en el gráfico 7, en milímetros columna de agua por metro de longitud equivalente del conducto. Para determinar la pérdida de una sección del conducto, se multiplica su longitud equivalente por la pérdida de carga deducida del gráfico. La longitud total equivalente del conducto incluye los codos y acoplamientos que pueda haber en dicha sección. Las tablas 9 y 12 dan las pérdidas de carga de los elementos del conducto en longitud equivalente. Las secciones de conducto que comprenden estos elementos se miden como indica la figura 46. Los acoplamientos se miden como parte de la sección del conducto de mayores dimensiones. El gráfico 7 y la tabla 8 dan las velocidades y las presiones dinámicas correspondientes.



Nota: Todas las medidas se refieren al eje central. Los accesorios o ajustes se miden como parte del conducto que tenga la mayor dimensión.

FIG. 46. Guía para la medida de las longitudes de los conductos

Conducto metálico flexible

Se utiliza con frecuencia para conectar un conducto principal con una unidad de tratamiento de aire en los sistemas de alta velocidad. La pérdida de carga en este tipo de conductos es mayor que en los conductos circulares. El gráfico 8 da las pérdidas de carga de un conducto flexible de 8 y 10 cm de diámetro.

PÉRDIDA O GANANCIA DEBIDA AL CAMBIO DE VELOCIDAD RESPECTO AL VENTILADOR

Además de los cálculos necesarios para determinar la presión estática a la salida del ventilador, debe tenerse en cuenta la pérdida o ganancia en relación con el ventilador. En los sistemas de velocidad, esta pérdida o ganancia puede ser muy pequeña, determinándose mediante los siguientes ecuaciones.

GRÁFICO 7. PÉRDIDA POR ROZAMIENTO EN CONDUCTO REDONDO

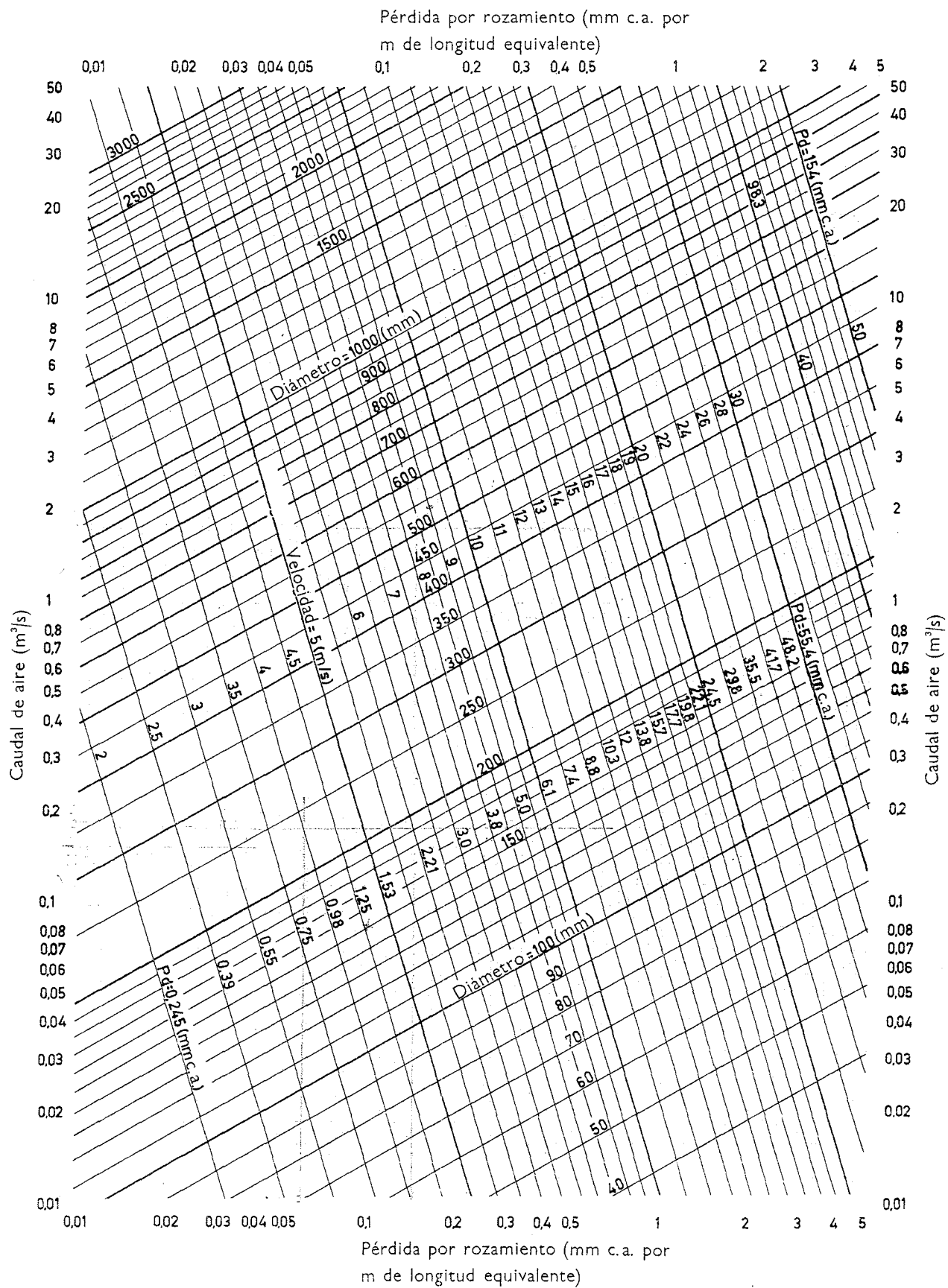


TABLA 6. DIMENSIONES DE CONDUCTOS, ÁREA DE LA SECCIÓN, DIÁMETRO EQUIVALENTE, Y TIPO DE CONDUCTO *

MEDIDAS DEL CON- DUCTO (mm)	150		200		250		300		350		400		450		500		550	
	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)
250	0,036	213	0,048	249	0,06	287												
300	0,042	231	0,057	272	0,071	302	0,087	333										
350	0,048	249	0,067	292	0,084	328	0,103	361	0,119	389								
400	0,055	264	0,075	308	0,094	348	0,115	384	0,134	414	0,154	445						
450	0,061	280	0,084	328	0,106	368	0,129	407	0,151	439	0,173	470	0,196	501				
500	0,067	292	0,092	343	0,117	384	0,142	427	0,168	460	0,192	496	0,216	526	0,242	556		
550	0,072	305	0,10	358	0,128	404	0,156	447	0,184	485	0,21	518	0,238	551	0,264	582	0,292	612
600	0,078	315	0,107	371	0,139	422	0,169	465	0,198	503	0,229	541	0,257	574	0,288	607	0,316	638
650	0,082	326	0,116	384	0,149	435	0,182	483	0,214	524	0,246	561	0,278	597	0,31	630	0,341	664
700	0,088	335	0,123	396	0,158	450	0,193	498	0,229	541	0,265	582	0,301	620	0,333	655	0,368	689
750	0,093	346	0,13	409	0,168	465	0,205	514	0,244	559	0,283	602	0,32	640	0,36	677	0,392	711
800	0,099	356	0,137	419	0,179	478	0,218	529	0,26	576	0,301	620	0,341	661	0,381	698	0,418	734
850	0,105	366	0,146	432	0,188	490	0,23	544	0,274	592	0,318	637	0,36	678	0,404	719	0,443	756
900	0,109	374	0,153	442	0,198	504	0,242	556	0,288	607	0,336	656	0,378	696	0,424	736	0,467	775
950	0,113	381	0,16	452	0,208	516	0,255	572	0,303	622	0,352	671	0,398	714	0,448	757	0,494	798
1.000	0,118	389	0,167	463	0,216	526	0,267	585	0,318	637	0,368	686	0,418	732	0,469	775	0,517	816
1.050	0,123	396	0,172	470	0,225	536	0,276	595	0,33	650	0,384	701	0,436	747	0,492	793	0,54	834
1.100	0,128	404	0,18	480	0,233	546	0,288	607	0,343	662	0,401	716	0,453	762	0,513	810	0,563	852
1.150	0,132	412	0,186	488	0,242	556	0,298	618	0,359	678	0,416	729	0,472	777	0,534	825	0,586	869
1.200	0,137	419	0,193	498	0,25	567	0,31	630	0,373	691	0,43	742	0,491	793	0,553	841	0,611	887
1.250			0,196	506	0,26	577	0,32	641	0,384	701	0,448	757	0,51	808	0,573	856	0,633	903
1.300			0,205	514	0,27	587	0,33	651	0,398	714	0,463	770	0,53	824	0,594	871	0,656	915
1.350			0,212	521	0,276	595	0,343	664	0,41	724	0,478	782	0,546	836	0,614	896	0,679	935
1.400			0,218	531	0,286	605	0,354	674	0,422	734	0,492	793	0,563	849	0,636	902	0,702	951
1.450			0,225	536	0,296	615	0,365	684	0,434	744	0,507	806	0,58	862	0,654	915	0,724	965
1.500			0,237	544	0,303	622	0,376	694	0,448	756	0,523	819	0,602	876	0,673	927	0,747	983
1.600			0,244	559	0,32	640	0,392	709	0,472	778	0,548	841	0,636	902	0,714	956	0,79	1.008
1.700					0,336	656	0,415	729	0,497	798	0,58	862	0,665	923	0,752	981	0,831	1.034
1.800					0,355	674	0,436	746	0,527	820	0,61	885	0,697	946	0,786	1.004	0,876	1.063
1.900					0,38	696	0,454	762	0,543	834	0,632	900	0,735	971	0,824	1.029	0,923	1.088
2.000					0,384	701	0,478	782	0,57	854	0,67	925	0,766	991	0,853	1.052	0,961	1.113
2.100							0,502	800	0,594	876	0,698	946	0,792	1.008	0,9	1.075	0,998	1.133
2.200							0,517	813	0,615	897	0,73	966	0,827	1.030	0,934	1.095	1,035	1.152
2.300							0,535	828	0,64	905	0,753	982	0,868	1.055	0,962	1.113	1,081	1.177
2.400							0,546	839	0,65	920	0,778	996	0,898	1.070	0,999	1.130	1,118	1.200
2.500									0,685	937	0,787	1.020	0,907	1.080	1,045	1.155	1,138	1.210
2.600									0,704	951	0,824	1.030	0,94	1.105	1,072	1.172	1,202	1.240
2.700									0,731	966	0,852	1.045	0,952	1.119	1,11	1.194	1,238	1.261
2.800									0,75	981	0,88	1.063	1,005	1.135	1,138	1.205	1,275	1.278
2.900											0,908	1.078	1,040	1.158	1,165	1.222	1,32	1.303
3.000											0,925	1.090	1,065	1.168	1,21	1.248	1,33	1.308
3.100											0,94	1.105	1,1	1.185	1,238	1.260	1,387	1.331
3.200											0,953	1.120	1,12	1.197	1,277	1.279	1,432	1.353
3.300													1,156	1.216	1,302	1.292	1,46	1.368
3.400													1,185	1.231	1,334	1.310	1,498	1.380
3.500													1,22	1.241	1,352	1.321	1,525	1.397
3.600													1,23	1.252	1,397	1.344	1,551	1.414

* Los números de mayor tamaño que figuran en la tabla indican la clase de conducto.

TABLA 6. DIMENSIONES DE CONDUCTOS, ÁREA DE LA SECCIÓN, DIÁMETRO EQUIVALENTE Y TIPO DE CONDUCTO * (Cont.)

MEDIDAS DEL CON- DUCTO (mm)	600		650		700		750		800		850		900		950		1.000	
	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)
250																		
300																		
350																		
400																		
450																		
500																		
550																		
600	0,346	666																
650	0,373	692	0,407	722														
700	0,401	716	0,437	749	0,472	777												
750	0,433	745	0,468	775	0,502	803	0,543	834										
800	0,457	765	0,497	798	0,536	829	0,576	859	0,618	889								
850	0,485	788	0,527	823	0,568	854	0,61	884	0,654	914	0,697	944						
900	0,517	813	0,549	838	0,603	875	0,646	909	0,692	940	0,736	971	0,783	1.002				
950	0,542	834	0,591	869	0,636	903	0,679	934	0,728	966	0,775	996	0,822	1.028	0,873	1.057		
1.000	0,569	853	0,622	893	0,668	925	0,714	955	0,767	992	0,816	1.020	0,864	1.052	0,914	1.083	0,972	1.114
1.050	0,597	874	0,65	914	0,702	948	0,752	981	0,803	1.015	0,853	1.044	0,907	1.078	0,963	1.108	1,018	1.139
1.100	0,624	894	0,679	934	0,733	969	0,786	1.004	0,840	1.038	0,89	1.068	0,952	1.103	1,0	1.133	1,054	1.165
1.150	0,652	914	0,706	951	0,764	990	0,818	1.025	0,877	1.057	0,934	1.093	0,99	1.127	1,045	1.159	1,1	1.190
1.200	0,675	930	0,736	971	0,794	1.009	0,856	1.046	0,915	1.082	0,972	1.116	1,027	1.148	1,092	1.180	1,148	1.215
1.250	0,702	949	0,764	990	0,823	1.028	0,89	1.068	0,953	1.105	1,008	1.139	1,072	1.171	1,128	1.204	1,2	1.240
1.300	0,728	966	0,792	1.006	0,856	1.046	0,924	1.089	0,99	1.126	1,054	1.161	1,118	1.198	1,175	1.226	1,248	1.263
1.350	0,755	984	0,818	1.025	0,89	1.066	0,963	1.108	1,018	1.143	1,092	1.181	1,165	1.219	1,22	1.248	1,295	1.286
1.400	0,779	999	0,848	1.042	0,92	1.084	0,99	1.126	1,055	1.163	1,128	1.201	1,2	1.241	1,268	1.272	1,34	1.308
1.450	0,798	1.011	0,877	1.059	0,952	1.102	1,018	1.143	1,092	1.184	1,165	1.223	1,238	1.260	1,312	1.296	1,388	1.331
1.500	0,822	1.027	0,902	1.074	0,97	1.118	1,055	1.165	1,128	1.202	1,2	1.242	1,275	1.280	1,35	1.318	1,435	1.355
1.600	0,872	1.057	0,952	1.105	1,035	1.154	1,118	1.199	1,192	1.238	1,275	1.280	1,358	1.321	1,432	1.356	1,525	1.398
1.700	0,923	1.088	1,008	1.135	1,091	1.185	1,183	1.229	1,267	1.275	1,35	1.316	1,441	1.359	1,525	1.396	1,616	1.438
1.800	0,961	1.115	1,063	1.165	1,147	1.215	1,248	1.262	1,331	1.308	1,423	1.351	1,515	1.395	1,608	1.435	1,692	1.475
1.900	0,998	1.141	1,108	1.194	1,21	1.245	1,302	1.292	1,396	1.340	1,498	1.388	1,599	1.430	1,692	1.470	1,785	1.511
2.000	1,063	1.168	1,165	1.219	1,267	1.272	1,359	1.321	1,46	1.368	1,572	1.418	1,673	1.462	1,775	1.505	1,875	1.599
2.100	1,108	1.192	1,22	1.248	1,312	1.299	1,423	1.350	1,525	1.397	1,636	1.448	1,748	1.496	1,858	1.542	1,96	1.584
2.200	1,155	1.217	1,266	1.272	1,368	1.325	1,488	1.380	1,598	1.429	1,71	1.478	1,821	1.528	1,932	1.575	2,042	1.618
2.300	1,192	1.237	1,312	1.299	1,433	1.355	1,543	1.405	1,665	1.457	1,775	1.507	1,895	1.557	2,015	1.604	2,128	1.650
2.400	1,228	1.258	1,368	1.325	1,469	1.371	1,59	1.426	1,72	1.486	1,821	1.530	1,95	1.580	2,095	1.639	2,22	1.682
2.500	1,285	1.285	1,386	1.344	1,545	1.402	1,655	1.455	1,775	1.508	1,905	1.562	1,998	1.600	2,165	1.664	2,293	1.715
2.600	1,35	1.315	1,46	1.368	1,58	1.422	1,72	1.485	1,84	1.538	1,98	1.592	2,095	1.639	2,228	1.690	2,365	1.740
2.700	1,368	1.325	1,498	1.388	1,627	1.443	1,775	1.508	1,895	1.559	2,035	1.612	2,17	1.669	2,293	1.715	2,45	1.770
2.800	1,396	1.348	1,552	1.410	1,692	1.473	1,82	1.528	1,95	1.582	2,08	1.632	2,265	1.702	2,375	1.745	2,505	1.790
2.900	1,46	1.370	1,6	1.432	1,747	1.495	1,878	1.552	2,035	1.615	2,17	1.670	2,295	1.715	2,425	1.762	2,605	1.825
3.000	1,497	1.387	1,645	1.451	1,793	1.515	1,932	1.575	2,095	1.639	2,235	1.695	2,41	1.768	2,515	1.794	2,683	1.855
3.100	1,535	1.402	1,7	1.475	1,83	1.532	1,995	1.600	2,145	1.660	2,33	1.728	2,45	1.775	2,605	1.825	2,735	1.881
3.200	1,58	1.425	1,738	1.492	1,878	1.552	2,06	1.628	2,19	1.678	2,37	1.744	2,525	1.800	2,655	1.848	2,79	1.894
3.300	1,608	1.436	1,785	1.512	1,922	1.570	2,09	1.635	2,265	1.703	2,43	1.765	2,61	1.830	2,765	1.880	2,855	1.948
3.400	1,655	1.456	1,822	1.528	1,978	1.593	2,125	1.650	2,32	1.723	2,485	1.785	2,65	1.845	2,82	1.900	3,015	1.964
3.500	1,71	1.478	1,877	1.550	2,06	1.627	2,23	1.689	2,395	1.752	2,545	1.805	2,715	1.868	2,915	1.932	3,095	1.988
3.600	1,738	1.490	1,905	1.562	2,095	1.638	2,29	1.715	2,43	1.765	2,61	1.829	2,765	1.885	2,955	1.948	3,14	2.010

* Los números de mayor tamaño que figuran en la tabla indican la clase de conducto.

TABLA 6. DIMENSIONES DE CONDUCTOS, ÁREA DE LA SECCIÓN, DIÁMETRO EQUIVALENTE, Y TIPO DE CONDUCTO * (Cont.)

