

**DOCUMENTOS TÉCNICOS DE
INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN
DTIE**

DTIE 5.01

CÁLCULO DE CONDUCTOS

DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN DTIE

DTIE 5.01. CÁLCULO DE CONDUCTOS

Edición: ATECYR

Redacción: José Manuel Pinazo Ojer

Coordinación: Comité Científico de ATECYR

Producción y realización: Editorial EL INSTALADOR

Perfil del autor

José Manuel Pinazo Ojer

Doctor Ingeniero Industrial

Profesor Titular de la Cátedra de Termotecnia

E.T.S.I. Industriales. Universidad Politécnica de Valencia

Miembro del Comité Científico de ATECYR

Vicepresidente de ATECYR Comunidad Valenciana

Autor de varios libros y software sobre climatización y refrigeración

Lista de miembros del Comité Científico de ATECYR:

Presidente: D. Alberto Viti Corsi

Vocales:

- D. Aurelio Alamán Simón
- D. Juan Carlos Bermúdez Gómez
- D. Felipe Cebrián Quesada
- D. José María de las Casas Ayala
- D. Juan Manuel Espinosa Peñuela
- D. José Luis Esteban Saiz
- D. José María González
- D. Manuel Lamúa Soldevilla
- D. Luis M.^a López González
- D. Juan Vicente Martín Zorraquino
- D. José Manuel Pinazo Ojer
- D. Pedro Pozo Gómez
- D. Francisco Javier Rey Martínez
- D. Ramón Velázquez Vila
- D. José María Cano Marcos
- D. Alejandro Cabetas Hernández
- D. Paul Gerard O'Donohoe

© ATECYR

Edita: ATECYR
INSTITUTO EDUARDO TORROJA
Serrano Galvache, s/n
28033 Madrid

Producción y realización:
EDITORIAL TÉCNICA EL INSTALADOR

Portada:
FOTPREIM DUVIAL

Fotocomposición:
INDUSTRIAS GRAFICAS EL INSTALADOR

Impresión:
INDUSTRIAS GRÁFICAS EL INSTALADOR

ISBN: 84-95010-07-0

Dep. Legal: M-23299-2000

PRESENTACIÓN

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) es una entidad de carácter no lucrativo fundada en 1974, que agrupa a más de 1.000 ingenieros y profesionales que tienen relación o dedican su actividad a los sectores de la Calefacción, Refrigeración, Ventilación y/o Aire Acondicionado.

Básicamente, sus fines y objetivos son el avance de las ciencias y técnicas del sector que abarca, en beneficio de la sociedad en general y de los profesionales y socios en particular.

Para ello, ATECYR desarrolla actividades de formación, investigación, divulgación y promoción de nuevas tecnologías, además tiene relaciones e intercambia conocimientos con otras Asociaciones, Nacionales e Internacionales de similares objetivos.

Desde hace dos años ATECYR cuenta con un Comité Científico, el cual está formado por expertos en diferentes áreas y cuya función es el estudio y desarrollo de las actividades relacionadas, en general, con los aspectos científicos y tecnológicos que pueda acometer la Asociación.

Dentro del programa de trabajo del Comité Científico, se decidió la elaboración de Documentos o Guías sobre temas monográficos que ayudaran a los profesionales a realizar su trabajo de diseño y de ejecución de sistemas e instalaciones de forma eficiente y actualizarlo. La guía que ahora se presenta es, por tanto, la primera de una serie de documentos que se irán publicando y ofreciendo al sector periódicamente.

Una de las labores más penosas para el Técnico de nuestro sector es, probablemente, la de buscar información sobre metodología, algoritmos y datos de partidas que sean fiables para el cálculo de sistemas, equipos o aparatos relativos a instalaciones en la edificación, sea aquellos cuyo uso es casi cotidiano como aquellos otros de uso no muy frecuente o excepcional. Los últimos, además, están siempre acompañados del olvido, si es que alguna vez se ha calculado.

Muchos cálculos suelen llevarse a cabo «a sentimiento», es decir, sin tener una idea muy clara del por qué y cuándo se calcula de una manera y, si existe alternativa, por qué se calcula de otra, qué factores entran en juego y cuáles son importantes y qué otros parámetros pueden ser despreciados, etc.

Muchas veces se suelen arrastrar errores de conceptos desde el comienzo de la profesión, ya que difícilmente se posee el tiempo de reflexionar, estudiar, buscar y saber buscar la información o se tiene a disposición en la empresa un compañero experimentado y amable que sepa aclarar las dudas si es que surgen (¡mala apariencia tiene el asunto si no surgen dudas!).

