



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency
Intelligent Energy Europe
www.fenercom.com



Asociación Técnica Española
de Climatización y Refrigeración
www.atecyr.org



Madrid
Ahorra
con Energía

M La Suma de Todos
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE INDUSTRIA,
TURISMO
Y COMERCIO



Medida de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España (2004/2012) puesta en marcha por la Comunidad de Madrid, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios

Madrid, 2011



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency

Intelligent Energy



Europe

www.fenercom.com



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

Esta Guía se puede descargar en formato pdf desde la sección de publicaciones de las páginas web:

www.madrid.org

(Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas)

www.fenercom.com

Si desea recibir ejemplares de esta publicación en formato papel puede contactar con:

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

dgtecnico@madrid.org

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

fundacion@fenercom.com

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas y opiniones que en ellas se exponen y, por tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

La Comunidad de Madrid y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores de esta guía.

Depósito Legal: M. 44.040-2011

Impresión Gráfica: Gráficas Arias Montano, S. A.

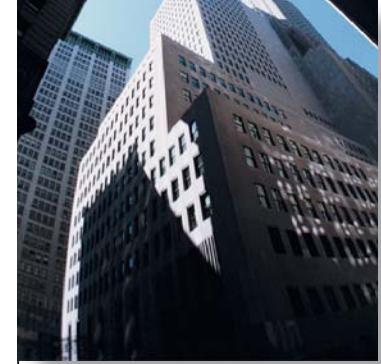
28935 MÓSTOLES (Madrid)

Autores

Esta publicación ha sido redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.



PRESENTACIÓN	9
1. INTRODUCCIÓN	11
2. MEDIDA DE LA TEMPERATURA	15
2.1. Instrumentos para la medida de la temperatura	16
2.1.1. Termómetros bimetálicos	16
2.1.2. Termopares	17
2.1.3. Sensores de resistencia variable: RTDs, PTCs, NTs	18
2.2. Tipología de las sondas de temperatura	20
2.3. Termografía por infrarrojos	22
3. MEDIDA DE LA PRESIÓN	25
3.1. Instrumentos para la medida de la presión	26
3.1.1. Manómetros mecánicos	27
3.1.2. Transductores de presión	28
4. MEDIDA DEL CAUDAL DE LÍQUIDOS	31
4.1. Caudalímetros intrusivos	32
4.1.1. Tubo Venturi	32
4.1.2. Caudalímetros de área variable, rotámetros	33
4.1.3. Caudalímetros de tipo turbina	34
4.1.4. Caudalímetros electromagnéticos	34
4.2. Caudalímetros no intrusivos, medida indirecta	35
4.2.1. Caudalímetros de ultrasonidos	35
4.2.2. Medida del caudal con la curva de la bomba	37
4.2.3. Medida del caudal con la pérdida de presión de válvulas	39
5. MEDIDA DEL FLUJO DE AIRE	41
5.1. Instrumentos para la medida de la velocidad	41
5.1.1. Anemómetros mecánicos	42
5.1.2. Anemómetro de hilo caliente	42
5.1.3. Tubo Pitot	43
5.2. Procedimiento de medida del caudal de aire	44
6. MEDIDA DE LAS CONDICIONES INTERIORES Y EXTERIORES	47
6.1. Medida de las condiciones interiores	47





Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios

6.1.1	Temperatura operativa	47
6.1.2	Humedad relativa del ambiente	48
6.1.3	Velocidad del aire en interiores	49
6.1.4	Concentración de CO ₂	50
6.1.5	Medida del nivel de luz	51
6.1.6	Medida del ruido	53
6.2	Medida de las condiciones exteriores	54
6.2.1	Temperatura y humedad relativa exterior	55
6.2.2	Velocidad y dirección del viento	55
6.2.3	Radiación solar	57
7.	MEDIDA DE LA ENERGÍA	61
7.1	Consumo de energía eléctrica	61
7.1.1	Vatímetros de bajas potencias	62
7.1.2	Pinza ampermétrica, polímetro	62
7.1.3	Medidor de potencia de 1 fase	63
7.1.4	Medidor de potencia de 3 fases. Analizador de redes	64
7.1.5	Vatímetros y contadores de energía fijos	68
7.2	Consumo de energía de combustibles	69
7.2.1	Contadores de gas	69
7.2.2	Contadores de gasóleo	70
7.3	Medida de la energía térmica en circuitos	70
7.3.1	Contadores de energía térmica	70
7.3.2	Medida de la energía térmica con equipos portátiles	71
7.4	Pérdidas por humos en calderas	73
7.4.1	Analizador de humos	73
7.4.2	Bomba opacimétrica	75

P RESENTACIÓN

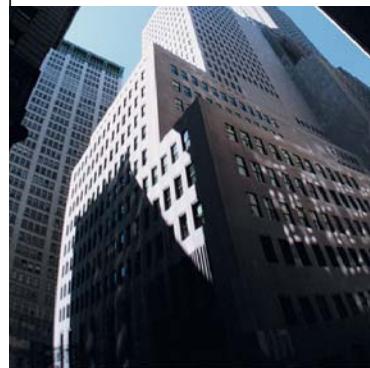
En la búsqueda de la Eficiencia Energética, se hace indispensable conocer con precisión los parámetros energéticos de funcionamiento de los edificios e instalaciones y las condiciones ambientales. Se debe analizar el punto de partida, qué condicionará el edificio durante su funcionamiento, qué se podrá mejorar, graduar y ajustar posteriormente.

Para ello, se emplean equipos de medición de: la temperatura (termómetros secos, bulbo húmedo), la presión (manómetros), la climatología, el caudal de líquidos (caudalímetros), el consumo eléctrico (analizador de redes) y las pérdidas de energía. Estas mediciones son una herramienta de diagnóstico y corrección fundamental, siendo imprescindibles para realizar las auditorías energéticas.