MEDIDAS DEL CON- DUCTO (mm)	1.050		1.100		1.150		1.200		1.250		1.300		1.350		1.400		1.450	
	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)
1.050	1,065	1.165																
1.100	1,109	1.190	1,165	1.222														
1.150	1,155	1.215	1,21	1.248	1,276	1.278												
1.200	1,2	1.240	1,265	1.275	1,32	1.302	1,395	1.336										
1.250	1,248	1.265	1,322	1.300	1,378	1.327	1,452	1.361	1,505	1.389								
1.300	1,302	1.290	1,368	1.325	1,432	1.352	1,497	1.388	1,57	1.418	1,598	1.444						
1.350	1,349	1.316	1,42	1.350	1,486	1.378	1,55	1.413	1,825	1.443	1,69	1.469	1,773	1.508				
1.400	1,395	1.339	1,468	1.375	1,542	1.403	1,605	1.435	1,68	1.468	1,745	1.495	1,81	1.523	1,894	1.555		
1.450	1,45	1.363	1,525	1.398	1,588	1.426	1,66	1.460	1,735	1.495	1,81	1.523	1,885	1.555	1,948	1.582	2,03	1.612
1.500	1,495	1.388	1,57	1.418	1,645	1.451	1,718	1.485	1,8	1.519	1,875	1.550	1,948	1.579	2,014	1.608	2,075	1.634
1.600	1,597	1.432	1,67	1.467	1,755	1.489	1,828	1.531	1,912	1.565	1,995	1.595	2,07	1.630	2,145	1.658	2,028	1.698
1.700	1,69	1.473	1,782	1.511	1,855	1.545	1,95	1.578	2,025	1.609	2,115	1.646	2,195	1.679	2,28	1.709	2,355	1.735
1.800	1,792	1.515	1,875	1.552	1,975	1.591	2,05	1.621	2,135	1.655	2,235	1.692	2,315	1.723	2,41	1.756	2,505	1.790
1.900	1,885	1.555	1,975	1.592	2,07	1.629	2,16	1.668	2,265	1.702	2,355	1.738	2,44	1.769	2,54	1.802	2,67	1.850
2.000	1,975	1.592	2,07	1.630	2,17	1.668	2,27	1.708	2,374	1.745	2,475	1.782	2,595	1.825	2,66	1.848	2,78	1.885
2.100	2,07	1.629	2,17	1.670	2,28	1.708	2,385	1.748	2,485	1.785	2,595	1.825	2,69	1.858	2,79	1.892	2,91	1.932
2.200	2,15	1.660	2,26	1.702	2,375	1.745	2,485	1.785	2,595	1.825	2,715	1.863	2,825	1.900	2,93	1.938	3,02	1.970
2.300	2,245	1.698	2,365	1.740	2,475	1.702	2,595	1.825	2,705	1.862	2,815	1.900	2,95	1.944	3,055	1.978	3,155	2.010
2.400	2,33	1.727	2,47	1.778	2,55	1.805	2,715	1.865	2,79	1.892	2,935	1.940	3,065	1.980	3,13	2.002	3,295	2.050
2.500	2,405	1.755	2,505	1.790	2,675	1.850	2,79	1.891	2,915	1.935	3,02	1.968	3,12	1.998	3,28	2.050	3,38	2.085
2.600	2,505	1.790	2,625	1.832	2,715	1.878	2,873	1.916	3,02	1.968	3,145	2.008	3,305	2.055	3,425	2.095	3,555	2.135
2.700	2,59	1.821	2,725	1.870	2,83	1.900	2,985	1.955	3,075	1.982	3,26	2.045	3,38	2.085	3,555	2.132	3,675	2.172
2.800	2,695	1.859	2,79	1.892	2,95	1.942	3,06	1.982	3,225	2.030	3,48	2.085	3,51	2.120	3,675	2.170	3,775	2.195
2.900	2,775	1.885	2,955	1.945	3,02	1.968	3,145	2.008	3,315	2.060	3,505	2.120	3,68	2.170	3,79	2.200	3,92	2.240
3.000	2,835	1.905	3,02	1.968	3,105	1.992	3,31	2.055	3,455	2.105	3,635	2.155	3,775	2.200	3,87	2.225	4,025	2.270
3.100	2,91	1.930	3,105	1.993	3,175	2.027	3,37	2.075	3,555	2.135	3,755	2.188	3,835	2.215	4,0	2.265	4,12	2.295
3.200	2,97	1.952	3,14	2.005	3,345	2.070	3,465	2.110	3,62	2.144	3,825	2.210	3,965	2.250	4,12	2.295	4,33	2.350
3.300	3,065	1.980	3,22	2.030	3,405	2.090	3,58	2.140	3,755	2.190	3,935	2.248	4,075	2.285	4,24	2.332	4,43	2.385
3.400	3,14	2.008	3,285	2.050	3,51	2.120	3,665	2.165	3,85	2.220	4,05	2.275	4,14	2.305	4,375	2.370	4,58	2.425
3.500	3,26	2.045	3,415	2.090	3,58	2.145	3,74	2.190	3,915	2.235	4,14	2.305	4,29	2.345	4,49	2.395	4,64	2.443
3.600	3,305	2.060	3,49	2.115	3,695	2.175	3,82	2.210	4,07	2.285	4,22	2.325	4,42	2.375	4,58	2.425	4,76	2.470

* Los números de mayor tamaño que figuran en la tabla indican la clase de conducto.

TABLA 6. DIMENSIONES DE CONDUCTOS, ÁREA DE LA SECCIÓN, DIÁMETRO EQUIVALENTE Y TIPO DE CONDUCTO * (Cont.)

MEDIDAS DEL CONDUCTO (mm)	1.500		1.600		1.700		1.800		1.900		2.000		2.100		2.200		2.300	
	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)
1.050																		
1.100																		
1.150																		
1.200																		
1.250																		
1.300																		
1.350																		
1.400																		
1.450																		
1.500	2,17	1.670																
1.600	2,31	1.720	2,47	1.780														
1.700	2,45	1.770	2,62	1.833	2,79	1.890												
1.800	2,59	1.823	2,76	1.883	2,94	1.941	3,12	2.005										
1.900	2,73	1.872	2,92	1.934	3,09	1.992	3,3	2.057	3,48	2.115								
2.000	2,87	1.913	3,07	1.985	3,25	2.043	3,46	2.105	3,66	2.165	3,85	2.222						
2.100	3,0	1.960	3,22	2.028	3,42	2.094	3,62	2.156	3,82	2.215	4,04	2.275	4,25	2.332				
2.200	3,14	2.008	3,35	2.073	3,57	2.138	3,83	2.207	4,02	2.265	4,22	2.325	4,43	2.385	4,67	2.445		
2.300	3,29	2.055	3,5	2.115	3,73	2.185	3,96	2.255	4,18	2.315	4,41	2.380	4,63	2.435	4,87	2.495	5,1	2.552
2.400	3,42	2.100	3,68	2.170	3,89	2.240	4,12	2.300	4,38	2.370	4,6	2.430	4,78	2.480	5,1	2.554	5,34	2.615
2.500	3,55	2.130	3,81	2.210	4,08	2.292	4,38	2.370	4,64	2.440	4,78	2.485	4,92	2.510	5,24	2.605	5,56	2.670
2.600	3,72	2.185	3,96	2.250	4,27	2.335	4,43	2.385	4,76	2.520	4,96	2.525	5,29	2.605	5,49	2.655	5,76	2.715
2.700	3,85	2.225	4,08	2.285	4,33	2.355	4,63	2.435	4,89	2.505	5,14	2.555	5,41	2.630	5,64	2.685	5,98	2.770
2.800	3,91	2.235	4,18	2.315	4,52	2.405	4,78	2.470	5,02	2.530	5,3	2.605	5,44	2.640	5,88	2.750	6,21	2.805
2.900	4,07	2.285	4,4	2.375	4,73	2.455	4,96	2.520	5,27	2.595	5,56	2.665	5,85	2.735	6,12	2.800	6,4	2.860
3.000	4,2	2.320	4,59	2.425	4,78	2.475	5,16	2.570	5,44	2.640	5,76	2.715	6,05	2.785	6,37	2.855	6,66	2.920
3.100	4,36	2.360	4,6	2.427	4,97	2.515	5,24	2.590	5,56	2.665	5,88	2.740	6,12	2.800	6,4	2.862	6,77	2.945
3.200	4,4	2.372	4,74	2.464	5,12	2.555	5,42	2.635	5,71	2.703	6,05	2.780	6,3	2.830	6,68	2.930	7,05	3.000
3.300	4,58	2.422	4,9	2.490	5,2	2.575	5,56	2.665	5,93	2.754	6,32	2.838	6,64	2.905	6,9	2.980	7,26	3.046
3.400	4,64	2.440	5,07	2.536	5,44	2.640	5,75	2.710	5,98	2.766	6,44	2.852	6,74	2.935	7,08	3.010	7,53	3.105
3.500	4,84	2.490	5,14	2.565	5,57	2.675	5,89	2.745	6,26	2.830	6,59	2.890	6,98	2.990	7,32	3.055	7,64	3.130
3.600	5,0	2.530	5,34	2.615	5,65	2.692	5,97	2.765	6,39	2.858	6,77	2.928	7,21	3.035	7,5	3.100	7,87	3.175

* Los números de mayor tamaño que figuran en la tabla indican la clase de conducto.

TABLA 7. VELOCIDADES MÁXIMAS RECOMENDADAS PARA SISTEMAS DE BAJA VELOCIDAD (m/s)

APLICACIÓN	FACTOR DE CONTROL DEL NIVEL DE RUIDO (conductos principales)	FACTOR DE CONTROL - ROZAMIENTO EN CONDUCTO			
		Conductos principales		Conductos derivados	
		Suministro	Retorno	Suministro	Retorno
Residencias	3	5	4	3	3
Apartamentos Dormitorios de hotel Dormitorios de hospital	5	7,5	6,5	6	5
Oficinas particulares Despachos de directores Bibliotecas	6	10	7,5	8	6
Salas de cine y teatro Auditorios	4	6,5	5,5	5	4
Oficinas públicas Restaurantes de primera categoría Comercios de primera categoría Bancos	7,5	10	7,5	8	6
Comercios de categoría media Cafeterías	9	10	7,5	8	6
Locales industriales	12,5	15	9	11	7,5

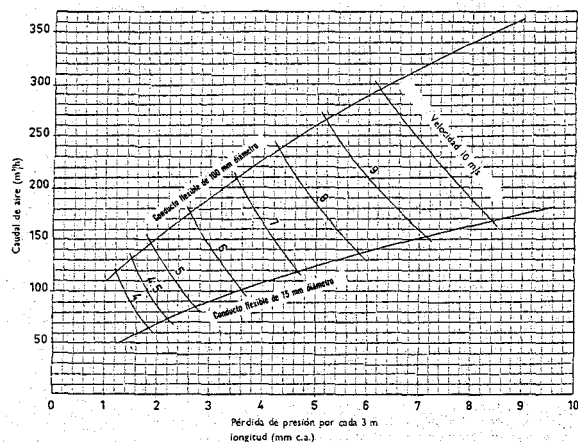
TABLA 8. PRESIONES DINÁMICAS

PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)	PRESIÓN DINÁMICA (mm c. a.)	VELOCIDAD (m/s)
0,25	2	8,75	11,83	17,25	16,60	28	21,16
0,50	2,82	9	12	17,50	16,73	29	21,54
0,75	3,46	9,25	12,16	17,75	16,85	30	21,90
1	4	9,50	12,32	18	16,97	31	22,27
1,25	4,47	9,75	12,49	18,25	17,08	32	22,62
1,50	4,89	10	12,64	18,50	17,20	33	22,97
1,75	5,29	10,25	12,80	18,75	17,32	34	23,32
2	5,65	10,50	12,96	19	17,43	35	23,66
2,25	6	10,75	13,11	19,25	17,55	36	24
2,50	6,32	11	13,26	19,50	17,66	37	24,33
2,75	6,63	11,25	13,41	19,75	17,77	38	24,65
3	6,92	11,50	13,56	20	17,88	39	24,98
3,25	7,21	11,75	13,71	20,25	18	40	25,29
3,50	7,48	12	13,85	20,50	18,11	41	25,61
3,75	7,74	12,25	14	20,75	18,22	42	25,92
4	8	12,50	14,14	21	18,33	43	26,22
4,25	8,24	12,75	14,28	21,25	18,43	44	26,53
4,50	8,48	13	14,42	21,50	18,54	45	26,83
4,75	8,71	13,25	14,56	21,75	18,65	46	27,12
5	8,94	13,50	14,69	22	18,76	47	27,42
5,25	9,16	13,75	14,83	22,25	18,86	48	27,71
5,50	9,38	14	14,96	22,50	18,97	49	28
5,75	9,59	14,25	15,09	22,75	19,07	50	28,28
6	9,79	14,50	15,23	23	19,18	51	28,56
6,25	10	14,75	15,36	23,25	19,28	52	28,84
6,50	10,19	15	15,49	23,50	19,39	53	29,12
6,75	10,39	15,25	15,62	23,75	19,49	54	29,39
7	10,58	15,50	15,74	24	19,59	55	29,66
7,25	10,77	15,75	15,87	24,25	19,69	56	29,93
7,50	10,95	16	16	24,50	19,79	57	30,19
7,75	11,13	16,25	16,12	24,75	19,89	58	30,46
8	11,31	16,50	16,24	25	20	59	30,72
8,25	11,48	16,75	16,37	26	20,39	60	30,98
8,50	11,66	17	16,49	27	20,78		

NOTAS: 1. Condiciones aire normal (760 mm Hg y 21° C).

2. Valores deducidos de la siguiente ecuación: $h_v = \left(\frac{V}{4}\right)^2$ donde: V = velocidad en m/s.
 h_v = diferencia de presión dinámica.

GRÁFICO 8. PÉRDIDA DE PRESIÓN EN CONDUCTO FLEXIBLE



Si la velocidad en el conducto es mayor que a la salida del ventilador, debe utilizarse la siguiente fórmula para calcular la pérdida de presión estática:

$$\text{Pérdida} = 1,1 \left[\left(\frac{V_a}{242,4} \right)^2 - \left(\frac{V_f}{242,4} \right)^2 \right]$$

donde V_a = velocidad en el conducto, en m/minuto

V_f = velocidad a la salida del ventilador, en m/minuto
pérdida = mm c.a.

Si la velocidad de descarga del ventilador es mayor que la del conducto, la siguiente fórmula sirve para calcular el aumento de presión estática:

$$\text{Ganancia} = 0,75 \left[\left(\frac{V_f}{242,4} \right)^2 - \left(\frac{V_a}{242,4} \right)^2 \right]$$

PÉRDIDA DE CARGA EN UN ELEMENTO DEL SISTEMA

La pérdida de carga en cualquier acoplamiento se expresa en términos de «longitud equivalente de conducto». Este método proporciona unidades utilizables en el gráfico de pérdida de carga para calcular las pérdidas en una sección de conducto que contenga codos de acoplamiento. La tabla 12 da las pérdidas de carga para codos rectangulares, y la tabla 11 da las pérdidas en codos circulares. En ambas tablas, las pérdidas de carga se dan en función de longitud equivalente de

conducto rectilíneo. De este modo, el valor obtenido se suma a la longitud del conducto para obtener la longitud equivalente total. La longitud del conducto recto se mide entre las intersecciones de los ejes de sus acoplamientos. La figura 46 indica claramente la forma de medir estas longitudes.

Las tablas 9 y 10 dan las pérdidas para codos de otras dimensiones, o que tengan distinta relación R/D. La tabla 10 indica las pérdidas en codos rectangulares y combinaciones de codos, en función de L/D. También indica esta tabla las pérdidas y ganancias correspondientes a distintas formas de conducto, entradas y salidas, y elementos situados en la corriente de aire. Esta pérdida o ganancia de recuperación se expresa por medio de unos «factores de velocidad» representados por la letra n . Esta pérdida, o recuperación, puede convertirse en longitud equivalente de conducto por medio de la ecuación escrita al pie de la tabla, y sumarse, o restarse, a la longitud del conducto.

La tabla 9 da la pérdida para codos de sección circular en función de L/D, longitud equivalente adicional dividida por el diámetro del codo. Las pérdidas de las T y crucetas de sección circular se expresan en valores de n . Al pie de la tabla se da la ecuación que permite calcular la longitud equivalente de conducto.

En los sistemas de alta velocidad es preferible tener las pérdidas de carga de codos, T y crucetas, en mm de columna de agua. Estas pérdidas se pueden encontrar en el gráfico 9, para acoplamientos circulares normales.

MÉTODOS DE CÁLCULO

Por regla general, en el proyecto de cualquier sistema de conductos, se procura que el tendido de conductos sea lo más sencillo posible y simétrico. Los elementos terminales o bocas de impulsión se sitúan en puntos adecuados para proporcionar una correcta distribución del aire. Los conductos se tienden para conectar estas salidas, evitando las obstrucciones del edificio, o del equipo industrial en su caso.

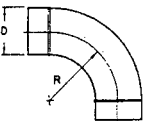
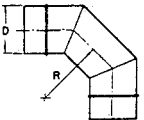
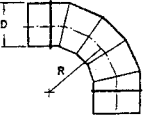
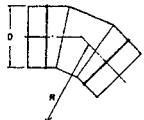
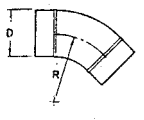
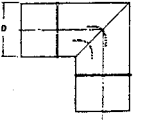
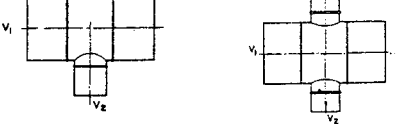
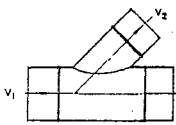
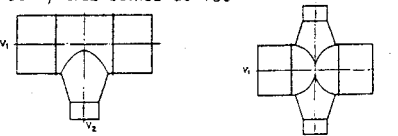
El cálculo de un sistema de baja velocidad puede hacerse por uno de los tres métodos siguientes:

1. Reducción de velocidad.
2. Igualdad de pérdidas por rozamiento o pérdida de carga constante.
3. Recuperación estática.

Estos tres métodos tienen distintos grados de precisión, economía y empleo.

El método de pérdida de carga constante es el que se recomienda para conductos de retorno y de extracción de aire.

TABLA 9. ROZAMIENTO EN LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONDUCTOS CILÍNDRICOS

ELEMENTO	CONDICIÓN	RELACIÓN L/D *
Codo liso de 90° 	$R/D = 1,5$	9
Codo de 90° de 3 piezas 	$R/D = 1,5$	24
Codo de 90° de 5 piezas 	$R/D = 1,5$	12
Codo de 45° de 3 piezas 	$R/D = 1,5$	6
Codo de 45° liso 	$R/D = 1,5$	4,5
Codo recto de 90° 	Con guías Sin guías	22 65
ELEMENTO	CONDICIÓN	VALOR DE n **
T de 90° *** Cruz de 90°, 135° y 180° 	$\frac{v_2}{v_1} = \begin{cases} 0,2 \\ 0,5 \\ 1,0 \\ 5,0 \end{cases}$	1,21 0,60 0,53 0,48
Pérdida de presión en la rama = nhv_2		
T de 45° *** 	$\frac{v_2}{v_1} = \begin{cases} 0,8 \\ 1,0 \\ 2,0 \\ 3,0 \end{cases}$	0,03 0,13 0,36 0,44
Pérdida de presión en la rama = nhv_2		
T cónica de 90° y cruz cónica de 180° 	$\frac{v_2}{v_1} = \begin{cases} 0,5 \\ 1,0 \\ 2,0 \\ 5,0 \end{cases}$	0,06 0,15 0,30 0,36
Pérdida de presión en la rama = nhv_2		

Véanse las notas en la página 2-48.