Se comprende que el riesgo de cometer errores aumenta al acentuarse la complicación del sistema que se pretende calcular. Tener a disposición una documentación bien elaborada (esta es, por lo menos, nuestra pretensión) no solamente facilita la labor y hace ahorrar tiempo, si no que, en un cierto sentido, descarga parte de la responsabilidad del Técnico, que habrá hecho la oportuna referencia al DTIE correspondiente.

La información que se necesita suele estar dispersa en fuentes muy variadas, desde libros hasta artículos de diferentes revistas especializadas, en diferentes lenguas y en diferentes unidades de medidas, mirada bajo diferentes, aunque siempre muy interesantes, puntos de vista. Además, la información presenta, a menudo, dificultades de interpretación por falta de defini-

ción de ciertas magnitudes y/o de sus unidades de medida, por falta de claridad del autor del escrito que suele dar por sentados unos conceptos que para nada lo son, por la necesidad de recurrir a una fuente diferente de información para calcular otro parámetro que es imprescindible, por interpretación errónea de algunas afirmaciones, por errores de imprenta o mecanografía, por una presentación deficiente, etc.

Hoy en día, además, la frenética labor normativa del Comité Europeo de Normalización (CEN) y de AENOR, entes en los que ATECYR está debidamente representado, hace ímproba la labor de estar al día con las últimas novedades en este campo.

Los Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación DTIEs pretenden reducir estos inconvenientes (¡el empleo del verbo «eliminar» sería excesivo!), ofreciendo al técnico unos instrumentos de trabajo de uso cotidiano, completos de toda la información necesaria para el desarrollo del cálculo que, además, estará efectuado según las últimas tecnologías disponibles y, por supuesto, debidamente documentado. Se incluyen tablas, gráficos y figuras para que algunas magnitudes puedan ser estimadas rápidamente para cálculos preliminares o con el fin de visualizar la variación de una magnitud en función de otra u otras.

Cada DTIE es un documento dedicado a un tema muy específico, desarrollado hasta el límite de los conocimientos del autor o autores.

En cuanto al cumplimiento de normas y reglamentos, se hace observar que los documentos tienen el propósito de estudiar un tema desde el punto de vista técnico, no normativo. Por tanto, será responsabilidad del Técnico que deba efectuar el proyecto tener en cuenta las limitaciones impuestas por las normas y reglamentos en vigor que, eventualmente, afecten al sistema que va a ser objeto del cálculo.

Los DTIEs pretenden ser claros en su exposición, facilitando la comprensión de lo que el Técnico quiere llevar a cabo en todas sus facetas. Este objetivo se considera fundamental y su frustración debe considerarse un fracaso.

Todos o casi todos los DTIEs tienen un contenido que puede ser objeto de un programa de cálculo por ordenador, algunos con facilidad, otros menos. En cualquier caso, el Técnico hará bien en recurrir a esta herramienta de trabajo para, entre otras razones, evitar los errores de cálculo que, casi inevitablemente, se cometen por prisa o... por tener la cabeza en otro sitio. Una vez hecho el programa, revisado y validado su funcionamiento, éste será un instrumento útil durante muchos años, máxime si se habrá hecho con medios propios (esto es, si se posee el programa fuente), lo que permitirá adecuar su contenido a los cambios de normativa o a las necesidades de un cliente particular, con facilidad y casi sin costo adicional.

El Comité Científico de ATECYR, que edita esta serie de documentos, ha emprendido una serie de acciones para llevar a cabo esta labor, larga y difícil. Entre ellas destaca la voluntad de llevarla a cabo, sin pausas, retomando una iniciativa de hace ya algunos años. Ya existe una lista de documentos a elaborar e incluso un calendario.

Se recibirán con agrado las observaciones que los usuarios de estos DTIEs quieran aportar con el fin de mejorar su contenido e incluso su presentación en próximas ediciones y, por tanto, cumplir con los objetivos fijados.

El comité Científico de ATECYR no se hace responsable del uso incorrecto que se pueda hacer de la información contenida en los documentos.

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer al Socio Protector, la empresa SAUNIER DUVAL DICOSA, S. A., por su valiosa colaboración prestada a la edición de esta y sucesivas DTIE, pues concedora del proyecto emprendido por ATECYR para la elaboración de esta colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación, ha decidido subvencionar la edición de todas las DTIE proyectadas.

