



DTIE 4.01

CRITERIO DE CÁLCULO Y DISEÑO
DE TUBERÍAS EN LA EDIFICACIÓN

Edición revisada

PATROCINA



Saunier Duval

EDITA



DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN DTIE

DTIE 4.01. CRITERIO DE CÁLCULO Y DISEÑO DE TUBERÍAS EN LA EDIFICACIÓN

Edición revisada

Perfil del autor

Aurelio Alamán

Doctor Ingeniero Industrial. Profesor de Investigación del C.S.I.C. Durante 40 años ha trabajado en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, la mayor parte del tiempo en instalaciones e higrotérmica del edificio. Tiene publicados varios libros, monografías, manuales y artículos.

José Luis Esteban

Doctor Ingeniero Industrial. Investigador del C.S.I.C. Más de 30 años de trabajos en temas de instalaciones y edificación. Presidente del Comité Técnico de Normalización 53 de AENOR "Materiales Plásticos". Autor de libros, monografías, etc.

José María Chillón

Ingeniero Técnico Industrial, Jefe del Laboratorio de Instalaciones hidráulicas con más de 20 años de experiencia en el campo de diseño y desarrollo de sistemas experimentales. Director de calidad de los laboratorios del Dpto. de Edificación y Habitabilidad del IETcc.

RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR

Presidente: JOSÉ MANUEL PINAZO OJER

Vicepresidente: FELIPE CEBRIÁN QUESADA

Vocales: SANTIAGO AROCA LASTRA
 JOSÉ MARÍA CANO MARCOS
 ALEJANDRO CABETAS HERNÁNDEZ
 MARÍA CUBILLO SAGÜES
 JOSÉ FERNÁNDEZ SEARA
 ARCADIO GARCÍA LASTRA
 RICARDO GARCÍA SAN JOSÉ
 AGUSTÍN MAILLO PÉREZ
 ANTONIO PANIEGO GÓMEZ
 PAULINO PASTOR PÉREZ
 PEDRO J. POZO GÓMEZ
 JUAN JOSÉ QUIXANO BURGOS
 FRANCISCO JAVIER REY MARTÍNEZ
 JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ TARODO
 ÁNGEL SÁNCHEZ DE VERA QUINTERO
 VICTOR MANUEL SOTO FRANCÉS
 RAFAEL ÚRCULO ARAMBURU
 ALBERTO VITI CORSI
 ANTONIO VEGAS
 PEDRO G. VICENTE QUILES
 ANTONIO GARCÍA LAESPADA
 SALVADOR SOLSONA
 PEDRO TORRERO GRAS
 JOSÉ B. PÉREZ-ALLUÉ
 JUAN TRAVESÍ CABETAS

© ATECYR

Edita: ATECYR
 Navaleno, 9
 28033 Madrid

Producción y realización:
 ATECYR

Maquetación e impresión:
 GRÁFICAS ELISA, S.L.

ISBN:
 Dep. Legal: M-28863-2007

PRESENTACIÓN

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), una entidad sin ánimo de lucro fundada en 1974, agrupa a más de 1.500 ingenieros y profesionales relacionados con los sectores de calefacción, refrigeración, ventilación y Aire Acondicionado.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como sus fines:

El estudio de la problemática y de la ordenación, reglamentación y protección de las técnicas de calefacción, refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire, frío industrial, fontanería, uso racional de la energía y aquellas otras actividades relacionadas o anexas con las mismas, considerando su particular circunstancia de especialidades en la ingeniería del medio ambiente.

La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a dichas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre y el desarrollo de la misma.

Fomentar el interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de cumplir mejor su función social.

La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación.

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados como AENOR, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas; Ministerios de la Vivienda, de Industria y Comercio, como miembro de pleno derecho en la Comisión Asesora y Grupo de Trabajo Permanente del Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE), así como asesor técnico en casos de tanta relevancia como la normativa sobre la prevención de la Legionelosis; un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos; otras asociaciones, como la Asociación de Fabricantes Españoles de Climatización (AFEC), con la que se ha desarrollado un Plan de Calidad para las instalaciones de climatización que pronto será elevado a norma y con la Asociación de Fabricantes de Equipos y Generadores de Calor (FEGECA)

En el campo normativo es digno de resaltar la participación en la elaboración del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), publicado en 1998, así como la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión de este mismo reglamento, en diciembre de 2003 y que hoy esta pendiente de aprobación.

Desde el punto de vista internacional es miembro de REHVA, asociación europea que agrupa a las asociaciones de técnicos del sector, y ASHRAE, su homónima americana, con la participación destacada de algunos de sus socios en los órganos de gobierno de las mismas.