TABLA 10. ROZAMIENTO EN LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONDUCTOS RECTANGULARES

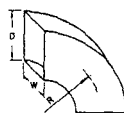
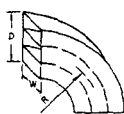
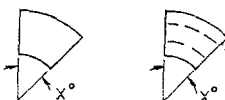

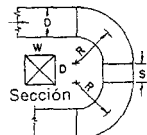
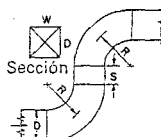
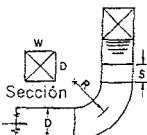
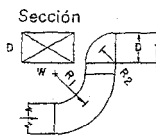
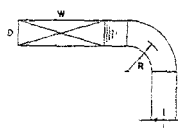
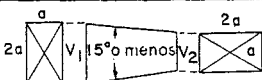
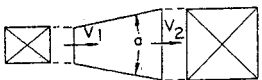
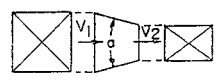
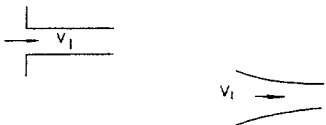
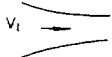
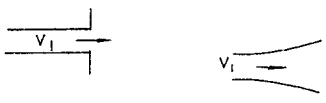

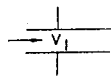
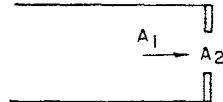
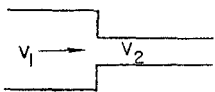
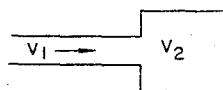
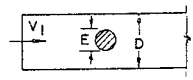
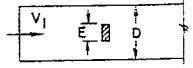
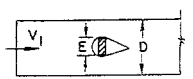
ELEMENTO	CONDICIONES		RELACIÓN L/D **																																								
Codo de radio de sección rectangular		<table><tr><th rowspan="3">W/D</th><th colspan="5">R/D</th></tr><tr><th>0,5</th><th>0,75</th><th>1,00</th><th>1,25 *</th><th>1,50</th></tr><tr><th colspan="5">Relación L/D</th></tr><tr><td>0,5</td><td>33</td><td>14</td><td>9</td><td>5</td><td>4</td></tr><tr><td>1</td><td>45</td><td>18</td><td>11</td><td>7</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>80</td><td>30</td><td>14</td><td>8</td><td>5</td></tr><tr><td>6</td><td>125</td><td>40</td><td>18</td><td>12</td><td>7</td></tr></table>	W/D	R/D					0,5	0,75	1,00	1,25 *	1,50	Relación L/D					0,5	33	14	9	5	4	1	45	18	11	7	4	3	80	30	14	8	5	6	125	40	18	12	7	
		W/D		R/D																																							
0,5	0,75			1,00	1,25 *	1,50																																					
Relación L/D																																											
0,5	33	14	9	5	4																																						
1	45	18	11	7	4																																						
3	80	30	14	8	5																																						
6	125	40	18	12	7																																						
Codo de radio de sección rectangular con guías		<table><tr><th rowspan="3">Número de guías</th><th colspan="4">R/D</th></tr><tr><th>0,50</th><th>0,75</th><th>1,00</th><th>1,50</th></tr><tr><th colspan="4">Relación L/D</th></tr><tr><td>1</td><td>18</td><td>10</td><td>8</td><td>7</td></tr><tr><td>2</td><td>12</td><td>8</td><td>7</td><td>7</td></tr><tr><td>3</td><td>10</td><td>7</td><td>7</td><td>6</td></tr></table>	Número de guías	R/D				0,50	0,75	1,00	1,50	Relación L/D				1	18	10	8	7	2	12	8	7	7	3	10	7	7	6													
		Número de guías		R/D																																							
0,50	0,75			1,00	1,50																																						
Relación L/D																																											
1	18	10	8	7																																							
2	12	8	7	7																																							
3	10	7	7	6																																							
Codo de X°		Codo de radio con o sin guías	X/90 multiplicado por el valor correspondiente a codo análogo de 90°																																								
Codo recto rectangular		Sin guías	60																																								
		Guías de cambio de dirección de simple espesor	15																																								
		Guías de cambio de dirección de doble espesor	10																																								
Doble codo		S = O	15																																								
W/D = 1, R/D = 1,25 *		S = D	10																																								
Doble codo		S = O	20																																								
W/D = 1, R/D = 1,25 *		S = D	22																																								
Doble codo		S = O	15																																								
W/D = 1, R/D = 1,25 * para ambos		S = D	16																																								
Doble codo		Dirección de la flecha	45																																								
W/D = 2, R ₁ /D = 1,25 *, R ₂ /D = 0,5		Dirección inversa	40																																								
Doble codo		Dirección de la flecha	17																																								
W/D = 4, R/D = 1,25 * para ambos codos		Dirección inversa	18																																								

TABLA 10. ROZAMIENTO EN LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONDUCTOS RECTANGULARES (Cont.)

ELEMENTO	CONDICIONES	VALOR DE n ***																												
Transformación 	$V_2 = V_1$ Pérdida p. e. = nhv_1	0,04																												
Expansión 	<div>« n »</div> <div>Ángulo « a »</div> <table><tr><th>v_2/v_1</th><th>5°</th><th>10°</th><th>15°</th><th>20°</th><th>30°</th><th>40°</th></tr><tr><td>0,20</td><td>0,25</td><td>0,22</td><td>0,20</td><td>0,18</td><td>0,15</td><td>0,13</td></tr><tr><td>0,40</td><td>0,27</td><td>0,25</td><td>0,23</td><td>0,22</td><td>0,20</td><td>0,19</td></tr><tr><td>0,60</td><td>0,28</td><td>0,26</td><td>0,25</td><td>0,24</td><td>0,24</td><td>0,23</td></tr></table> <div>Ganancia p. e. = $n(hv_1 - hv_2)$</div>	v_2/v_1	5°	10°	15°	20°	30°	40°	0,20	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,40	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,60	0,28	0,26	0,25	0,24	0,24	0,23	
v_2/v_1	5°	10°	15°	20°	30°	40°																								
0,20	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13																								
0,40	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19																								
0,60	0,28	0,26	0,25	0,24	0,24	0,23																								
Contracción 	<table><tr><th>a</th><th>30°</th><th>45°</th><th>60°</th></tr><tr><td>n</td><td>0,311 ****</td><td>0,317</td><td>0,326</td></tr></table> <div>Pérdida p. e. = $n(hv_2 - hv_1)$ **** Pendiente 25 %</div>	a	30°	45°	60°	n	0,311 ****	0,317	0,326																					
a	30°	45°	60°																											
n	0,311 ****	0,317	0,326																											
Entrada abrupta 	Pérdida p. e. = nhv_1	0,10																												
Entrada suave 		0,009																												
Salida abrupta 	Pérdida p. e. o ganancia consideradas nulas																													
Salida suave 																														
Entrada reentrante 	Pérdida p. e. = nhv_1	0,25																												
Orificio redondo de borde agudo 	<table><tr><th>A_2/A_1</th><th>0</th><th>0,25</th><th>0,50</th><th>0,75</th><th>1,00</th></tr><tr><td>n</td><td>0,76</td><td>0,70</td><td>0,57</td><td>0,33</td><td>0</td></tr></table> <div>Pérdida p. e. = nhv_2</div>	A_2/A_1	0	0,25	0,50	0,75	1,00	n	0,76	0,70	0,57	0,33	0																	
A_2/A_1	0	0,25	0,50	0,75	1,00																									
n	0,76	0,70	0,57	0,33	0																									
Contracción abrupta 	<table><tr><th>V_1/V_2</th><th>0</th><th>0,25</th><th>0,50</th><th>0,75</th></tr><tr><td>n</td><td>0,40</td><td>0,37</td><td>0,29</td><td>0,15</td></tr></table> <div>Pérdida p. e. = nhv_2</div>	V_1/V_2	0	0,25	0,50	0,75	n	0,40	0,37	0,29	0,15																			
V_1/V_2	0	0,25	0,50	0,75																										
n	0,40	0,37	0,29	0,15																										
Expansión abrupta 	<table><tr><th>V_2/V_1</th><th>0,20</th><th>0,40</th><th>0,60</th><th>0,80</th></tr><tr><td>n</td><td>0,09</td><td>0,14</td><td>0,14</td><td>0,09</td></tr></table> <div>Ganancia p. e. = nhv_1</div>	V_2/V_1	0,20	0,40	0,60	0,80	n	0,09	0,14	0,14	0,09																			
V_2/V_1	0,20	0,40	0,60	0,80																										
n	0,09	0,14	0,14	0,09																										
Tubería que atraviesa el conducto 	<table><tr><th>E/D</th><th>0,10</th><th>0,25</th><th>0,50</th></tr><tr><td>n</td><td>0,06</td><td>0,16</td><td>0,60</td></tr></table> <div>Pérdida p. e. = nhv_1</div>	E/D	0,10	0,25	0,50	n	0,06	0,16	0,60																					
E/D	0,10	0,25	0,50																											
n	0,06	0,16	0,60																											
Barra que atraviesa el conducto 	<table><tr><th>E/D</th><th>0,10</th><th>0,25</th><th>0,50</th></tr><tr><td>n</td><td>0,21</td><td>0,42</td><td>1,21</td></tr></table> <div>Pérdida p. e. = nhv_1</div>	E/D	0,10	0,25	0,50	n	0,21	0,42	1,21																					
E/D	0,10	0,25	0,50																											
n	0,21	0,42	1,21																											
Alivio sobre la obstrucción 	<table><tr><th>E/D</th><th>0,10</th><th>0,25</th><th>0,50</th></tr><tr><td>n</td><td>0,02</td><td>0,07</td><td>0,27</td></tr></table> <div>Pérdida p. e. = nhv_1</div>	E/D	0,10	0,25	0,50	n	0,02	0,07	0,27																					
E/D	0,10	0,25	0,50																											
n	0,02	0,07	0,27																											

Véanse las notas en la página siguiente.

NOTAS PARA TABLA 9

* L y D están en metros. D es el diámetro del codo. L es la longitud equivalente adicional del conducto sumado a la longitud medida. La longitud equivalente L es igual a D multiplicada por la relación indicada.

** El valor de n representa la pérdida de presión y se puede convertir en la longitud equivalente adicional del conducto por la siguiente ecuación

$$L = n \times \frac{h_v}{h_r}$$

donde:

L = longitud equivalente adicional, metros

h_v = presión dinámica en V_2 , mm c. a.

h_r = pérdida por rozamiento por metro, diámetro de conducto en V_2 , mm c. a. (gráfico 7)

n = valor para T o cruz.

*** La T o la cruz pueden ser reducidas o se puede adoptar la misma dimensión en tramo recto.

NOTAS PARA TABLA 10

* 1,25 es valor standard para un codo de radio completo sin guías.

** L y D están en metros. D es la dimensión de conducto representada en el dibujo. L es la longitud equivalente adicional del conducto añadido al conducto medido. La longitud equivalente L es igual a D multiplicada por la relación indicada.

*** El valor n es el número representativo de la presión dinámica, pérdida de presión dinámica o ganancias de velocidad en un accesorio, y puede ser convertida en longitud equivalente adicional del conducto por la siguiente ecuación:

$$L = n \times \frac{h_v}{h_r}$$

donde:

L = longitud adicional equivalente, metros

h_v = presión dinámica para V_1 o V_2 , mm c. a.

h_r = pérdida por rozamiento por metro, sección recta del conducto en h_v , mm c. a. (gráfico 7)

n = valor para un determinado accesorio.

TABLA 11. ROZAMIENTO EN CODOS SECCIÓN CIRCULAR

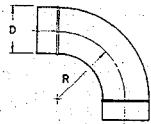
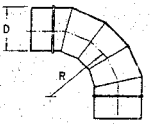
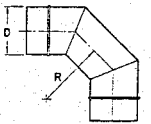
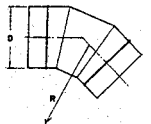
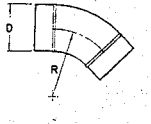
DIÁMETRO DEL CODO (cm)	LISO DE 90°	90° 5 PIEZAS	90° 3 PIEZAS	45° 3 PIEZAS	45° LISO
	 R/D = 1,5	 R/D = 1,5	 R/D = 1,5	 R/D = 1,5	 R/D = 1,5
LONGITUD EQUIVALENTE ADICIONAL DE CONDUCTO RECTO (METROS)					
8	0,73	0,96	1,92	0,48	0,34
10	0,89	1,20	2,40	0,50	0,44
12	1,08	1,44	2,88	0,72	0,54
14	1,26	1,66	3,32	0,83	0,63
16	1,44	1,90	3,80	0,95	0,73
18	1,63	2,16	4,32	1,08	0,82
20	1,81	2,40	4,80	1,20	0,92
22		2,64	5,28	1,32	
24		2,88	5,76	1,44	
26		3,12	6,24	1,56	
28		3,36	6,72	1,68	
32		3,84	7,68	1,92	
36		4,34	8,68	2,17	
40		4,82	9,64	2,41	
44		5,30	10,60	2,65	
48		5,76	11,52	2,88	
52		6,24	12,48	3,12	
56		6,70	13,40	3,35	
60		7,20	14,40	3,60	

TABLA 12. ROZAMIENTO EN CODOS RECTANGULARES

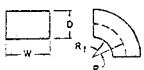

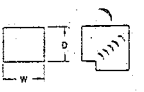
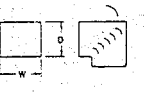
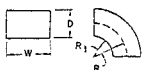

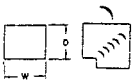
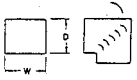
DIMENSIONES DEL CONDUCTO (cm)		CODO DE RADIO SIN GUÍAS	CODO DE RADIO CON GUÍAS ***		CODOS CUADRADOS ***	
						
W	D	Relación de radio ** $R/D = 1,25$	$R_t = 150$ mm (Recomendado)	$R_t = 75$ mm (Aceptable)	Guías cambio dirección Doble espesor	Guías cambio dirección Simple espesor
LONGITUD ADICIONAL EQUIVALENTE DE CONDUCTO RECTO (METROS)						
240	120	9,22	13,40	12,60	11,80	17,70
	90	7,38	10,82	9,22	8,85	13,40
	75	6,51	9,22	11	7,30	10,95
	60	5,65	9,84	8,36	5,90	8,85
	50	4,67	8,23	7,30	5	7,30
180	120	8,25	13,04	11,92	10,45	17,70
	90	6,90	9,80	8,65	8,56	13,40
	75	6,20	8,40	9,80	7,43	10,95
	60	5,05	8,48	7,31	6,33	8,85
	50	4,42	6,76	5,75	5,31	7,30
150	120	8	12,17	11,43	9,74	17,70
	90	6,51	9,10	8,06	8,56	13,40
	75	5,65	7,50	9,20	6,88	10,95
	60	4,77	8,06	7,75	5,98	8,85
	50	4,18	6,44	6,17	5,01	7,30
120	120	13,31	10,48	9,96	8,55	17,70
	90	7,67	10,38	6,60	6,88	13,40
	75	5,90	7,67	8,40	6,20	10,95
	60	5,28	6,88	6,20	5,28	8,85
	50	4,42	7,13	5,03	4,46	7,30
105	105	6,81	8,23	7,57	7,17	15,55
	90	5,90	7,05	6,31	6,56	13,40
	75	5,03	6,30	7,74	5,92	10,95
	60	4,42	6,26	5,64	4,75	8,85
	50	3,87	5,28	4,70	4,18	7,30
90	180	10,04	8,04	5,69	5,90	13,40
	90	5,60	6,69	6,64	5,28	10,95
	75	4,79	5,70	6,47	4,42	8,85
	60	4,14	5,95	4,42	3,80	7,30
	50	3,53	5,03	3,62	3,25	5,95
80	80	5,00	5,53	5,10	5,09	11,98
	75	4,76	5,45	6,20	5,03	10,95
	60	4,11	5,69	5,00	4,39	8,85
	50	3,54	4,67	4,18	3,56	7,30
	40	2,95	3,52	3,56	3,19	5,95
	30	2,33		3,51	2,33	4,50
	25	2,08		2,66	2,08	3,56
	20	1,72		2,38	1,72	2,98

TABLA 12. ROZAMIENTO EN CODOS RECTANGULARES (Cont.)

DIMENSIONES DEL CONDUCTO (cm)		CODO DE RADIO SIN GUÍAS 	CODO DE RADIO CON GUÍAS ***		CODOS CUADRADOS ***	
						
W	D	Relación de radio ** R/D = 1,25	Rt = 150 mm (Recomendado)	Rt = 75 mm (Aceptable)	Guías cambio dirección Doble espesor	Guías cambio dirección Simple espesor
LONGITUD ADICIONAL EQUIVALENTE DE CONDUCTO RECTO (METROS)						
70	70	4,40	4,22	5,03	4,16	10,33
	60	3,84	5,10	4,45	3,84	8,85
	50	3,54	4,40	3,80	3,54	7,30
	40	2,95	3,19	3,26	2,95	5,95
	30	2,33		3,21	2,33	4,50
	25	2,08		2,66	2,08	3,56
	20	1,72		2,38	1,72	2,98
60	240 *	11,28	5,65		6,82	23,83
	180 *	9,46	5,13		6,26	21,46
	120 *	6,55	6,02	5,96	5,32	18,30
	60	3,74	4,75	4,17	3,53	8,85
	50	3,26	3,84	3,54	2,95	7,30
	40	2,91	3,25	2,92	2,64	5,95
	30	2,33		2,99	2,34	4,50
	25	2,05		2,33	2,06	3,56
	20	1,75		2,08	1,73	2,98
	15	1,47			1,17	2,36
50	200 *	9,47	4,88		5,65	19,83
	150 *	7,75	5,65		5,03	17,41
	100 *	6,50	4,50	4,13	4,13	14,57
	50	3,25	3,52	2,95	2,95	7,30
	40	2,66	2,61	2,70	2,37	5,95
	30	2,05		2,66	2,05	4,50
	25	1,80		2,37	1,80	3,56
	20	1,47		2,08	1,47	2,98
	15	1,17			1,17	2,36
40	160 *	7,72	2,76		4,18	14,26
	120 *	6,22	3,63	3,52	3,56	12,87
	80 *	4,43	3,26	2,67	3,25	11,24
	40	2,66	2,36	2,40	2,08	5,95
	30	2,05		2,34	1,76	4,50
	25	1,76		1,77	1,49	3,56
	20	1,47		1,81	1,47	2,98
	15	1,17			1,17	2,36
30	120 *	5,64	2,34	2,34	2,95	9,84
	90 *	4,71	2,10	2,10	2,67	8,95
	60 *	3,25	2,42	2,42	2,32	7,74
	30	2,05		2,01	1,49	4,50
	25	1,76		1,49	1,47	3,56
	20	1,47		1,47	1,16	2,98
	15	1,15			0,88	2,36
25	100 *	5,53	1,79	1,88	2,33	7,99
	75 *	3,81	1,79	2,36	2,07	7,18
	50 *	2,65	2,08	1,78	1,78	6,25
	25	1,47		1,49	1,19	3,56
	20	1,19		1,49	1,16	2,98
	15	1,19			0,88	2,36
20	80 *	3,82	1,53	1,23	1,79	6,26
	60 *	3,21	1,77	1,49	1,79	5,65
	40 *	2,33	1,15	1,47	1,47	4,73
	20	1,16		1,17	0,89	2,98
	15	0,88			0,89	2,36
15	60 *	2,95	1,17	1,19	1,19	4,45
	45 *	2,37	0,88	1,19	1,17	3,83
	30 *	1,72		1,19	0,89	3,01
	15	0,88			0,89	2,36

* Dobladuras difíciles como la representada.