Serie ATECYR de DTIE - Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación

SERIE 1: Instalaciones sanitarias

- *1.01 Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- *1.02 Calentamiento de agua de piscinas
- 1.03 Cálculo de redes de distribución de agua sanitaria
- 1.04 Cálculo de redes de evacuación y ventilación

SERIE 2: Condiciones de diseño

- *2.01 Calidad del ambiente térmico
- 2.02 Calidad de aire interior
- 2.03 Ambiente acústico: origen, remedios y límites de ruidos y vibraciones

SERIE 3: Psicrometría

- *3.01 Psicrometría

SERIE 4: Tuberías

- *4 01 Cálculo de las pérdidas de presión y criterios de diseño

SERIE 5: Conductos

- *5.01 Cálculo de conductos

SERIE 6: Combustible

- *6.01 Combustión
- 6.02 Diseño y cálculo de chimeneas
- 6.03 Redes de distribución de gas, diseño y cálculo

SERIE 7: Cálculo de carga, demanda y consumo

- *7.01 Cálculo de carga y demanda térmica
- 7.02 Cálculo de consumo de energía: simulación de sistema

SERIE 8: Fuentes de energía de libre disposición

- *8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización
- 8.02 Bomba de calor
- 8.03 Instalaciones térmicas de energía solar a baja temperatura

SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire

- *9.01 Tipos de sistemas
- *9.02 Aplicaciones a diferentes tipos de edificios

SERIE 10: Sistemas de calefacción

- 10.01 Tipos de sistemas
- 10.02 Aplicaciones para edificios residenciales
- *10.03 Calderas individuales

SERIE 11: Control

- 11.01 Esquemas de control

***SERIE 12: Aislamiento térmico**

SERIE 13: Difusión de aire

SERIE 14: Acumulación de energía térmica

SERIE 15: Salas de máquinas

SERIE 16: Puesta en marcha, recepción y mantenimiento

SERIE 17: Varios

- 17.01 Análisis económico de sistemas

* Editadas

Documento Conductos
Autor: José Manuel Pinazo Ojer

INDICE	Pág
1.- Introducción.....	11
1.1.- Consideraciones generales	11
1.2.- Clasificación	12
2.- Ecuación general de la energía.....	15
2.1.- Ecuación de Bernoulli.....	15
2.2.- Presión estática, dinámica y total.....	16
2.3.- Transformación de presión estática a dinámica.....	18
3.- Pérdidas de carga por rozamiento.....	19
3.1.- Pérdida de carga por circulación del fluido.....	19
3.2.- Fluidos compresibles. Aire húmedo.....	21
3.2.1.- Pérdida de carga en fluidos compresibles.....	21
3.2.2.- Variación con temperatura, humedad específica y altitud.....	23
3.2.3.- Factor de fricción para el aire húmedo.....	25
3.3.- Tipo de materiales utilizados.....	26
3.4.- Ecuación general de pérdidas de carga para el aire húmedo.....	28
3.5.- Diámetros comerciales y conversión de conductos circulares a rectangulares y ovaes.....	33
3.5.1.- Conductos rectangular.....	34
3.5.2.- Conducto oval.....	35
4.- Pérdidas de carga por singularidades.....	37
4.1.- Conductos circulares	39
4.1.1. Codos.....	40
4.1.2. Derivaciones	41
4.1.3. Pantalones.....	47
4.1.4. Mariposas (regulación).....	47
4.1.5. Compuertas utilizadas como diafragmas.....	47
4.1.6. Estrechamientos y ensanchamientos.....	48
4.1.7. Diafragmas.....	48
4.1.8. Rejillas.....	48
4.2.- Conductos rectangulares.....	49
4.2.1. Codos.....	50
4.2.2. Derivaciones	51
4.2.3. Pantalones.....	57
4.2.4. Mariposas.....	58
4.2.5. Compuertas.....	58
4.2.6. Estrechamiento y ensanchamientos.....	60
4.2.7. Obstáculos interiores.....	60
4.2.8. Diafragmas y rejillas perforadas.....	60
4.2.9. Empalme ventilador conducto. Difusor en pirámide.....	61
4.3.- Longitud equivalente	61
4.3.1. Longitud equivalente de accesorios circulares	63
4.3.2. Longitud equivalente en conductos rectangulares.....	64
4.4.- Elementos de impulsión/toma de aire.....	65