En este ámbito, lo más destacado, en los últimos tiempos, es haber promovido, el Congreso Mediterráneo de Climatización CLIMAMED, en el que participan las asociaciones de Portugal, Francia e Italia. La segunda edición tuvo lugar en España en el año 2005, coincidiendo con el certamen CLIMATIZACIÓN 2005, la tercera edición en Lyon, Francia, estando prevista la cuarta edición en Génova, Italia, en septiembre de 2007.

En sus más de treinta y tres años de vida, ATECYR no sólo ha participado en gran número de proyectos, sino que se ha convertido en un referente para todos los técnicos del sector de climatización y refrigeración.

Esto es, en gran parte, debido a la existencia de un grupo de socios comprometidos con los fines de la asociación, que han trabajado y trabajan de una forma desinteresada por mantener el nivel y el prestigio, de alguna forma heredado, evolucionando hacia las nuevas tendencias técnicas, tecnológicas y de mercado.

Una parte importante de este prestigio se debe a la labor del Comité Científico de ATECYR, ahora evolucionado hacia Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector y que, de alguna manera, han marcado las tendencias y la forma de hacer las cosas en los últimos años, ya sea desde ATECYR o desde el desarrollo de su actividad profesional.

Como no podía ser de otra manera, el Comité Técnico de ATECYR viene trabajando desde hace años, en la elaboración de una ingente documentación de divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de climatización y refrigeración.

Entre esta documentación, se encuentran traducciones de libros y artículos considerados de interés y bibliografía propia.

Dentro de la bibliografía propia nace la colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DITE) como una respuesta a la necesidad detectada de agrupar y ordenar la información técnica sobre una serie de temas específicos mediante la elaboración de unas guías donde se reúna toda la información que el técnico precisa sobre ese tema para desarrollar su labor.

Se trata de ofrecer al técnico de una herramienta útil para la realización de su trabajo, sin tratar de condicionar su creatividad, incluyendo la última tecnología y tendencias, dejando a su interpretación las cuestiones normativas.

Por definición, el concepto de utilidad va unido inequívocamente a estos documentos, lo que nos ha hecho plantear algunos temas que, lejos de ser netamente técnicos, merecen la atención de nuestros expertos por la repercusión sobre la actividad de nuestros socios, los técnicos del sector. Me refiero a cuestiones de índole jurídico-técnico en los que nuestra actividad nos obliga a ponernos al día.

Como conclusión, esta colección de libros pretende constituirse como guías prácticas sobre temas de interés dentro del ámbito de la climatización y refrigeración, enfocadas a técnicos que trabajen o que tengan inquietudes en este ámbito.

Sólo queda agradecer su aportación a los patrocinadores de estas ediciones, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto.

Jaime R. Sordo González
Presidente

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a SAUNIER DUVAL, Socio Protector de ATECYR, la valiosa colaboración prestada a la edición de este nuevo Documento que iremos presentando a nuestros socios a través de las Agrupaciones de Atecyr.

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. (Edición revisada)

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 Solares Térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria

SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire

- *9.01 Tipos de sistemas
- *9.02 Aplicaciones a diferentes tipos de edificios
- *9.03 Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales

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
- *17.02 Responsabilidad Civil del Ingeniero

* Editadas

CRITERIO DE CÁLCULO Y DISEÑO DE TUBERÍAS EN LA EDIFICACIÓN

Aurelio Alamán, José Luis Esteban y José Maria Chillón

INDICE

1.	Fundamentos teóricos	11
2.	Pérdida de carga en tuberías	25
	2.1. Coeficiente de fricción	25
	2.2. Pérdida de carga	26
	2.3. Régimen del flujo de fluidos	27
	2.4. Pérdida de carga en flujo laminar	30
	2.5. Pérdida de carga en régimen turbulento	33
3.	Pérdidas de carga en singularidades	38
	3.1. Generalidades	38
	3.2. Pérdidas en singularidades	39
	3.3. Pérdidas normalizadas	41
4.	Válvulas	45
	4.1. Tipos de válvulas	45
	4.2. Criterios de selección	46
5.	Características del fluido transportado	52
	5.1. Agua	52
	5.1.1. Pérdida de carga	53
	5.2. Agua glicolada	55
	5.3. Otros líquidos	57
6.	Materiales y campo de aplicación	58
	6.1. Propiedades de la instalación	58
	6.1.1. Calidad del agua	58
	6.1.2. Características de los materiales	58
	6.2. Normativa	59
	6.3. Materiales empleados	60
	6.3.1. Materiales metálicos	60
	6.3.1.1. Tubos de acero no aleado	61
	6.3.1.2. Tubos de acero inoxidable	62
	6.3.1.3. Tubos de cobre	63
	6.3.1.4. Tubos de fundición dúctil	66
	6.3.2. Materiales plásticos	68