Dobladura difícil



Dobladura fácil

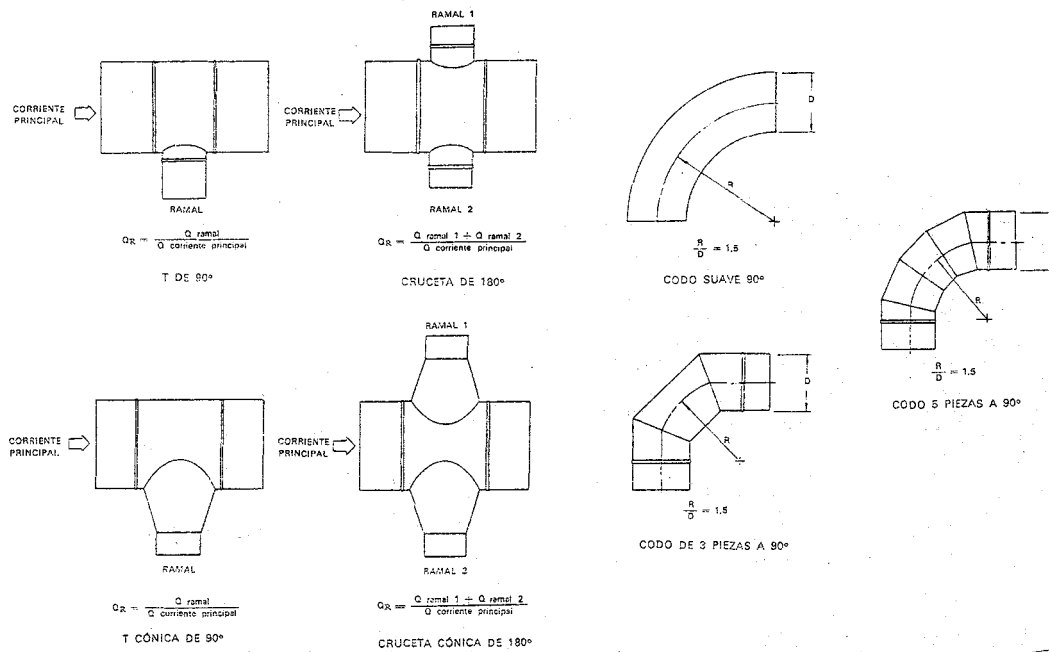
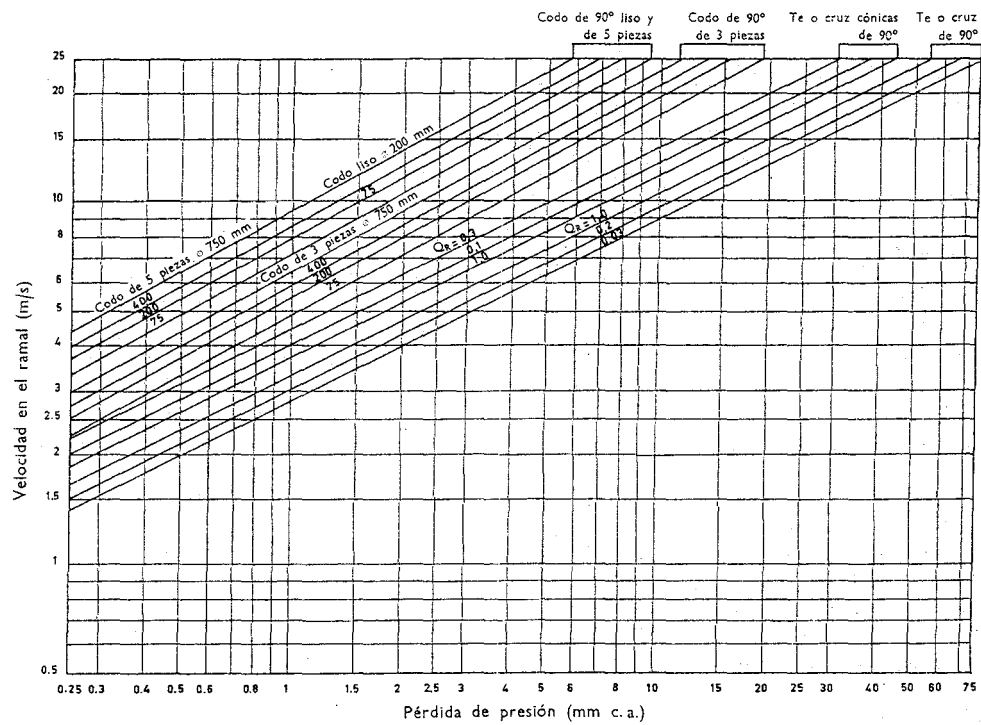


** Para otras relaciones de radio, véase tabla 10.

*** Para otras dimensiones, véase tabla 10.

Los deflectores deben estar colocados como muestra el gráfico 6 página 29, para obtener estas mínimas pérdidas.

GRÁFICO 9. PÉRDIDAS POR ACCESORIOS REDONDOS
Codos, T y cruces



- NOTAS:
1. Las pérdidas de presión en las T, o cruzetas, son función de la velocidad del aire en la derivación. Esto representa una caída de presión estática desde la corriente principal a la derivada. Q_R es la relación entre el caudal de aire derivado y el de la corriente principal.
 2. La pérdida de presión en un codo suave de 45° es la mitad del correspondiente de 90°.
 3. La pérdida de presión en un codo de 3 piezas de 45° es la mitad de la correspondiente al codo de cinco piezas de 90°.

que proporciona los mismos resultados que si se utilizase el gráfico de pérdidas de carga.

Con los datos que da la tabla 13 o los diámetros obtenidos en el gráfico 7, se entra en la tabla 6 para seleccionar las dimensiones del conducto rectangular. Esta forma de dimensionar los conductos reduce automáticamente la velocidad del aire en el sentido de la corriente.

Para determinar la pérdida de carga total, que debe ser superada por el ventilador, es preciso calcular la pérdida en el tramo que tenga mayor resistencia. La resistencia debe incluir los codos y acoplamientos correspondientes a dicho conducto.

Ejemplo 4. Método de pérdida de carga constante para el cálculo de conductos

Datos:

Sistema de conductos para oficina pública (fig. 47).

Volumen total de aire: 9.000 m³/h.

18 bocas de impulsión: 500 m³/h por boca.

Presión en las bocas: 3,8 mm c.a.

Radio de los codos: R/D = 1,25.

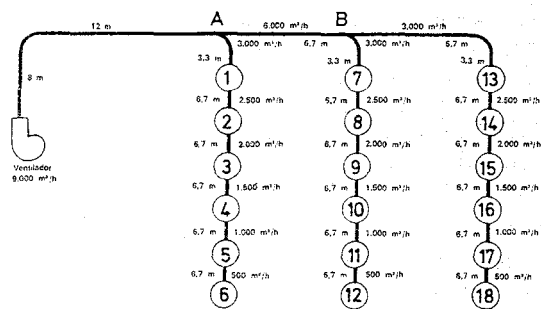


Fig. 47. Disposición del conducto para sistema de baja velocidad (ejemplos 4 y 5)

Calcular:

1. Velocidad inicial en el conducto, sección, dimensiones y pérdida de carga en el conducto principal desde el ventilador hasta la primera rama.
2. Dimensiones de los restantes conductos.
3. Longitud equivalente del conducto de mayor resistencia.
4. Presión estática en la descarga del ventilador.

Solución:

1. En la tabla 7 se toma una velocidad inicial de 9 m/s.

$$\text{Sección del conducto} = \frac{9.000 \text{ m}^3/\text{h}}{3.600 \times 9 \text{ m/s}} = 0,28 \text{ m}^2.$$

En la tabla 6, se elige un conducto de 540 cm × 540 mm. La pérdida de carga por unidad de longitud se obtiene en el gráfico 7 partiendo del volumen de aire (9.000 m³/h) y del diámetro equivalente de la tabla 6, que es 600 mm.

Pérdida de carga = 0,15 mm c.a. por cada m de longitud equivalente.

2. Las secciones de cada tramo se calculan utilizando la tabla 13, y las dimensiones del conducto se deducen de la tabla 6. La siguiente tabla contiene los resultados:

Sección del conducto	Caudal de aire (m ³ /h)	% de la capacidad * inicial
hasta A	9.000	100
A-B	6.000	67
B-13	3.000	33
13-14	2.500	28
14-15	2.000	22
15-16	1.500	17
16-17	1.000	11
17-18	500	6

Sección del conducto	Área de la sec. recta %	Área en m ² **	Dimensiones del conducto (mm)
hasta A	100	0,28	540 × 540
A-B	73,5	0,20	540 × 400
B-13	41,0	0,12	540 × 250
13-14	35,5	0,10	450 × 250
14-15	29,5	0,083	350 × 250
15-16	24	0,068	300 × 250
16-17	17,5	0,049	200 × 250
17-18	10,5	0,029	200 × 250

* % de la capacidad = $\frac{\text{caudal de aire en cada sección}}{\text{caudal total de aire}}$

** Área del conducto = Porcentaje de área referida al área inicial del conducto (del ventilador hasta A)

Las secciones de conducto de B a 12 y de A hasta 6, tienen las mismas dimensiones que las correspondientes al conducto de B a 18.

3. Es evidente que el conducto de mayor resistencia es el que empieza en el ventilador y termina en 18. Las tablas 10 y 12 nos darán las pérdidas en los acoplamientos. A continuación se da una tabla con la longitud total equivalente de este conducto.

Sección del conducto	Elemento	Longitud (m)	Longitud equivalente adicional
hasta A	conducto	20	
	codo		3,7
A-B	conducto	6,7	
B-13	conducto	10	
	codo		1,9
13-14	conducto	6,7	
14-15	conducto	6,7	
15-16	conducto	6,7	
16-17	conducto	6,7	
17-18	conducto	6,7	
Total =		70,2	5,6

4. La pérdida de carga total en el conducto desde el ventilador hasta la boca 18 será:

$$\text{Pérdida} = \text{long. total equivalente} \times \text{pérdida unitaria} = 75,8 \times 0,15 \text{ mm c.a.} = 11,37 \text{ mm c.a.}$$

La presión estática total que necesita el ventilador es la suma de la presión en las bocas, más la pérdida de carga en el conducto. De aquí debe des-

SISTEMAS DE CONDUCTOS DE BAJA VELOCIDAD

Método de reducción de velocidad

Consiste en seleccionar una velocidad de salida en la descarga del ventilador y establecer arbitrariamente una serie de reducciones a lo largo del conducto. La velocidad inicial no debe exceder de los valores indicados en la tabla 7. Los valores de diámetros de conducto circular equivalente se pueden encontrar en el gráfico 7 partiendo de la velocidad del aire y de su caudal. La tabla 6 se emplea para elegir las dimensiones del conducto rectangular, partiendo del conducto circular equivalente. La presión estática del ventilador se determina por cálculo, utilizando la mayor longitud del conducto, comprendidos todos los codos y acoplamientos. Las tablas 10 y 12 proporcionan las pérdidas en los codos y acoplamientos rectangulares. El conducto más largo no es necesariamente el que tiene mayor pérdida de carga, puesto que conductos más cortos pueden tener más codos, acoplamientos y restricciones.

Normalmente no se utiliza este método porque, para resolver el problema con una precisión razonable, se necesita mucha experiencia y conocer perfectamente el cálculo de conductos. Solamente debe usarse en sistemas muy elementales, y en esos casos deben instalarse compuertas divisoras para compensar el sistema.

Método de pérdida de carga constante

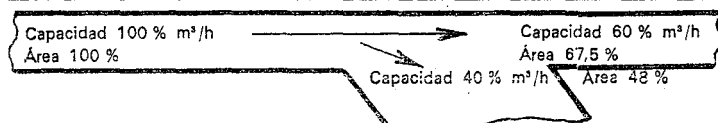
Este método se utiliza en los conductos de impulsión, retorno y extracción de aire, y consiste en calcular los conductos de forma que tengan la misma pérdida de carga por unidad de longitud, a lo largo de todo el sistema. Es mejor que el de reducción de velocidad porque en los trazados simétricos no requiere ulterior compensación. Si la instalación consta de tramos cortos y largos, el más corto exige mucho amortiguamiento. Un sistema de este tipo es difícil de equilibrar porque el método de pérdida de carga constante no tiene en cuenta el equilibrio de caídas de presión en las distintas ramas, ni está provisto de medios para igualar las caídas de presión o para la misma presión estática en cada boca terminal de impulsión.

El procedimiento más corriente consiste en elegir una velocidad inicial en el conducto principal próximo al ventilador. Esta velocidad se deduce de la tabla 7 en la que el factor restrictivo es el nivel de ruido. En este caso se utiliza el gráfico 7, partiendo de la velocidad y caudal del aire, para determinar la pérdida de carga por unidad de longitud. Esta debe mantenerse constante a lo largo del sistema, y el diámetro del conducto circular equivalente se deduce de dicha tabla.

Para abreviar los cálculos de la sección de los conductos se utiliza con frecuencia la tabla 13,

TABLA 13. PORCENTAJE DE ÁREA DE SECCIÓN RECTA EN RAMAS PARA CONSERVAR CONSTANTE EL ROZAMIENTO

% CAUDAL m³/h	% ÁREA CONDUCTO	% CAUDAL m³/h	% ÁREA CONDUCTO	% CAUDAL m³/h	% ÁREA CONDUCTO	% CAUDAL m³/h	% ÁREA CONDUCTO
1	2,0	26	33,5	51	59,0	76	81,0
2	3,5	27	34,5	52	60,0	77	82,0
3	5,5	28	35,5	53	61,0	78	83,0
4	7,0	29	36,5	54	62,0	79	84,0
5	9,0	30	37,5	55	63,0	80	84,5
6	10,5	31	39,0	56	64,0	81	85,5
7	11,5	32	40,0	57	65,0	82	86,0
8	13,0	33	41,0	58	65,5	83	87,0
9	14,5	34	42,0	59	66,5	84	87,5
10	16,5	35	43,0	60	67,5	85	88,5
11	17,5	36	44,0	61	68,0	86	89,5
12	18,5	37	45,0	62	69,0	87	90,0
13	19,5	38	46,0	63	70,0	88	90,5
14	20,5	39	47,0	64	71,0	89	91,5
15	21,5	40	48,0	65	71,5	90	92,0
16	23,0	41	49,0	66	72,5	91	93,0
17	24,0	42	50,0	67	73,5	92	94,0
18	25,0	43	51,0	68	74,5	93	94,5
19	26,0	44	52,0	69	75,5	94	95,0
20	27,0	45	53,0	70	76,5	95	96,0
21	28,0	46	54,0	71	77,0	96	96,5
22	29,5	47	55,0	72	78,0	97	97,5
23	30,5	48	56,0	73	79,0	98	98,0
24	31,5	49	57,0	74	80,0	99	99,0
25	32,5	50	58,0	75	80,5	100	100,0



contarse la recuperación debida a la diferencia de velocidad entre la primera y última parte del conducto:

Velocidad en la primera sección = 9 m/s.

Velocidad en la última sección = 3 m/s.

Utilizando un coeficiente de recuperación del 75 %

$$\text{Recuperación} = 0,75 \left[\left(\frac{540}{242,4} \right)^2 - \left(\frac{180}{242,4} \right)^2 \right] = 3,3 \text{ mm c.a.}$$

por tanto, la presión estática total en la descarga del ventilador será igual a:

pérdida de carga + presión en las bocas —

— recuperación = 11,37 + 3,8 — 3,3 =

= 11,87 mm c.a.

El método de caída de presión constante no satisface la condición de tener una presión estática uniforme en todas las ramas y bocas de impulsión. Para tener en el comienzo de cada rama la cantidad de aire correcta es necesario disponer una compuerta que regule el caudal en todas las ramas y en los terminales de aire (bocas de impulsión). También puede ser necesario disponer de un sistema de control (regulador de volumen o control de volumen en las bocas) para regular el caudal de aire en cada boca de impulsión y conseguir una distribución correcta del aire.

En el ejemplo 4, si el ventilador elegido tiene una velocidad de descarga de 10 m/s se podría descontar de la presión estática total

$$\text{Ganancia} = 0,75 \left[\left(\frac{600}{242,4} \right)^2 - \left(\frac{540}{242,4} \right)^2 \right] = 0,87 \text{ mm c.a.}$$

Método de recuperación estática

El fundamento de este método consiste en dimensionar el conducto de forma que el aumento de presión estática (ganancia debida a la reducción de velocidad) en cada rama o boca de impulsión, compense las pérdidas por rozamiento en la siguiente sección del conducto. De esta forma la presión estática será la misma en cada boca y al comienzo de cada rama.

Para calcular un conducto por este procedimiento se adopta el siguiente método: Seleccionar una velocidad inicial para la descarga del ventilador en la tabla 7 y dimensionar la primera sección del conducto por medio de la tabla 6.

Las demás secciones del conducto se dimensionan por medio del gráfico 10 (relación L/Q) y el gráfico 11 (recuperación estática en baja velocidad). El gráfico 10 se usa para determinar la relación L/Q conociendo el caudal de aire (Q) y la longitud (L) entre dos bocas, o dos ramas de la sección del conducto que va a dimensionarse, por el método de recuperación estática. Esta longitud (L) es la equivalente entre bocas o ramas incluyendo los codos y prescindiendo de las transformaciones. El efecto de la transformación se tiene en cuenta en el gráfico 11 de recuperación estática. Esto supone que la transformación se

ha proyectado de acuerdo con las indicaciones que se dan en este capítulo.