4.4.1.- Difusores	65
4.4.2.- Tomas de aire	70
4.3.3.- Ejemplos de datos facilitados por catálogos	71
5.- Ventiladores (equipos de aire acondicionado)	75
5.1.- Tipos	75
5.1.1. Ventilador centrífugo con álabes hacia delante	76
5.1.2. Ventilador centrífugo con álabes hacia atrás	77
5.2.- Leyes de los ventiladores	78
5.3.- Datos de catálogo necesarios para los ventiladores y/ó equipos de aire acondicionado	79
6.- Resolución general de un proyecto	81
6.1.- Planteamiento general del problema	81
6.1.1.- Principios y objetivos del cálculo de instalaciones	82
6.1.2.- Transformación de presión estática a dinámica y viceversa a o largo de una rama	82
6.1.3.- Curva característica resistiva de un sistema	83
6.1.4.- Estimación del punto de funcionamiento de una instalación cuando se ha seleccionado un ventilador (y/ó equipo de climatiza- ción), y se ha dimensionado una red de conductos	84
6.2.- Determinación de la curva resistiva de una red de conductos ya dimensionada. Cálculo del caudal real circulante en cada tramo y boca	84
6.2.1.- Caracterización de la presión total perdida en un tramo	85
6.2.2.- Caracterización general de una boca de impulsión	86
6.2.3.- Caracterización general de una rejilla de retorno	86
6.2.4.- Suma de las características de tramos en serie	87
6.2.5.- Tramo más boca de impulsión y/ó retorno	88
6.2.6.- Suma de las características de tramos en "Y"	88
6.2.7.- Red completa de impulsión + retorno	90
6.2.8.- Curva resistiva en función de la presión estática	91
6.2.9.- Determinación del caudal real circulante en cada tramo y boca	91
6.2.10. Pérdida de presión total en una rama de impulsión y/ó retorno	92
6.3.- Métodos de dimensionamiento de una red de conductos	93
6.3.1.- Método de reducción de velocidad	94
6.3.1.1.- Dimensionado de la red de conductos	94
6.3.1.2.- Elección del ventilador y equilibrado del sistema	95
6.3.1.3.- Forma práctica de aplicación. Sus ventajas y limitaciones	96
6.3.2.- Método de pérdida de carga constante	97
6.3.2.1.- Dimensionado de la red de conductos	97
6.3.2.2.- Elección del ventilador y equilibrado del sistema	98
6.3.2.3.- Forma práctica de aplicación. Sus ventajas y limitaciones	98
6.3.3.- Método de igual pérdida de carga en cada rama	99
6.3.3.1.- Dimensionado de la red de conductos	99
6.3.3.2.- Elección del ventilador y equilibrado del sistema	101
6.3.3.3.- Forma práctica de aplicación. Sus ventajas y limitaciones	101
6.3.4.- Método de recuperación estática	102
6.3.4.1.- Dimensionado de la red de conductos	102
6.3.4.2.- Elección del ventilador y equilibrado del sistema	104
6.3.4.3.- Forma práctica de aplicación. Sus ventajas y limitaciones	104
6.3.5.- Método "T"	107

6.3.5.1.- Dimensionado de la red de conductos	107
6.3.5.1.1. Suma de dos tramos en paralelo	111
6.3.5.1.2. Suma de dos tramos en serie	112
6.3.5.1.3. Presión óptima de la instalación	114
6.3.5.1.4. Expansión de tramos	114
6.3.5.2.- Elección del ventilador y equilibrado del sistema	115
6.3.5.3.- Forma práctica de aplicación. Sus ventajas y limitaciones	115
6.4.-Comparación de métodos de diseño	115
6.4.1.- Superficie de conducto total empleado	116
6.5.- Ejemplo de cálculo de una instalación según diferentes métodos	117
6.5.1.- Definición de la instalación	117
6.5.2.- Caracterización de difusores y rejillas	119
6.5.3.- Valoración de longitud equivalente en accesorios	120
6.5.4.- Método de reducción de velocidad	121
6.5.5.- Método de pérdida de carga constante	123
6.5.6.- Método de igual pérdida de carga en cada rama	124
6.5.7.- Método de recuperación estática	127
6.5.8.- Método "T"	129
6.5.9.- Redistribución de caudales. Curva característica	133
6.5.10.- Determinación con precisión C tramos	136
6.5.11.- Consideraciones prácticas	138
6.6.- Comparación de métodos de dimensionamiento	138
6.7.- Consideraciones especiales en los sistemas de volumen variable	140
Anexo 1. Factor actualización a pesetas constantes de un gasto anual	141
Bibliografía	143

1.- INTRODUCCIÓN.-

1.1.- Consideraciones generales.-

El correcto dimensionamiento de la red de conductos y la adecuada disposición y selección de difusores en una instalación de climatización es fundamental, ya que si realizamos una buena evaluación de las cargas térmicas de un proyecto, elegimos apropiadamente el sistema de climatización, su regulación, y la necesaria máquina de producción de calor y/o frío, pero ejecutamos un incorrecto reparto del fluido que compensa las cargas del local, no habremos conseguido el confort de las personas que allí vivan o trabajen, y por lo tanto el resultado no será una buena instalación de climatización.