6.3.2.1. Tubos de materiales termoplásticos	73
6.3.2.1.1. Tubos de policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U)	73
6.3.2.1.2. Tubos de Polietileno (PE)	75
6.3.2.2. Tubos termoplásticos para conducción de agua fría y caliente	82
6.3.2.2.1. Polibutileno (PB)	87
6.3.2.2.2. Poli(cloruro de vinilo) clorado	90
6.3.2.2.3. Polietileno reticulado (PE-X)	92
6.3.2.2.4. Polipropileno (PP)	95
6.3.2.2.5. Polietileno resistente a la temperatura (PE-RT)	101
6.3.2.2. Tubos multicapa	104
6.3.2.3. Tubos de plásticos termoestable reforzado con fibra de vidrio (PRFV) basados en resinas de poliéster insaturada (UP)	108
6.4. Características de los materiales	110
6.5. Uniones	112
6.6. Envejecimiento de las tuberías	122
6.6.1. Factores	122
6.6.2. Métodos aproximados de predicción	122
6.6.3. Otros valores	124
7. Corrosión y erosión	127
7.1. Generalidades	127
7.2. Corrosión interior	127
7.2.1. Temperatura	128
7.2.2. Aireación diferencial	129
7.2.3. Efectos de la composición del agua	130
7.2.4. Unión entre distintos materiales	132
7.3. Erosión	133
7.4. Corrosión exterior	135
7.4.1. Tubos de acero galvanizado	135
7.4.2. Tubos de cobre	135
7.5. Prevención de la corrosión	135
8. Mantenimiento y conservación	136
8.1. Generalidades	136
8.2. Causas de ensuciamiento de las tuberías y prevención	137
8.3. Limpieza interior de instalaciones	142

9.	Ruido y vibraciones	144
9.1.	Generalidades	144
9.2.	Velocidad del agua	144
9.3.	Conexiones flexibles	146
9.4.	Control del ruido	147
9.4.1.	Flujo de agua en las tuberías	148
9.4.2.	Reducción de singularidades	148
9.4.3.	Aislamiento de las tuberías	148
9.4.4.	Control de ruido del sistema de bombeo y otros equipos	149
10.	Dimensionado de redes y equilibrado	151
10.1.	Dimensionado de redes	151
10.2.	Equilibrado de la red	153
10.3.	Práctica de equilibrado	159
10.3.1.	Instalación nueva	159
10.3.2.	Instalaciones existentes	159
11.	Ensayo de las redes existentes	167
	Bibliografía	170
	Anejo 1. Semejanza física	175
	Anejo 2. Fórmulas para el cálculo de pérdida de carga	177
	Anejo 3. Longitudes de tubería equivalentes	185
	Anejo 4. Calidad del agua para consumo humano	187
	Anejo 5. Gráficos de pérdidas de carga	190
	Anejo 6. Cálculo simplificado del golpe de ariete	206
	Anejo 7. Definiciones relativas a la naturaleza del agua	210
	Anejo 8. Datos orientativos de dureza y otros datos analíticos del agua de distintas ciudades españolas	212
	Anejo 9. Anomalías en los flujos de líquidos	213
	A.9.1. Despegue del fluido de las paredes de la tubería	213
	A.9.2. Cavitación	214
	Anejo 10. Soportes de tubos	216

Anejo 11. Ensayos de estanquidad de la red	220
A.11.1. Prueba preliminar	220
A.11.2. Prueba de purga	221
A.11.3. Prueba principal de presión	221
A.11.4. Método de prueba de pérdida de agua	221
A.11.4.1. Método de prueba de pérdida o caída de presión	222
A.11.4.2. Método alternativo para materiales viscoelásticos	222

TUBERÍAS

1.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

Para comprender los fenómenos que intervienen en el flujo de fluidos por tuberías, es interesante recordar algunos fundamentos y leyes básicas.

a) Ecuación de continuidad

El movimiento de un fluido en una tubería viene sujeto, en primer lugar, a la ecuación de continuidad, derivada de la ley de conservación de la masa, la cual expresa que en un conducto estanco, el flujo másico que lo atraviesa es constante en toda su longitud, es decir que es el mismo en cualquier sección del mismo.