El gráfico 11 se utiliza para determinar la velocidad en la sección del conducto que se está calculando. Los valores de la relación L/Q y la velocidad (V_1) en la sección anterior a la que se está calculando son los que se van a utilizar para entrar en el gráfico 11. De este gráfico se obtiene V_2 que, junto con el caudal, nos dará la sección del conducto. Esta sección nos proporcionará en la tabla 6 las dimensiones del conducto rectangular o el diámetro del conducto circular equivalente. Dicha sección de conducto permite que la pérdida de carga a lo largo del mismo iguale al aumento de presión estática que se produce por el cambio de velocidad después de cada derivación o boca de impulsión. No obstante, en algunos casos la reducción de la sección del conducto es demasiado pequeña para que merezca realizarla. En otros casos la reducción podría resultar mayor de lo necesario. Esto produce una ganancia o pérdida en la sección del conducto, que debe repercutir sobre el ventilador. Normalmente la pérdida o ganancia es pequeña y en muchos casos puede despreciarse.

En vez de proyectar el sistema de conductos para que la ganancia o pérdida sea nula, es posible hacerlo de modo que se tenga una pérdida o ganancia constante en todo el sistema, o parte de él, pero esto aumenta el precio y el tiempo necesario para equilibrar el sistema, y puede hacer necesario aumentar la potencia del motor del ventilador. Aunque normalmente no se recomienda calcular el sistema para una pérdida de carga constante, se reduce con ello el tamaño de los conductos.

Ejemplo 5. Método de recuperación estática para el cálculo de conductos

Datos:

Conductos de figura 47, ejemplo 4.

Caudal total de aire: 9.000 m³/h.

Velocidad inicial: 9 m/s (ejemplo 4).

Codo ordinario: $R/D = 1,25$.

18 bocas de impulsión de 500 m³/h cada una.

Presión en las bocas: 3,8 mm c.a.

Determinar:

1. Tamaño de los conductos.
2. Presión estática total en la descarga del ventilador.

Solución:

1. Con una velocidad inicial de 9 m/s y un volumen de aire de 9.000 m³/h, la sección del conducto a la salida del ventilador es de 0,28 m². Por la tabla 6 se obtienen unas dimensiones de 54 cm × 54 cm para esta sección. El diámetro del conducto circular equivalente es de 60 cm y la pérdida unitaria de carga es de 0,15 mm c.a. por m de longitud equivalente, según el gráfico 7. La longitud equivalente del conducto desde la descarga del ventilador hasta la primera derivación es:

longitud del conducto + longitud adicional
debida al codo = 20 + 3,7 = 23,7 m.

GRÁFICO 10. RELACIÓN L/Q

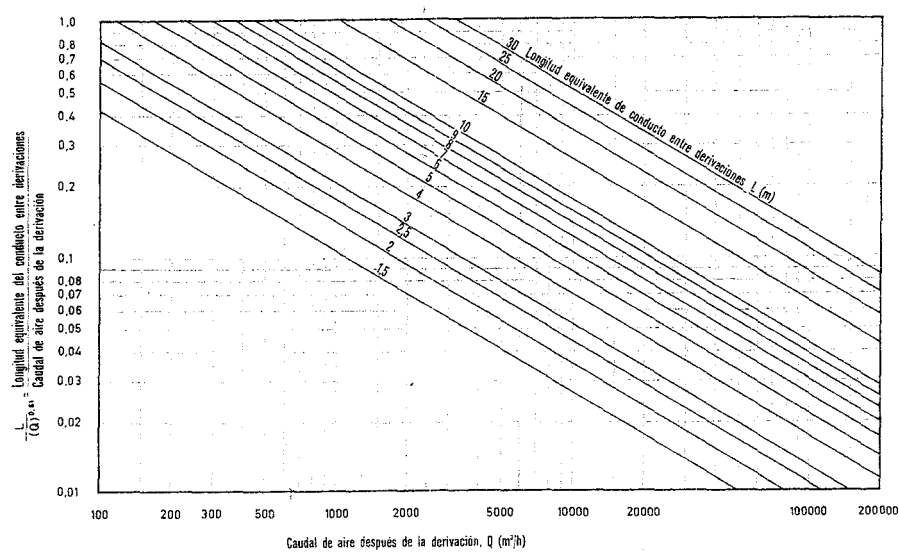
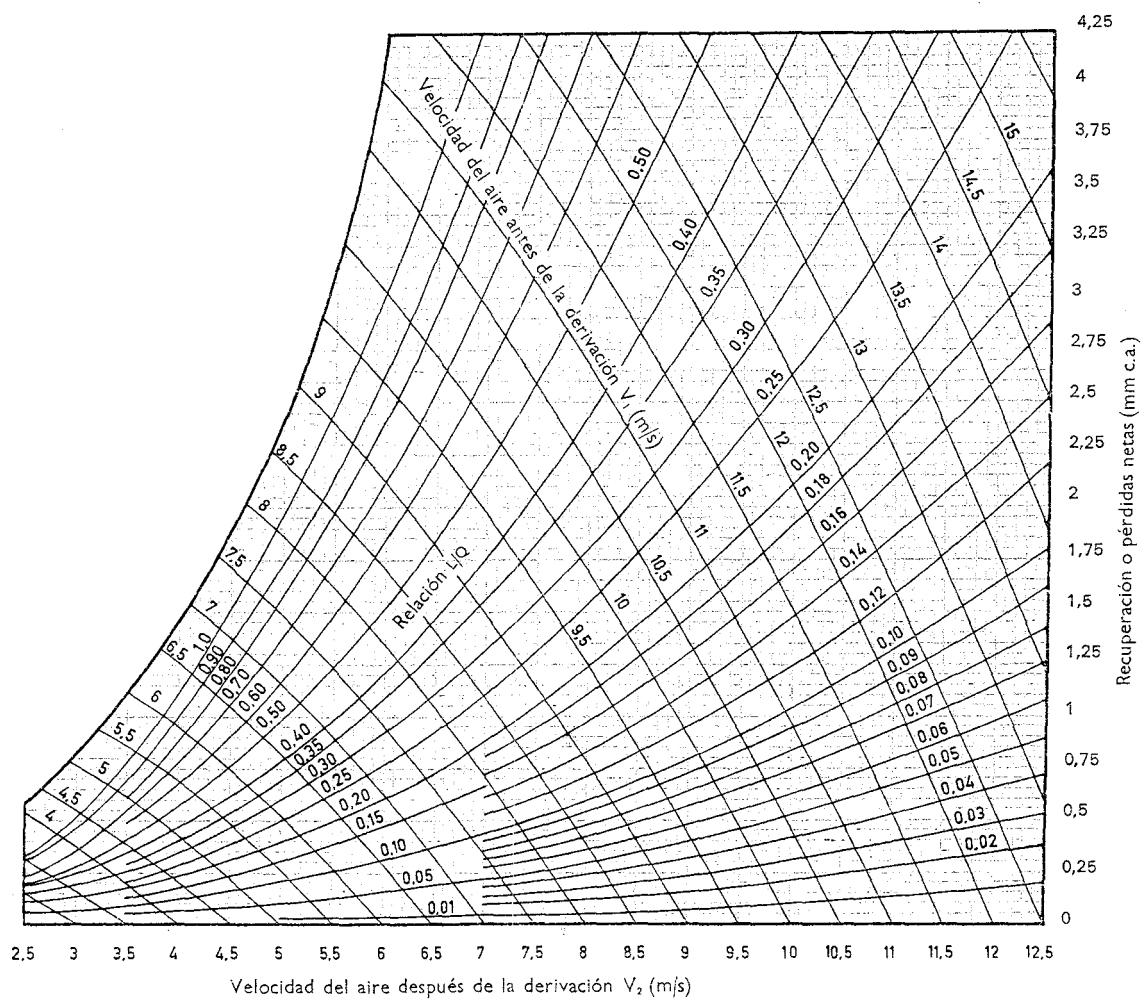


GRÁFICO 11. RECUPERACIÓN ESTÁTICA EN BAJA VELOCIDAD



Pérdida de presión estática (p.e.) para el sistema de conductos de impulsión = P.E. para conducto crítico --- mm. c.a. más pérdida p.e. salida — mm. c.a. = --- mm. c.a.

1	2	3	4	5		6		7	8	9
N.º SECCIÓN	CAUDAL AIRE Q (m³/h)	LONGITUD EQUIVA- LENTE L (m)	RAZÓN L/Q	VELOCIDAD V (m/s)		ÁREA (m²)		DIÁMETRO CONDUCTO O DIMEN- SIONES RECTANGU- LARES * (mm)	PÉRDIDA POR ROZA- MIENTO O VARIACIÓN DE P.E. ENTRE DE- RIVACIONES (mm c.a.)	PÉRDIDA TOTAL DE P.E. EN CONDUCTO (mm c.a.)
				indicada	elegida	indicada	elegida			
Ventilador a A	9.000	23,7	0,435	9		0,28		540 × 540	3,55	3,55
A - B	6.000	6,7	0,155	8		0,20		540 × 400		
B - 13	3.000	11,9 *	0,41	6		0,13		540 × 270		
13 - 14	2.500	6,7	0,26	5		0,13		540 × 270		
14 - 15	2.000	6,7	0,3	4,5		0,12		530 × 250		
15 - 16	1.500	6,7	0,35	3,8		0,11		500 × 250		
16 - 17	1.000	6,7	0,45	3		0,092		400 × 250		
17 - 18	500	6,7	0,68	2,5		0,055		250 × 250		
B - 7	3.000	5,2 *						540 × 270		
7 - 8	2.500	6,7						540 × 270		
8 - 9	2.000	6,7						530 × 250		
9 - 10	1.500	6,7						500 × 250		
10 - 11	1.000	6,7						400 × 250		
11 - 12	500	6,7						250 × 250		
A - 1	3.000	5,2 *						540 × 270		
1 - 2	2.500	6,7						540 × 270		
2 - 3	2.000	6,7						530 × 250		
3 - 4	1.500	6,7						500 × 250		
4 - 5	1.000	6,7						400 × 250		
5 - 6	500	6,7						250 × 250		

* Se asigna la dimensión del conducto para determinar la pérdida en el codo.

** Dimensiones de conducto de la Tabla 6. Primero se dimensiona el tramo de conducto más largo. Las restantes secciones del conducto son de las mismas dimensiones, ya que son simétricas con respecto a la rama B en 18 de esta Tabla. Si las otras ramas no son simétricas y trabajan con caudales diferentes de aire, se supone o se asigna una velocidad inicial en el comienzo de la rama. Esta velocidad es algo menor que la del colector que hay antes de la derivación.

FIG. 48. Hoja de cálculo de las dimensiones del conjunto

SECCIÓN DE CONDUCTO	MÉTODO DE PÉRDIDA DE CARGA (o de rozamiento constante)		MÉTODO DE RECUPERACIÓN ESTÁTICA	
	Dimensiones del conducto (mm)	Peso del conducto (kg)	Dimensiones del conducto (mm)	Peso del conducto (kg)
Hasta A	540 × 540	246	540 × 540	246
A a B	540 × 400	60,5	540 × 400	60,5
A-1, B-7, B-13	540 × 250	90	540 × 270	92,5
1-2, 7-8, 13-14	450 × 250	45	540 × 270	92,5
2-3, 8-9, 14-15	350 × 250	38,5	530 × 250	60
3-4, 9-10, 15-16	300 × 250	35	500 × 250	48
4-5, 10-11, 16-17	200 × 250	29	400 × 250	42
5-6, 11-12, 17-18	200 × 250	29	250 × 250	32
Peso total del conducto *		573		663,5
Margen del 15 % para deshechos		86		99,5
Peso total de chapa metálica		659		763

* El peso total incluye la transformación y los codos.

FIG. 49. Comparación de los métodos del dimensionado de los conductos

La pérdida de carga en el conducto hasta la primera derivación es:

$$\text{longitud equivalente} \times \text{pérdida unitaria} = \\ = 23,7 \times 0,15 = 3,55 \text{ mm c.a.}$$

A continuación se calculan las dimensiones de las restantes secciones del conducto.

En primer lugar debe elegirse el conducto más largo (de A hasta la boca 18, fig. 47). En este ejemplo interesa que las presiones estáticas en 1, 7 y 13 sean iguales.

La figura 48 presenta en forma tabulada las dimensiones de los conductos.

- La presión total necesaria en la descarga del ventilador es igual a la suma de la pérdida de carga en el conducto principal más la presión en las bocas de impulsión.

Presión de descarga del ventilador:

$$3,55 + 3,8 = 7,35 \text{ mm c.a.}$$

Aunque la presión estática sea la misma en cada boca de impulsión, es conveniente disponer compuertas en cada rama para la regulación del caudal.

Comparación del método de recuperación estática con el de pérdida de carga constante

Los ejemplos 4 y 5 demuestran que los tamaños del conducto principal son los mismos, tanto si se calculan por el método de pérdida de carga constante, como por el de recuperación estática; no obstante, en los ramales resultan conductos mayores cuando se calculan por recuperación estática.

La figura 49 establece una comparación entre tamaños de conductos y pesos correspondientes que se obtienen por ambos métodos.

El peso de la plancha de metal que necesitan los conductos calculados por recuperación estática viene a ser un 13 % mayor que cuando se calcula por pérdida de carga constante, pero el aumento del precio de coste se compensa al reducir los gastos de explotación y el tiempo necesario para equilibrar el sistema.

Suponiendo que en los ejemplos 4 y 5 tenemos un sistema de baja velocidad, con un caudal de aire de 9.000 m³/h y una presión en las bocas de impulsión de 3,8 mm c.a., el aumento de potencia que se necesitaría calculando los conductos por el método de pérdida de carga constante, se determina en la forma siguiente:

	Recuperación estática. Presión en mm c.a.	Pérdida de carga constante. Presión en mm c.a.
Equipo acondicionador	38	38
Pérdida en conductos	3,55	11,37
Presión en la boca	3,8	3,8
Recuperación	—	- 3,3
Total	45,35	49,87

$$\text{Aumento de potencia} = \frac{49,87 - 45,35}{45,35} = 0,099, \text{ o sea, aproximadamente, un } 10 \%,$$

Este aumento de un 10 % de potencia supone un motor de mayor potencia con el consiguiente

aumento en el costo del equipo e instalación eléctricos.

SISTEMAS DE CONDUCTOS DE ALTA VELOCIDAD

Los sistemas de distribución de alta velocidad utilizan presiones estáticas y velocidades mayores que las adoptadas en un sistema convencional. El proyecto de un sistema de gran velocidad implica una transacción conciliatoria entre el empleo de conductos de menores dimensiones y ventiladores de más potencia. Al reducir el tamaño de los conductos se consigue un ahorro de espacio respecto al que normalmente se destina a los conductos de aire acondicionado.

El aumento de presión estática hace que normalmente se utilicen ventiladores de la clase II, y que deba ponerse un especial cuidado en el cálculo y construcción de los conductos. Éstos suelen estar diseñados para evitar escapes de aire que producirían un ruido demasiado molesto. Se prefieren los conductos de sección circular a los rectangulares, por su mayor rigidez. Siempre que sea posible, debe utilizarse el tubo Spiro, que está construido con lámina más delgada que la que necesitan normalmente los conductos circulares y rectangulares; además no necesita abrazaderas.

Una consideración muy importante en el proyecto de estos conductos es la simetría. Manteniendo en la medida de lo posible la simetría del sistema, se reduce el tiempo necesario para equilibrar el sistema, y se abrevia el cálculo. También se reducen el coste de construcción e instalación.

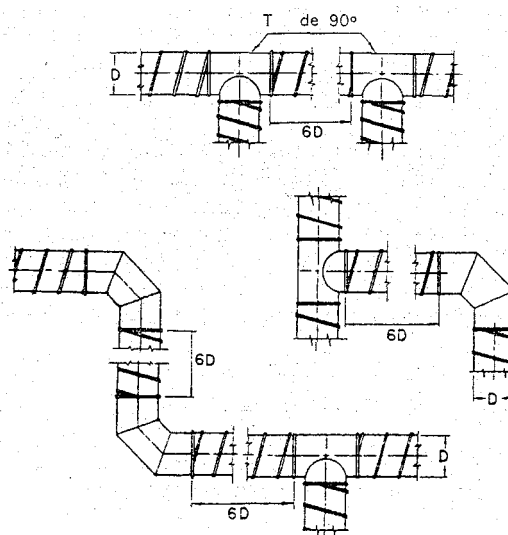


Fig. 50. Separación de accesorios en tramos de conductos

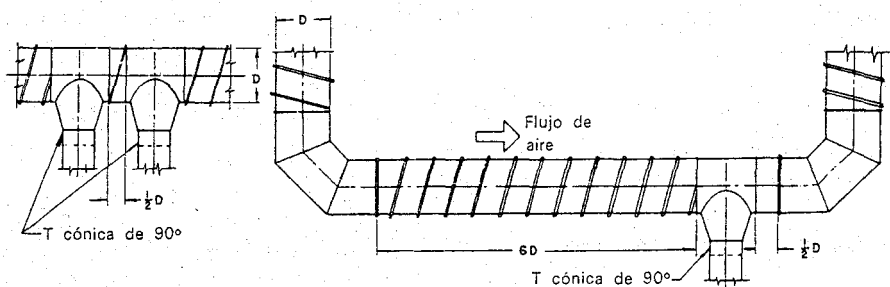


FIG. 51. Separación de accesorios cuando se emplean «T» cónicas de 90°

Debe ponerse un especial cuidado al situar y elegir los acoplamientos para evitar excesivas pérdidas de carga y ruidos. La figura 50 señala la distancia mínima de 6 diámetros que debe existir entre codos y T de 90°. Si se utiliza una T cónica, la conexión siguiente, en el sentido del movimiento del aire, debe situarse por lo menos medio diámetro más allá (fig. 51). El empleo de la T cónica se limita al conducto principal, y solamente para las velocidades iniciales crecientes en los montantes o tubos ascendentes.

Cuando se estudia el tendido del conducto principal en un sistema de alta velocidad, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Las pérdidas por rozamiento desde la descarga del ventilador hasta un punto situado inmediatamente antes de la derivación del primer montante, en todas las ramas, deben ser lo más iguales posible. Estos puntos de igual pérdida por rozamiento se indican en la figura 52.
2. Para que esto pueda cumplirse, en el caso de que partan del ventilador varios conductos principales y para sacar el mayor provecho de la velocidad utilizada, sígase la norma siguiente: la relación L/D entre la longitud equivalente de cada conducto principal (desde la descarga del ventilador hasta el primer montante) y su diámetro respectivo debe ser prácticamente constante. De este modo el conducto más largo podrá tener más caudal de aire, y se podrán utilizar mayores velocidades.
3. Mientras el espacio disponible no obligue a lo contrario, la salida que se tome del conducto principal debe hacerse por medio de una T de 90°, o de una T cónica de 90°; mejor que de 45°. Utilizando acoplamientos de 90° la pérdida de carga hasta dicha rama a lo largo del sistema es más uniforme. Además, si se utiliza un acoplamiento a 45°, normalmente hará falta otro, mientras que

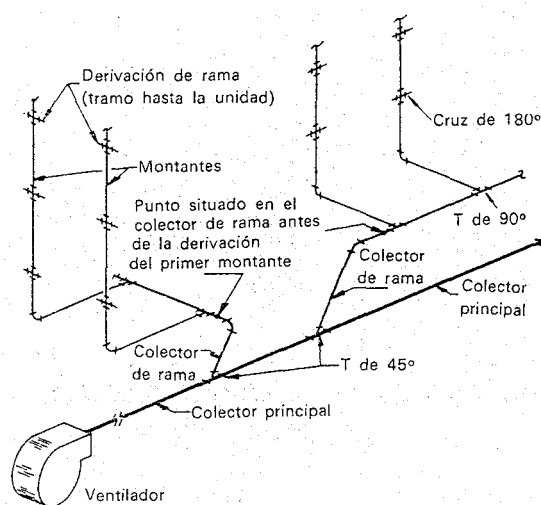


FIG. 52. Colectores y ramas de alta velocidad

utilizando uno de 90° bastará con uno y de todo ello resultará un menor coste.