Este hecho no siempre es bien tenido en cuenta por los proyectistas, considerando que un ligero estudio del tema de conductos y difusores es suficiente, y el resto "ya se equilibrará" en la propia obra. Lo cual produce muy frecuentemente un costo excesivo en mano de obra (equilibrado), y un mal funcionamiento del sistema en su conjunto (existen zonas mal ventiladas, con aire prácticamente estancado, o por el contrario corrientes de aire, ruidos, etc...).

De forma aproximada se puede afirmar que el éxito de una instalación de climatización se reparte en un 30% en la estimación correcta de cargas, un 30% en la elección del sistema, máquinas y su regulación, un 30% en el dimensionamiento de conductos, ubicación y selección de difusores y un 10% en el resto de equipamiento.

En definitiva, no sólo es únicamente primordial "fabricar" la cantidad de aire necesaria y en condiciones térmicas adecuadas para nuestra instalación, sino que también es fundamental repartirlo allí donde se necesita, y por tanto no se debe dejar a un "posterior arreglo in situ".

El cálculo correcto de un sistema de distribución de aire exigiría:

1) La selección y ubicación de los difusores de cada local es función de:

- Caudal de aire requerido (dependiente de las cargas a compensar y de las condiciones de impulsión)
- Su proyección o alcance (dependiente de las dimensiones del local y tipo de difusor)
- Su nivel de ruido (dependiente de la actividad del local)

2) El dimensionamiento de la red de conductos, el cual deberá:

- Repartir según las necesidades establecidas, el aire en todos y cada uno de los difusores.
- Trabajar con una caída de presión total del sistema que sea la adecuada a la máquina o ventilador seleccionado, (realmente que la intersección de sus curvas de funcionamiento proporcione el caudal requerido con un rendimiento del ventilador aceptable).
- Que cumpla con las características constructivas del inmueble (altura máxima, trazado impuesto, etc.).

- Acercarse en lo posible a un óptimo dimensionamiento económico, minimizando la función suma del coste de inversión (conductos + ventilador) y mantenimiento (coste de energía eléctrica consumida).

Este documento pretende orientar sobre la forma de realizar el dimensionado de la red de conductos, recomendándose consultar la documentación facilitada por los fabricantes de difusores sobre la selección de los mismos, función del diseño concreto de cada uno de los equipos reales del mercado.

En caso de que el lector únicamente esté interesado en conocer los distintos métodos de dimensionamiento de conductos leer directamente el apartado 6.3 y siguientes (debiendo consultar las gráficas y utilizar las fórmulas que en ellos se indica).

1.2.- Clasificación.-

Los sistemas de distribución de aire, tanto de impulsión como de retorno, se clasifican en función de su velocidad máxima y/o en función de su presión total.

Atendiendo a su velocidad se suelen clasificar en sistemas de pequeña velocidad o convencionales y los de gran velocidad, (siendo a su vez función de la utilidad de los locales). La línea divisoria entre estos sistemas es imprecisa, pero como norma general se adopta:

1) Acondicionamiento de aire para locales comerciales:

- a) Baja velocidad: Hasta 12 m/s (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 (entre 11 y 12 m/s)
- b) Alta velocidad: Más de 12 m/s (entre 12 y 15 m/s)

Atendiendo a su presión total se puede establecer una segunda clasificación:

- 1) De baja presión o clase I: Hasta 90 mm.c.a. (≈ 900 Pa)
- 2) De media presión o clase II: De 90 a 180 mm.c.a. (≈ 900 Pa a 1800 Pa)
- 3) De alta presión o clase III: De 180 a 300 mm.c.a. (≈ 1800 Pa a 3000 Pa)

Por último otra posible clasificación en conductos rectangulares es atendiendo a su coste, el cual será función a su vez del perímetro del conducto, y este aumenta conforme aumenta la relación anchura/altura. Esto nos debe llevar a utilizar, si es posible, la relación 1:1, (no se aconseja nunca pasar de la relación 7:1, ya que esta relación prácticamente duplicaría el coste de conducto para un mismo caudal de aire manejado).

La clasificación realmente se establece en función de la mayor dimensión, así:

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

Tabla nº 1 Clasificación en función de su coste