Matemáticamente se expresa por:

$$\int \rho \cdot v \cdot dA = \text{constante}$$

donde:

ρ es la densidad del fluido
 v es la velocidad normal a la sección dA

Si, como en el caso de los líquidos, que se considera fluido incompresible es decir que no varía su densidad por efecto de las variaciones de presión, se puede decir lo mismo del caudal o gasto volumétrico:

$$\int v \cdot dA = \text{constante}$$

La velocidad del fluido, como se verá más adelante, no es la misma en todos los puntos de la sección, por lo tanto consideramos la velocidad media.

$$\int v \cdot dA = v_m \cdot A$$

se puede escribir:

$$Q_v = v_{m1} A_1 = v_{m2} A_2 = \dots = v_{mi} A_i$$

donde:

Q_v es el caudal o gasto volumétrico;
 v_{mi} es la velocidad media del fluido en la sección i , considerada;
 A_i es el área de la sección recta i , considerada.

b) Presiones.

En un fluido en reposo, las moléculas del mismo ejercen sobre la pared del recipiente que lo contiene una presión, denominada presión estática.

La presión estática, en un punto del fluido, es igual en todas las direcciones (principio de Pascal). Como corolario de la anterior afirmación, se deduce que si en un punto de un fluido se aumenta la presión estática, este aumento se verá reflejado por igual en todas las direcciones.

La presión dinámica está ligada con el movimiento del fluido, y es la presión producida por la energía cinética inherente a la masa del fluido en virtud de su movimiento.

Como es sabido, la energía cinética de un fluido con una velocidad uniforme es igual al trabajo mecánico requerido para acelerar la masa del fluido desde el reposo hasta esta velocidad.

Teniendo en cuenta la definición de velocidad (camino dl , recorrido en el instante dt):

$$v = \frac{dl}{dt}$$

y que la aceleración es la variación de la velocidad con el tiempo:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

de ambas fórmulas se desprende, despejando dl , obtenemos:

$$dl = \frac{v \cdot dv}{a}$$

Tengamos en cuenta la 2ª ley de Newton, ($F = M \cdot a$), y el volumen que consideramos es V , (cuya masa, si ρ es la densidad, es $M = V\rho$ y cuyo peso, si γ es el peso específico del fluido, $V \cdot \gamma = V \rho \cdot g$):

Por otra parte, para llevar el líquido desde el reposo a la velocidad v , su masa ha tenido que estar sujeta a una aceleración provocada por una fuerza F actuando sobre él, fuerza que, en cada momento de su desplazamiento, ha originado un trabajo (transformado en energía cinética):

$$dE = F \cdot dl$$

El total de energía cinética acumulada por el líquido para alcanzar desde el estado de reposo a la velocidad v , es:

$$E_c = \int_0^v F \cdot dl = \int_0^v m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot v dt = \frac{1}{2} m \cdot v_m^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_m^0$$

la energía cinética de una masa en movimiento es:

$$E_c = V \cdot \rho \cdot \frac{v_m^2}{2} = \frac{V \cdot \gamma \cdot v_m^2}{2g}$$

que puede escribirse de la forma:

$$\frac{E_c}{V} = \frac{\gamma \cdot v_m^2}{2g}$$

La ecuación de dimensiones del primer miembro de la igualdad anterior es:

$$\frac{E_c}{V} = \frac{J}{m^3} = \frac{N \cdot m}{m^3} = \frac{N}{m^2}$$

nos muestra que la energía por unidad de volumen tiene las dimensiones de una presión que, con las debidas unidades, podemos medir como una altura, h , de columna del líquido. Esta es la presión dinámica, que contrariamente a como ocurre con la presión estática, no es igual en todas las direcciones sino que actúa únicamente en el sentido del desplazamiento y su valor es:

$$h_c = \frac{v_m^2}{2g}$$

La presión total, es la suma de la presión estática y dinámica.

La presión estática se determina midiendo la presión en un orificio situado en la pared de la tubería. La presión total se mide en un tubo en cuyo orificio incide normalmente la corriente del fluido. La presión dinámica, que es la diferencia entre ambas, se mide con la disposición de la figura 1.1: la presión total en la rama izquierda de la U y la estática en la rama derecha; la diferencia que es la señalada, es la presión dinámica.

Se entiende que los tramos de tubería y tubo en U, desde el punto de toma hasta el líquido de medida, están llenos del fluido que circula por la tubería. Si el líquido con el que se miden las presiones es de una densidad similar a la del fluido que pasa por la tubería, la lectura de la diferencia del líquido de referencia habrá que corregirla con el peso de la columna del líquido de la tubería que ocupa el tramo de medida en la rama izquierda del tubo en U. Si la diferencia de densidades es grande, (por ejemplo mercurio y agua, o agua y aire), el error cometido al no hacer la mencionada corrección es pequeño.