El proyecto de un sistema de alta velocidad es muy parecido al de baja velocidad calculado por recuperación estática. La velocidad del aire se reduce en cada derivación y en las bocas de impulsión. Esta reducción de velocidad produce un aumento de presión estática que compensa la pérdida de carga en la siguiente sección del conducto.

La velocidad inicial en el conducto principal depende del número de horas de funcionamiento. Para conseguir un equilibrio económico entre el precio de coste y los gastos de explotación, se recomiendan menores velocidades de aire en el conducto principal cuando el equipo tenga que trabajar las 24 horas del día, y el espacio disponible lo permita. Cuando se emplea una T cónica

de 90° en vez de una T de 90° para las derivaciones del conducto principal, se recomienda mayor velocidad inicial en el ramal. La siguiente tabla indica las siguientes velocidades iniciales para dimensionar los conductos principales y los ramales:

VELOCIDADES INICIALES RECOMENDADAS PARA SER UTILIZADAS CON LOS GRÁFICOS 12 Y 13 (m/s)

CONDUCTO PRINCIPAL 12 horas de funcionamiento 24 horas de funcionamiento	15-20 10-18
RAMALES* T cónica de 90° T 90°	20-25,5 18-20
DERIVACIONES A LAS BOCAS	10 como máximo

* Se define un ramal como una derivación o montante que tenga 4 ó más salidas hacia bocas de impulsión.

Los gráficos de recuperación estática para el cálculo de los sistemas de alta velocidad son los 12 y 13. El gráfico 12 se utiliza para el cálculo de ramales y el 13 para el de conductos principales. La diferencia fundamental entre ambos es el caudal de aire que circula por el conducto.

El gráfico 12 se utiliza para dimensionar montantes y ramales que transportan hasta 10.000 metros cúbicos/h de aire. Este gráfico se ha construido suponiendo que entre las derivaciones, tanto hacia las bocas de impulsión como hacia los ramales secundarios, existe una separación de 3,6 m. Acompaña al gráfico una escala para corregir estas separaciones en más o en menos.

El gráfico 13 se utiliza para dimensionar conductos principales de capacidad comprendida entre 0,5 y 20 m³/s. En este gráfico la separación entre las derivaciones es de 6 m. En la parte superior del gráfico hay una escala de corrección para cuando este intervalo es distinto de 6 m.

Los ejemplos 6 y 7 explican el empleo de estos dos gráficos. El ejemplo 6 explica la forma de dimensionar el ramal representado en la figura 53 y el ejemplo 7 se refiere a un conducto principal (fig. 55).

Ejemplo 6. Empleo del gráfico para dimensionar los ramales

Datos:

Montantes para un local de oficinas (fig. 53), 12 bocas de impulsión de 180 m³/h cada una.

Caudal total de aire: 2.160 m³/h.

Presión estática en las bocas de impulsión: 38 mm c.a.

Determinar:

Dimensiones del conducto para las secciones 1 a 6 (figura 53).

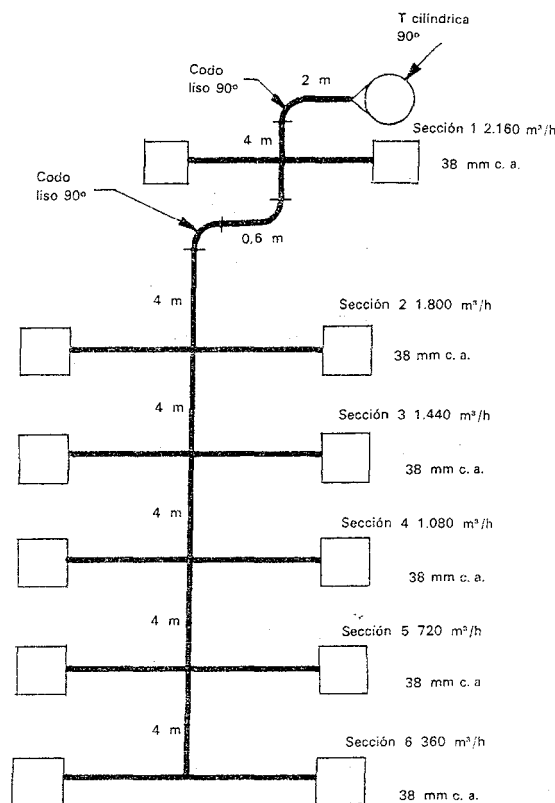


FIG. 53. Conducto de rama para ejemplo 6

CONDICIONES INICIALES: 2.160 m³/h; Diámetro interior del conducto: 20 cm; Velocidad 19 m/s

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RAMAL N.º SEC- CIÓN	CAUDAL DE AIRE Q (m³/h)	LONGITUD EQUIVALENTE DE CONDUCTO L (m)	LECTURA DE PRESIÓN (mm c.a.)		VARIACIÓN DE P.E. DE DERIVA- CIÓN A DERIVA- CIÓN (4 menos 5) (mm c.a.)	P.E. ANTES DE LA DERIVA- CIÓN (mm c.a.)	PRESIÓN ES- TÁTICA EN CADA BOCA (mm c.a.)	DIMENSIÓN DEL CON- DUCTO (diáme- tro interior) (cm)	VELOCIDAD V (m/s)
			Inicial	Seleccio- nada					
1	2.160	7,8	Pérdida en la derivación = 36 Pérdida de carga = 15,6			51,6	38	20	19
2	1.800	8,2	17	21	- 4	55,6	38	20	17
3	1.440	4	16	13,5	+ 2,5	53,1	38	20	13
4	1.080	4	10	8	+ 2	51,1	38	20	10
5	720	4	5,5	5,5	0	51,1	38	18	8
6	360	4	3,7	3,2	+ 0,5	50,6	38	15	5,7

P.E. máxima en sección 2: 55,6 + 38 + 3,6 = 97,2

FIG. 54. Cálculos de dimensiones de ramales de alta velocidad

GRÁFICO 12. RECUPERACIÓN ESTÁTICA EN RAMALES DE ALTA VELOCIDAD

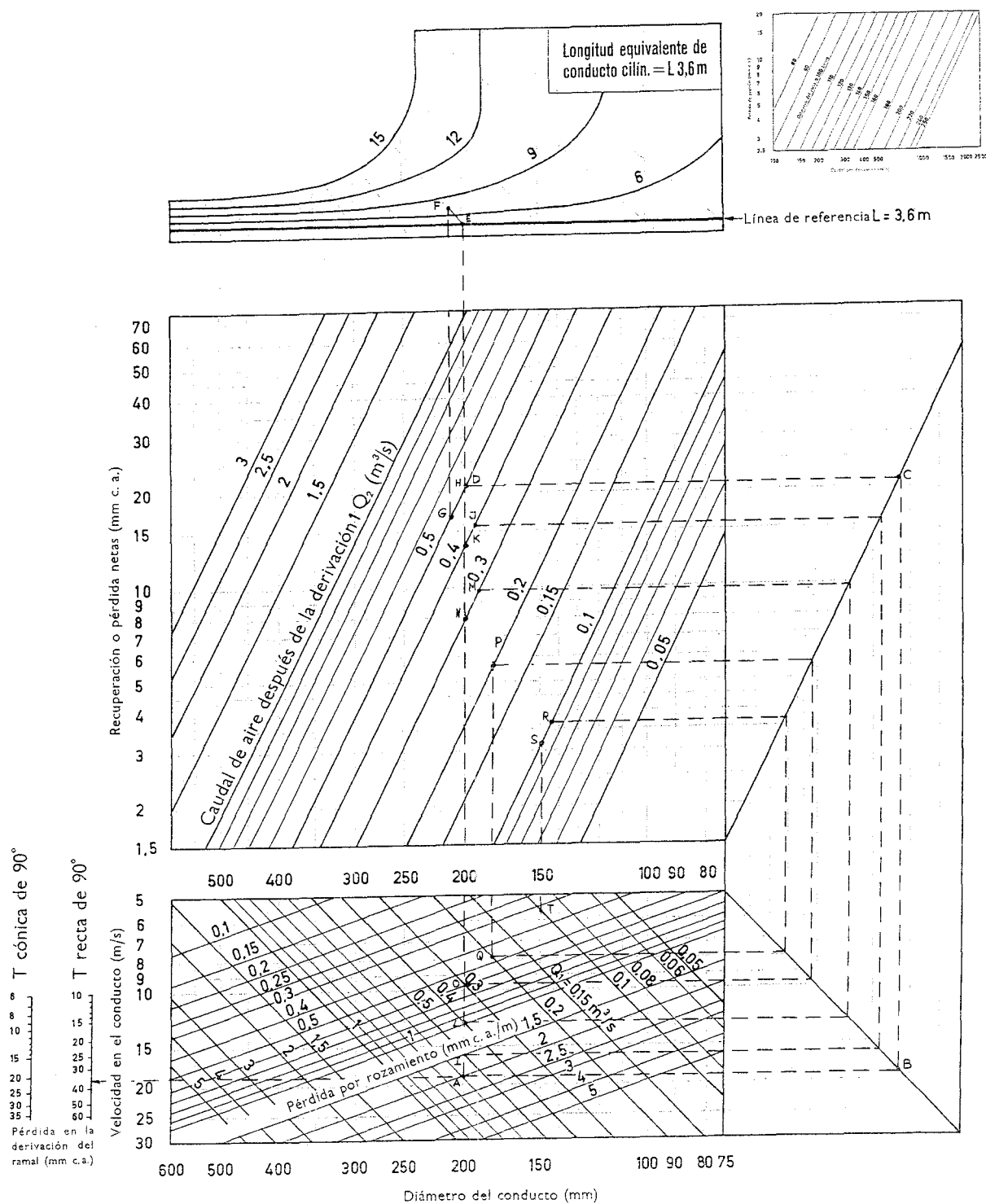
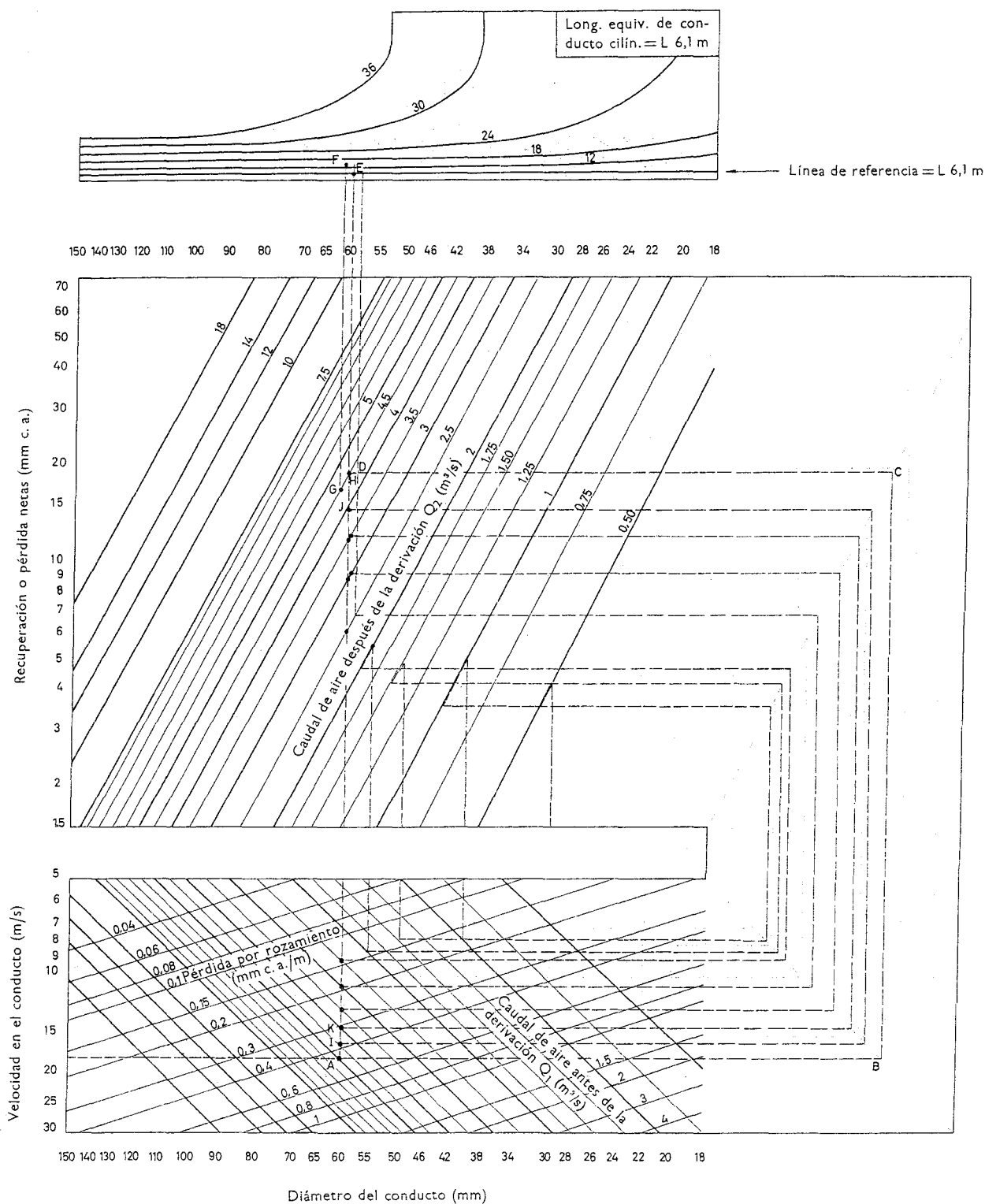


GRÁFICO 13. GANANCIA ESTÁTICA EN COLECTOR DE ALTA VELOCIDAD



Solución:

1. Dibujar un esquema como el de la figura 53 y rellenar las columnas 2, 3 y 8 de la hoja de cálculo que aparece en la figura 54.
2. Entrar en el gráfico 12 con la velocidad indicada para ramales con una T cilíndrica de 90° .
3. Buscar la intersección con la curva de $2.160 \text{ m}^3/\text{h}$ (que corresponde a $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$) obteniendo el punto A, al que corresponde 200 mm como diámetro del conducto y 2 mm c.a. de pérdida de carga por cada m de longitud equivalente, para una velocidad inicial de 19 m/s . Anotar estos valores en la hoja de cálculo.
4. A partir del punto A determinar la pérdida en la derivación del conducto principal, proyectando el punto A horizontalmente a la izquierda en la escala donde puede leerse 36 mm c.a.
5. Anotar 36 mm c.a. en la hoja de cálculo, para la sección 1.
6. Determinar la longitud equivalente desde la derivación del conducto principal hasta la de la primera boca de impulsión:
Longitud del conducto = $2 + 4 = 6 \text{ m}$. Un codo liso de 90° y 20 cm de diámetro equivale 1,8 m. Longitud equivalente total = $6 + 1,8 = 7,8 \text{ m}$.
Pérdida de carga = $7,8 \times 2 = 15,6 \text{ mm c.a.}$
7. Dimensionar el conducto de la sección 2:
Desde el punto A del gráfico trazar la quebrada que pasa por los puntos B y C hasta encontrar en D a la curva de $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$).
8. Determinar la longitud equivalente de la sección 2:
Longitud del conducto = $4 + 0,6 = 4,6 \text{ m}$. Dos codos lisos de $90^\circ = 2 \times 1,8 = 3,6 \text{ m}$. Longitud total equivalente = $4,6 + 3,6 = 8,2 \text{ m}$.
9. Determinar la pérdida de carga en la sección 2:
Proyectar verticalmente el punto D hasta la línea de referencia para determinar el punto E y, siguiendo las líneas de guía, hallar el punto F que corresponde a una longitud equivalente de 8,2 m. Trazar una vertical hacia abajo, desde F, hasta encontrar a la recta de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (punto G) y seguir esta línea hasta el punto H, intersección de esta línea con la vertical que corresponde a un diámetro de conducto de 200 mm. Obsérvese que a H le corresponde en la escala de la izquierda una presión de 21 mm c.a. y a G le corresponden 17 mm c.a. Por lo tanto, la pérdida de carga es de $21 - 17 = 4 \text{ mm c.a.}$ Este valor se anota en la columna 6, y en la columna 9 se anota el diámetro de 20 cm que corresponde a D.
10. Dimensionar el conducto de la sección 3:
Proyectar hacia abajo siguiendo la línea de 20 cm de diámetro el punto H hasta cortar en I a la curva de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1.800 \text{ m}^3/\text{h}$).
11. Partiendo de I, trazar la línea quebrada que se apoya en las guías de la derecha del gráfico y corta en J a la curva de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$. El diámetro del conducto es de 19 cm, y si movemos este punto sobre la línea de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta encontrar a la vertical de 20 cm de diámetro, tendremos el punto K. La presión correspondiente al punto J es de 16 milímetros c.a. y la correspondiente al punto K es de 13,5 mm c.a., con lo que tendremos una ganancia o recuperación estática de 2,5 mm c.a.
12. Dimensionar el conducto de la sección 4:
Proyectar el punto K siguiendo la línea de 20 cm de diámetro hasta cortar en el punto L a la curva de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$.
13. Apoyándose en las líneas guía del lado derecho del gráfico, buscar el punto M en la curva de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$, y desplazar el punto M sobre esta curva hasta determinar el punto N sobre la línea de 20 cm de diámetro. Al punto M le corresponden 10 mm c.a. y al N 8 mm c.a., con lo cual se ha obtenido una recuperación estática de $10 - 8 = 2 \text{ milímetros c.a.}$ El diámetro del conducto será de 20 cm. Anotar estos valores en las columnas 4, 5, 6, 7 y 9.

NOTA: Si en vez de buscar el punto N en la línea de 20 cm de diámetro subiéramos por la curva de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta encontrar a la línea de 15 cm de diámetro, nos encontraríamos con una pérdida de carga de $25 - 10 = 15 \text{ mm c.a.}$ Esta pérdida es innecesaria y, por eso, se proyecta el punto M sobre la línea de 20 cm de diámetro.

14. Dimensionar el conducto de la sección 5: Desde el punto N bajamos verticalmente para buscar el O en la curva de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ y, utilizando las guías de la derecha, encontraremos el punto P en la curva de $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, al que corresponde un diámetro de 18 cm.
15. Dimensionar el conducto de la sección 6: En la misma forma que antes se obtiene el punto S que corresponde a un diámetro de 15 cm, con una recuperación estática de $3,7 - 3,2 = 0,5 \text{ mm c.a.}$
16. Calcular las velocidades de las 6 secciones del conducto en los puntos A, I, L, O, Q, T, respectivamente, y anotarlos en la columna 10.
17. Determinar las caídas de presión a la salida y a lo largo del conducto entrando en la parte superior derecha del gráfico 12 con $180 \text{ m}^3/\text{h}$, obteniéndose una pérdida de carga de 3,6 mm con 11 cm de diámetro.
18. Sumar $55,6 \text{ mm}$ (valor máximo de la columna 7) + 38 mm (columna 8) + $3,6 \text{ mm}$ (derivación y salida), lo que totaliza $97,2 \text{ mm}$ (presión estática total).

Ejemplo 7. Empleo del gráfico para calcular los conductos principales

Datos:

Local de oficinas, 12 horas diarias de funcionamiento.
Conducto de la figura 55.
Diez ramas de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1.800 \text{ m}^3/\text{h}$) cada una.
Caudal total de aire: $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($18.000 \text{ m}^3/\text{h}$).

Determinar:

Dimensiones del conducto para las secciones 1 a 10.

Solución:

1. Hacer un croquis como el de la figura 55. Anotar los correspondientes valores en las columnas 1, 2, 3 y 8 de la figura 56.
2. Entrar en el gráfico 13 con la velocidad que se recomienda para los conductos principales de 12 horas diarias de funcionamiento.
3. Determinar la intersección con la recta de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, punto A, obteniéndose: 60 cm para diámetro del conducto, $0,45 \text{ mm}$ de pérdida de carga por cada metro lineal de conducto equivalente, y $17,5 \text{ m/s}$ de velocidad. Anotar estos valores en la hoja de cálculo de la figura 56.
4. Calcular la longitud equivalente de la sección 1 y anotarla en la columna 3; conducto rectilíneo = 6 m ; pérdida de carga = $6 \times 0,45 = 2,70 \text{ mm c.a.}$
5. Dimensionar la sección 2 del conducto: Partiendo del punto A buscar el punto D siguiendo las líneas de guía del lado derecho del gráfico (puntos B y C) sobre la recta correspondiente a $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$.
6. Determinar la longitud equivalente de la sección 2: Conducto recto = 6 m . Un codo de 90° , de cinco piezas = $7,2 \text{ m}$. Longitud total equivalente = $6 + 7,2 = 13,2 \text{ m}$.

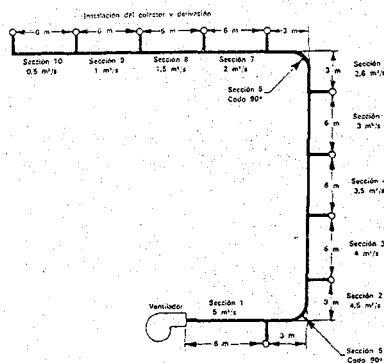


FIG. 55. Sistema de conductos de alta velocidad — dimensionado por el método de ganancia estática del colector

7. Determinar la pérdida de carga en la sección 2: Proyectar verticalmente hacia arriba el punto D hasta encontrar, en la línea de referencia, el punto E. Seguir las líneas de guía hasta encontrar el punto F que corresponde a 13,2 m de longitud equivalente. Proyectar este punto hacia abajo hasta encontrar a la línea de 4,5 m/s en el punto G, y siguiendo esta línea buscar el punto H. Anotar la pérdida correspondiente al punto G (16,76) y al punto H (18,79) en las columnas 4 y 5 de la figura 56. La pérdida de carga es $18,79 - 16,76 = 2,03$ milímetros c.a. Este dato se anota en la columna 6. Anotar 60 cm de diámetro en la columna 9.
8. Determinar el tamaño del conducto de la sección 3: Mover el punto H sobre la línea de 60 cm hasta encontrar el punto I en la línea de 4,5 m/s. Apoyándose en las líneas de guía del lado derecho del gráfico, buscar el punto J en la línea de 4 m/s. Anotar los valores correspondientes en las columnas 4, 5, 6 y 9.
9. Determinar las dimensiones del conducto para las secciones 4 a 10 en forma análoga a lo hecho en el apartado anterior, utilizando los caudales de aire y las longitudes equivalentes. Se exceptúa la

sección del conducto 6 porque su longitud equivalente es de 13,2 m y deberá utilizarse el método empleado en los pasos 5, 6 y 7 para determinar la caída de presión. Véase además el ejemplo 6, pasos 13 y 14, donde se explica lo que se debe hacer cuando el gráfico señala un diámetro distinto del utilizado, por ejemplo, 58 cm.

GANANCIA TÉRMICA Y FUGA DE AIRE EN LOS CONDUCTOS

Siempre que el aire existente en el interior de un sistema de conductos esté a diferente temperatura que la del aire que lo circunda, hay flujo de calor hacia dentro o hacia fuera del conducto. Cuando se calcula la carga, se asigna un margen para esta ganancia o pérdida de calor, incluyéndose también en el cálculo la fuga de aire. En la Parte 1, *Ganancia de calor del sistema*, se estudia el margen de carga necesario y las condiciones en que debe ser asignado para la ganancia o pérdida de calor y las fugas del conducto.

El gráfico 14 se utiliza para determinar el aumento o disminución de temperatura en un conducto desnudo o sin aislamiento que tiene una relación de forma de 2:1. En las notas del gráfico se dan también los factores de corrección para otras relaciones de forma y conductos aislados.

Ejemplo 8. Cálculos para conductos de impulsión

Datos:

Caudal de aire según hoja de cálculo de carga: 2.800 metros³/h.
 Ganancias de calor en conducto de impulsión, según hoja de carga: 5 %.
 Fugas de aire en el conducto de impulsión, según hoja de carga: 5 %.
 Temperatura del espacio sin acondicionamiento: 35 °C.
 Temperatura del espacio acondicionado: 25,5 °C.

CONDICIONES INICIALES: 5 m/s; Diámetro interior del conducto 60 cm; Velocidad 17,5 m/s

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N.º SECCIÓN COLECTOR	CAUDAL AIRE Q (m³/h)	LONGITUD EQUIVALENTE DE CONDUCTO L (m)	LECTURA DE PRESIÓN (mm c.a.)		VARIACIÓN DE P.E. DE DERIVA- CIÓN A DERIVA- CIÓN (4 menos 5) (mm c.a.)	P.E. ANTES DE LA DERIVA- CIÓN (mm c.a.)	P.E. DE RAMA (mm. c.a.)	DIMENSIÓN DEL CONDU- TO (diámetro interior) (cm)	VELOCIDAD V (m/s)
			Inicial	Seleccio- nada					
1	18.000	6	Rozamiento en conducto = 2,7			2,7	97,2	60	17,5
2	16.200	13,2	16,76	18,79	- 2,03	4,73	97,2	60	15,4
3	14.400	6	14,73	14,73	0,00	4,73	97,2	60	13,8
4	12.600	6	12,19	11,68	+ 0,51	4,22	97,2	60	12,3
5	10.800	6	9,39	8,89	+ 0,50	3,72	97,2	60	10,6
6	9.000	13,2	6,1	6,1	0,00	3,72	97,2	60	8,9
7	7.200	6	4,82	5,84	- 1,02	4,74	97,2	55	8,6
8	5.400	6	4,36	4,95	- 0,59	5,33	97,2	50	7,8
9	3.600	6	3,63	5,20	- 1,57	6,90	97,2	40	7,8
10	1.800	6	3,63	4,69	- 1,06	7,96	97,2	30	7,1

P.E. máxima en sección 10 = 7,96 + 97,2 = 105,16

FIG. 56. Cálculos de dimensiones de colector o cabezal de alta velocidad

Valor U del aislamiento del conducto:

$$1,17 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Conducto representado en figura 57.

Hallar:

Caudales de aire en cada boca de impulsión.

Solución:

1. Caudal de aire necesario a $15,6^\circ\text{C}$

$$= \frac{2.800}{1 + 0,05 + 0,05} = 2.550 \text{ m}^3/\text{h}$$

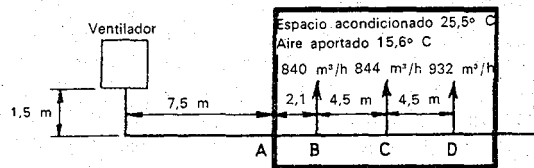


FIG. 57. Ganancia de calor del conducto y fuga de aire

Normalmente se asigna un margen de 10 % si todo el conducto está en el exterior del espacio acondicionado. Como en este caso una gran parte del conducto está dentro, se emplea un 5 %.

2. Determinar la elevación de temperatura desde A a B. Se elige una velocidad inicial en la tabla 7 (sea 7 m/s). Se calcula la elevación de temperatura desde el ventilador hasta el espacio acondicionado. Se entra en el gráfico 14 en $2.550 \text{ m}^3/\text{h}$; se proyecta verticalmente hasta 7 m/s y se lee $0,09^\circ\text{C}$ de cambio de temperatura por cada 10 metros de conducto y por $^\circ\text{C}$ de diferencia. Empleando una relación de forma de 2:1, la elevación de temperatura resulta:

$$\frac{9}{10} \times 0,09^\circ\text{C cambio} \times 0,185 \times (35 - 15,6) = 0,29^\circ\text{C}$$

Temperatura del aire a la entrada de la habitación = $15,89^\circ\text{C}$.

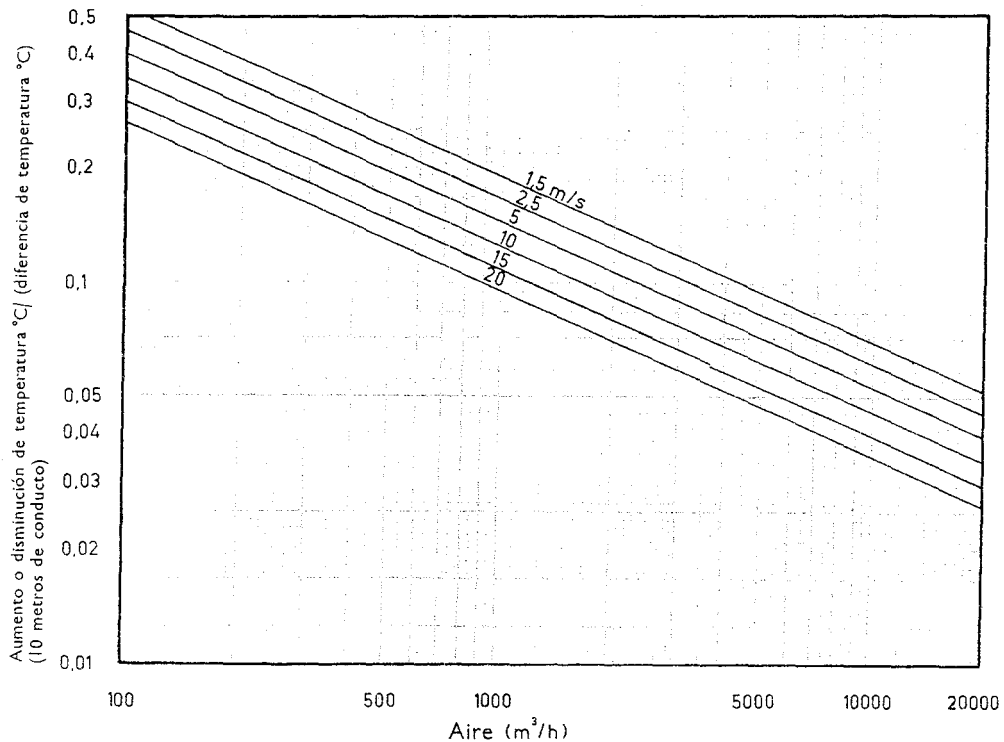
Caudal real de aire que entra en la habitación

$$= \frac{25,5 - 15,6}{25,5 - 15,89} \times 2.550 = 2.625 \text{ m}^3/\text{h}$$

Elevación de la temperatura del aire desde A hasta B

$$= \frac{2,1}{10} \times 0,09^\circ\text{C} \times 9,61^\circ\text{C} = 0,18^\circ\text{C}$$

GRÁFICO 14. GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR EN UN CONDUCTO



NOTAS:

1. Basado en conducto rectangular desnudo con relación de forma 2:1.
2. Si el conducto está forrado interiormente o aislado, utilizar los siguientes factores de corrección:

Conducto forrado	- 0,45
Aislado (U = 1,31)	- 0,185
Aislado (U = 0,63)	= 0,10
3. Para caudales de aire mayores de $20.000 \text{ m}^3/\text{h}$, dividir el caudal por 100 y multiplicar los grados de variación por 0,1.

Corrección de la relación de forma

Relación de forma	Redondo	1:1	3:1	4:1	5:1	6:1	7:1	8:1	9:1	10:1
Corrección	0,83	0,92	1,1	1,18	1,26	1,35	1,43	1,5	1,58	1,65

Diferencia de temperatura del aire de impulsión hasta la boca B

$$= 25,5 - (15,89 + 0,18) = 9,43 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Caudal necesario para la boca B

$$= 850 \times \frac{9,9}{9,43} = 890 \text{ m}^3/\text{h}$$

sin margen por enfriamiento mediante el conducto.
Caudal en la boca B con margen para enfriamiento mediante el conducto

$$= 890 \text{ m}^3/\text{h} - \left(2.625 \times \frac{0,18}{9,43} \right) = 840 \text{ m}^3/\text{h}$$

3. Determinar los m³/h para la boca C: Utilizar el método de rozamiento uniforme o pérdida de carga constante para hallar la velocidad en la segunda sección del conducto con 2.625 m³/h - 840 m³/h = 1.785 m³/h; Velocidad = 6,52 m/s.
Determinar la elevación de temperatura hasta la boca: En el gráfico 14 se lee 0,11 °C a una velocidad de 6,5 m/s y 1.785 m³/h. Elevación de temperatura

$$= 0,11 \times 9,43 \times \frac{4,5}{10} = 0,46 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Diferencia de temperatura del aire de impulsión:

$$9,43 - 0,46 = 8,97 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

m³/h de salida ajustados para la elevación de temperatura

$$= 850 \times \frac{9,9}{8,97} = 935 \text{ m}^3/\text{h}$$

Margen por enfriamiento mediante conducto

$$= 935 - \left(1.785 \text{ m}^3/\text{h} \times \frac{0,46}{8,97} \right) = 844 \text{ m}^3/\text{h}$$

4. Determinar los m³/h para la boca D:
Utilizar el método de pérdida de carga constante para determinar la velocidad en la tercera sección del conducto con 1.785 - 844 = 941 m³/h;
Velocidad = 6 m/s.

Determinar la elevación de temperatura hasta la boca:

En el gráfico 14 se lee 1,42 °C para 941 m³/h y 6 m/s.

Elevación de temperatura

$$= 0,14 \times 8,97 \times \frac{4,5}{10} = 0,56 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Diferencia de temperatura del aire de impulsión

$$= 8,97 - 0,56 = 8,41 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Caudal de impulsión ajustado para la elevación de temperatura

$$= 850 \times \frac{9,9}{8,41} = 995 \text{ m}^3/\text{h}$$

Margen para enfriamiento mediante conducto

$$995 \text{ m}^3/\text{h} - \left(941 \times \frac{0,56}{8,41} \right) = 932 \text{ m}^3/\text{h}$$

5. Verificación del caudal total:

$$840 + 844 + 932 = 2.616 \text{ m}^3/\text{h}$$

Esto se compara favorablemente con los 2.625 metros cúbicos por hora de caudal real de aire impulsado o que entra en la habitación.

La figura 57 indica los caudales de aire originales y los corregidos.

TABLA 14. CONSTRUCCIÓN RECOMENDADA PARA CONDUCTOS DE CHAPA METÁLICA RECTANGULARES
Sistemas de baja presión

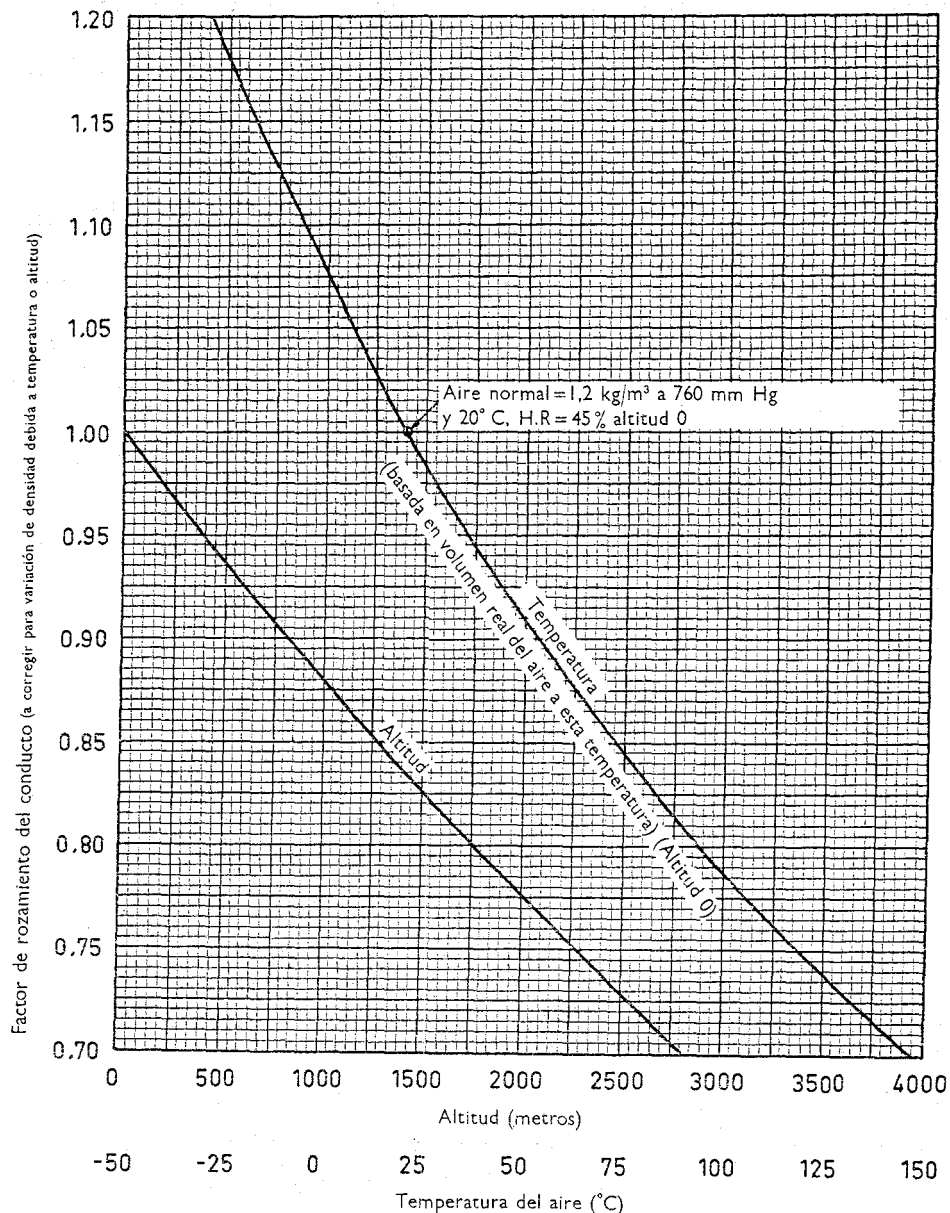
DIMENSIÓN MAYOR DEL CONDUCTO (cm)	GRUESO DE LA CHAPA (mm)				CONSTRUCCIÓN RECOMENDADA * Juntas transversales, riostras y refuerzos
	Acero		Aluminio		
	Conducto	Grapa	Conducto	Grapa	
Hasta 60	0,6	0,6	0,6	0,8	Grapa deslizante o grapa en S, separado 2,5 m o menos.
de 60 a 80	0,6	0,6	0,6	0,8	Grapa deslizante o grapa en S, separado 1,2 m o menos.
de 80 a 150	0,8	0,8	0,8	1	
de 150 a 180	1	1	1	1,5	Grapa deslizante reforzada ** o grapa a escuadra reforzada **, separado 1,2 m o menos. Refuerzo de perfil angular en diagonal de 40 × 40 × 4 mm *** o zuncho angular de las mismas dimensiones *** situada a mitad de distancia entre juntas.
de 180 a 225	1	1	1	1,5	Grapa deslizante reforzada ** o grapa a escuadra reforzada **, separado 1,2 m o menos. Refuerzo de perfil angular en diagonal de 40 × 40 × 4 mm *** o zuncho angular de las mismas dimensiones *** situada a mitad de distancia entre juntas. Tirante de hierro de 30 × 3 mm para anchura de conducto de 180 a 225 cm.
225 y más	1,5	1	1,5	1,5	Grapa deslizante reforzada ** o grapa a escuadra reforzada **, separado 1,2 m o menos. Refuerzo de perfil angular en diagonal de 40 × 40 × 4 mm *** o zuncho angular de las mismas dimensiones *** situada a mitad de distancia entre juntas. Tirante de hierro de 30 × 3 mm para anchura de conducto de 225 a 300 cm. Tirante de hierro de 30 × 3 mm separado 120 cm para anchuras de conducto de 300 cm o más.

* Todos los conductos de más de 50 cm en cualquiera de las dimensiones tienen separaciones transversales, excepto los que tienen aplicado aislamiento de plancha de cartón rígido o en las secciones de conducto en que se ha de instalar una salida o una conexión. Las juntas o costuras del conducto son de cierre Pittsburg o longitudinales.

** Junta reforzada con pasamanos de hierro de 30 × 3 mm.

*** Todos los perfiles angulares están unidos al conducto mediante soldadura por puntos, tornillos para chapa metálica o roblones sobre centros a 150 mm.

GRÁFICO 15. FACTORES DE CORRECCIÓN POR DENSIDAD DEL AIRE



PROYECTO DE CONDUCTOS PARA GRANDES ALTITUDES

Cuando se proyecta un sistema de distribución de aire para altitudes mayores de 600 metros, por debajo de -1°C o por encima de 50°C , debe ser corregido para la densidad del aire el factor de rozamiento obtenido por medio del gráfico 7, utilizando el caudal de aire real en las condiciones finales. El gráfico 15 presenta factores de corrección para temperatura y altura. Cuando el sistema funciona en emplazamiento de elevada altitud y a una temperatura que cae fuera de la

gama normal, habrá que multiplicar por ambos factores.

CONSTRUCCIÓN DE LOS CONDUCTOS

El grueso de las hojas metálicas empleadas en los conductos y sus refuerzos, depende de las condiciones de presión existentes en el sistema. Asimismo, existen varios tipos de juntas y engrapados para formar los conductos, que igualmente dependen de las condiciones de presiones en el sistema.

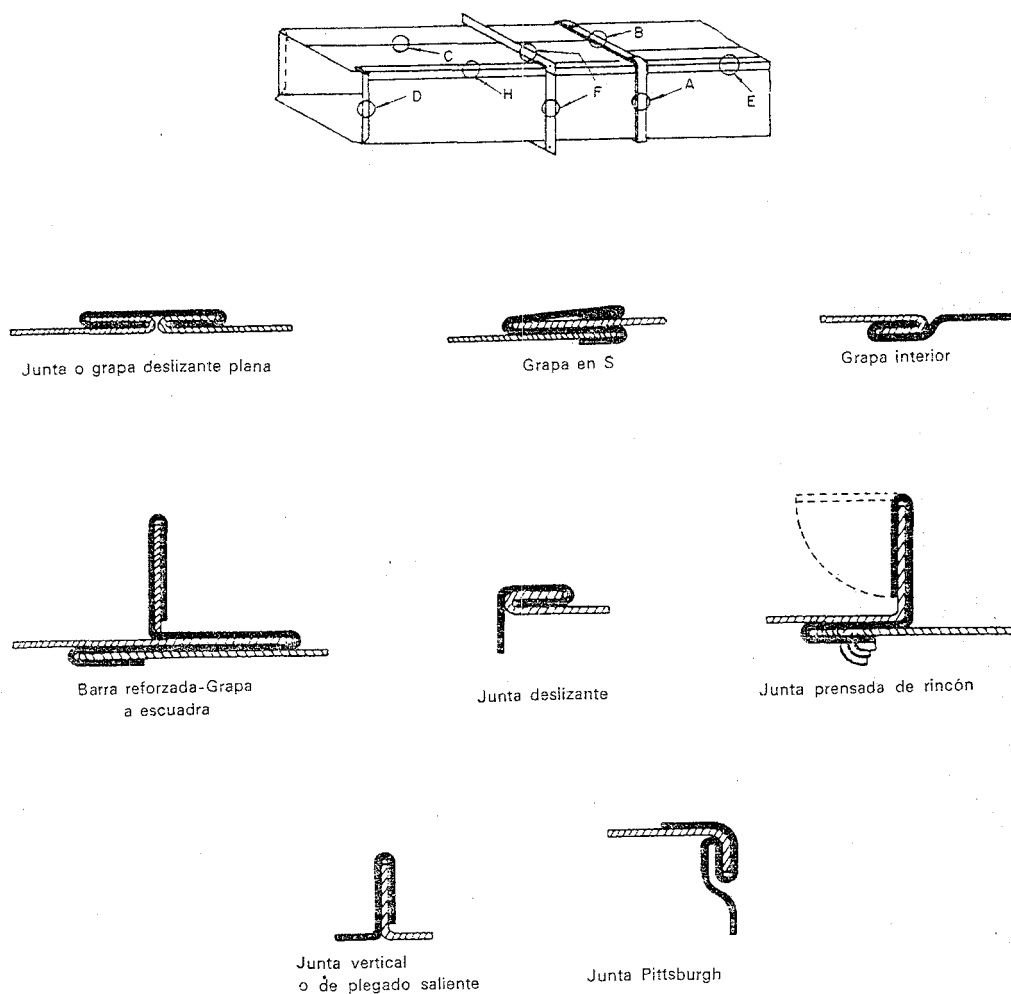


Fig. 58. Juntas y engrapados para sistema de baja presión

TABLA 15. CONSTRUCCIÓN RECOMENDADA PARA CONDUCTO CILÍNDRICO DE CHAPA METÁLICA
Sistemas de alta y baja presión

DIMENSIÓN DEL CONDUCTO (cm)	GRUESO DE LA CHAPA (mm) Acero y aluminio	CONSTRUCCIÓN RECOMENDADA	
		Refuerzo	Juntas y costuras
Hasta 20	0,6		Las secciones de conducto cilíndricas están unidas mediante soldadura, manguito o enchufe en un extremo del conducto.
de 20 a 60	0,8		
de 60 a 90	1	Refuerzo con zuncho de perfil angular de $30 \times 30 \times 3$ mm, espaciado sobre centros a 2,5 m.	Las costuras en conductos cilíndricos pueden ser de soldadura continua o longitudinales ranuradas.
de 90 a 120	1	Refuerzo con zuncho de perfil angular de $30 \times 30 \times 3$ mm, espaciado sobre centros a 1,5 m.	
de 120 a 180	1,5	Refuerzo con zuncho de perfil angular de $40 \times 40 \times 4$ mm, espaciado sobre centros a 1,2 m.	
180 y más	2		

TABLA 16. ESPESORES DE LAS CHAPAS PARA CONDUCTOS DE TUBO SPIRO

Sistemas de baja y alta presión

DIMENSIÓN DEL CONDUCTO (cm)	ESPESOR DE LA CHAPA (mm)	
	Acero	Aluminio
Hasta 20	0,5	0,7
de 20 a 60	0,6	0,8
de 60 a 80	0,8	1

Sistemas de baja presión

La tabla 14 indica la construcción recomendada para conductos rectangulares de aluminio o acero. El método de engrapado y reforzado, así como tipos de juntas y nervios se incluyen en la tabla. Las tablas 15 y 16 incluyen los conductos redondo y el tubo Spiro, los cuales se aplican en sistemas de alta y de baja presión. La figura 58 muestra las juntas y engrapados más corrientemente empleados en sistemas a baja presión.

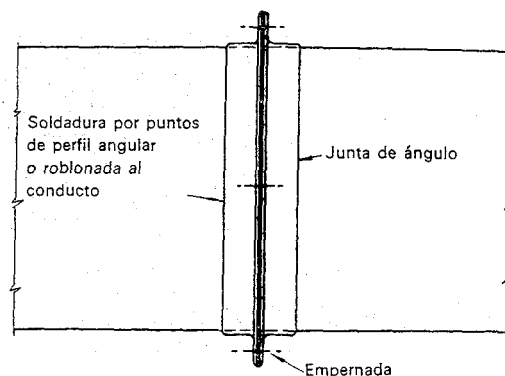


FIG. 59. Junta para sistema de alta presión

Sistemas de alta presión

La tabla 17 contiene las recomendaciones de construcción para conductos rectangulares de aluminio o acero, así como los refuerzos y bastidores necesarios y tipos de juntas y engrapados utilizados en sistemas de conductos a alta presión.

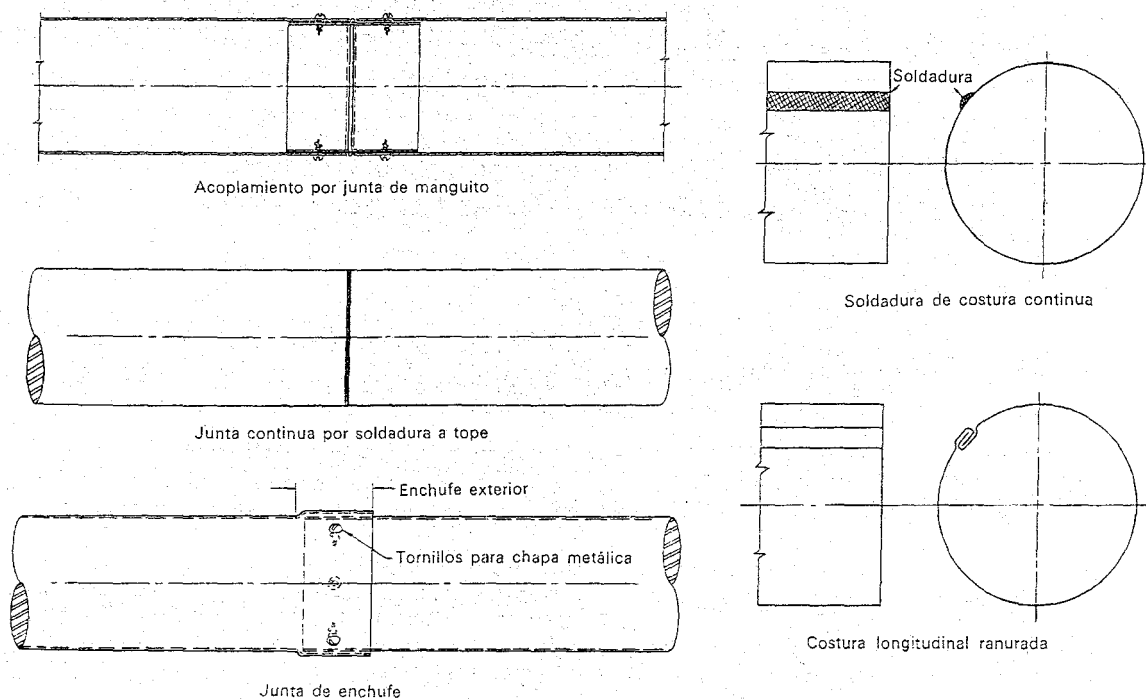


FIG. 60. Uniones y costuras en conductos redondos

La figura 59 representa la junta corrientemente empleada para conductos rectangulares en sistemas de alta presión. Los conductos se construyen con junta Pittsburg o costuras de nervios o ranuras longitudinales (fig. 58).

TABLA 17. CONSTRUCCIÓN RECOMENDADA PARA CONDUCTOS RECTANGULARES DE CHAPA METÁLICA

Sistemas de alta presión

DIMENSIÓN MAYOR DEL CONDUCTO (cm)	GROSOR DE LA CHAPA (mm) Acero y aluminio	CONSTRUCCIÓN RECOMENDADA * Juntas transversales, riorstras y refuerzos
Hasta 60	0,8	Junta de brida con perfil angular y empaquetadura o de soldadura a tope con zuncho de angular, espaciado 3,5 m o menos. Los perfiles son de 40 x 40 x 4 mm **. Refuerzo con zuncho de perfil angular de 40 x 40 x 4 mm espaciado 1 m **.
de 60 a 120	1	
de 120 a 150	1,5	
150 y más	1,5	Junta de brida con perfil angular y empaquetadura o de soldadura a tope con zuncho de angular, espaciado 3,5 m o menos. Los perfiles son de 40 x 40 x 5 mm **. Refuerzo con zuncho de perfil angular de 40 x 40 x 5 mm, espaciado 1 m **.

* Todos los conductos de más de 50 cm en cualquiera de las dimensiones tienen separaciones transversales, excepto los que tienen aplicado aislamiento de plancha de cartón rígido o en las secciones de conducto en que se ha de instalar una salida. Las juntas o costuras del conducto son de cierre Pittsburg o longitudinales.

** Los angulares están unidos al conducto mediante soldadura por puntos o roblones situados sobre centros a 150 mm.

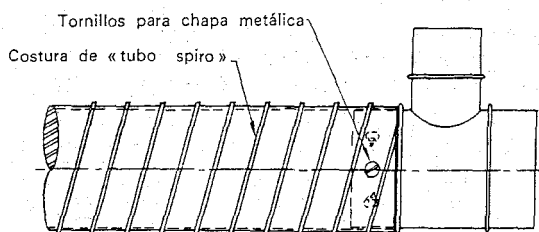


FIG. 61. Uniones y costuras en tubo Spiro

La tabla 15 indica la construcción recomendada para conductos redondos. Los datos son aplicables a ambos sistemas de alta y baja presión. La figura 60 ilustra los nervios y juntas utilizados en sistemas de conductos redondos. Los materiales para tubos Spiro se indican en la tabla 16.

Normalmente se emplean piezas suplementarias para juntar secciones del conducto Spiro, tal como muestra la figura 61. Se emplea un pegamento especial para sellar y juntar el tubo Spiro a los accesorios.

PESOS DE LOS MATERIALES DE CONDUCTO

La tabla 18 da los pesos de los diferentes materiales empleados en sistemas de conductos.

TABLA 18. PESO DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN CONDUCTOS

Espesor de la chapa	Peso en kg/m ²						
	Chapa galvanizada	Chapa negra	Chapa de plomo	Chapa de zinc	Chapa de cobre	Chapa de latón	Chapa de aluminio
0,10	—	—	—	0,700	0,875	0,850	0,275
0,15	—	—	—	1,050	1,350	1,300	0,400
0,20	—	—	—	1,450	1,750	1,700	0,550
0,25	—	—	—	1,750	2,250	2,175	0,675
0,30	—	—	—	2,100	2,650	2,600	0,850
0,35	—	2,800	—	2,450	3,100	3,000	0,950
0,40	3,200	3,200	—	2,800	3,500	3,450	1,100
0,45	—	3,600	—	3,150	4,000	3,900	1,200
0,50	4,000	4,000	—	3,500	4,500	4,350	1,350
0,55	—	4,400	—	3,850	4,900	4,750	1,500
0,60	4,800	4,800	—	4,200	5,350	5,200	1,650
0,65	—	—	—	4,550	5,800	5,650	1,750
0,70	—	5,600	—	4,900	6,250	6,000	1,900
0,75	—	—	—	5,250	6,700	6,500	2,050
0,80	6,400	6,400	—	5,600	7,000	6,900	2,200
0,85	—	—	—	5,740	7,500	7,350	2,300
0,90	—	7,200	—	—	8,000	7,750	2,450
0,95	—	—	—	—	8,500	8,250	2,600
1	8,000	8,000	22,800	7,000	9,000	8,650	2,750
1,10	—	8,800	—	7,700	9,850	9,500	3,000
1,20	—	9,600	—	—	10,750	10,300	3,250
1,30	—	10,400	—	9,100	—	—	—
1,40	—	—	—	—	12,500	12,100	3,800
1,50	12,000	12,000	34,200	—	13,500	13,000	4,050
1,60	—	12,800	—	11,200	14,250	13,800	4,350
1,70	—	13,600	—	—	—	—	—
1,80	—	—	—	—	16,000	15,650	4,850
1,90	—	15,200	—	—	—	—	—
2	16,000	16,000	45,600	14,000	18,000	17,350	5,400
2,20	—	—	—	—	19,500	19,000	5,900
2,40	—	19,200	—	—	—	—	—
2,50	—	20,000	57,000	—	22,500	21,750	6,750
2,60	—	20,800	—	—	—	—	—
2,80	—	—	—	—	25,000	24,300	7,550
3	—	24,000	68,400	21,000	27,000	26,000	8,100
3,50	—	—	—	—	31,500	30,400	9,450
4	—	32	91,000	28,000	36,000	34,750	10,800
4,50	—	—	—	—	40,500	39,000	12,150
5	—	40,000	114,000	35,000	45,000	43,500	13,500
5,50	—	—	—	—	49,500	47,750	14,850
6	—	48,000	—	42,000	54,000	52,100	16,200