Por este motivo, la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración ATECYR, editan esta guía con el objetivo de dar a conocer qué instrumentación de medida existe y qué parámetros se deben tener en cuenta para la mejora de la Eficiencia Energética.

D. Carlos López Jimeno

Director General de Industria, Energía y Minas
Consejería de Economía y Hacienda
de la Comunidad de Madrid



1

INTRODUCCIÓN



Esta guía es un documento cuyos objetivos principales son:

- Analizar las medidas más habituales a realizar en las instalaciones térmicas.
- Mostrar los instrumentos comerciales más empleados.
- Ayudar a seleccionar la instrumentación necesaria para medir parámetros de funcionamiento de las instalaciones térmicas.
- Mostrar el correcto manejo de la instrumentación, así como los factores a considerar en su manejo y uso.

Las instalaciones térmicas son relativamente opacas y nos resulta en muchos casos imposible conocer su funcionamiento empleando únicamente nuestros sentidos. La instrumentación proporciona datos de temperatura, presión, potencia eléctrica, caudal, velocidad del aire, etc., que nos permiten diagnosticar el funcionamiento de las instalaciones.

En este sentido, antes de pensar en el «cómo medir», quizá es conveniente plantearse el «por qué medir». Se trata de pensar en el objetivo que se persigue en la realización de la medida: reflexionar sobre lo que exactamente pretendemos conocer. De esta forma, será más fácil destinar el tiempo y dinero justo y necesario para medir determinada variable.

CLASIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS EN LAS INSTALACIONES TÉRMICAS

Pueden realizarse muchas clasificaciones de los tipos de medidas a realizar en las instalaciones térmicas. A continuación se reali-



za una clasificación según los tipos de exigencias que realiza el actual Reglamento de las Instalaciones Térmicas de los Edificios.

● Bienestar e higiene

- Calidad térmica (consignas interiores):
 - Temperatura seca.
 - Humedad relativa.
 - Temperatura operativa.
 - Velocidad del aire.
- Calidad de aire (ventilación, infiltraciones):
 - Medidor de concentración de CO₂.
- Higiene:
 - Medida de la temperatura del ACS para el control del RD 865 sobre legionelosis.
- Calidad acústica:
 - Sonómetro.

● Eficiencia energética. Cargas térmicas

- Cargas internas.
- Iluminación:
 - Luxómetro.
- Infiltraciones en ventanas:
 - Anemómetros de hilo caliente.
- Transmitancia de los cerramientos:
 - Sondas de temperatura superficial y temperatura del aire interior y exterior.
- Puentes térmicos, defectos en la envolvente:
 - Cámara termográfica.
 - Sondas de temperatura superficial.

● Eficiencia energética de los equipos:

- Medidas de la energía consumida:
 - Consumo de energía eléctrica: Analizador de redes, pinzas.
 - Consumo de combustible: Contadores, caudalímetros.



- Medida de la energía útil de forma directa:
 - Calor útil aportado al aire: Termohigrómetro, anemómetro.
 - Calor útil aportado a fluidos térmicos: Caudalímetro, sondas de temperatura.
- Medida de la energía útil de forma indirecta:
 - Análisis de ciclos de refrigeración: Manómetros, sondas de temperatura.
 - Pérdidas de energía en combustión: Analizador de humos.

• Seguridad

- Medida de la presión de los circuitos.
- Medida de la temperatura.

INSTRUMENTACIÓN FIJA O INSTRUMENTACIÓN PORTÁTIL

La instrumentación fija a instalar en los equipos y circuitos deberá tener características necesarias para funcionar de forma continua durante muchos años. En este caso, la precisión no suele ser el factor más importante a considerar sino la robustez y durabilidad de los instrumentos.

La instrumentación portátil se emplea bien para el diagnóstico de la instalación por parte del instalador o bien para la realización de auditorías energéticas.

LECTURAS INSTANTÁNEAS O REGISTRO

Las lecturas directas, bien en un termómetro o en un manómetro o bien de forma digital, proporcionan información instantánea que permite el análisis en el instante en el que se está presente en la instalación. El registro de datos es una herramienta muy potente que permite conocer el funcionamiento de la instalación desde el momento de arranque hasta su parada. Además, se puede conocer el funcionamiento de las instalaciones en momentos en los que generalmente no se va a medir, como puede ser por la noche o durante los días festivos.

2

MEDIDA DE LA TEMPERATURA



La temperatura es el modo de medir el nivel de la energía térmica de un sistema. Cuando dos objetos se encuentran a la misma temperatura se encontrarán en equilibrio térmico y no se producirá intercambio de calor entre ellos. La medida del equilibrio térmico se realizará con un tercer objeto: el termómetro.

Las escalas de temperatura se definen mediante valores numéricos asignados a puntos fijos estándar fácilmente reproducibles:

- 273,15 Kelvin = 0 Celsius. Es la temperatura a la que se encuentra el punto de equilibrio de hielo y aire saturado de vapor de agua a una atmósfera.
- 373,15 Kelvin = 100 °C. Es la temperatura a la que el agua líquida y el vapor de agua se encuentran en equilibrio a una atmósfera.

Conversión entre escalas:

$$\text{Kelvin- Celsius: } T \text{ (}^{\circ}\text{C) } = T \text{ (K) } - 273,15$$

$$\text{Celsius-Fahrenheit: } T \text{ (}^{\circ}\text{F) } = 9/5 \text{ (}^{\circ}\text{C) } + 32$$

$$\text{Fahrenheit-Rankine: } T \text{ (}^{\circ}\text{R) } = T \text{ (}^{\circ}\text{F) } + 459,67$$

La medida de la temperatura será una de las medidas más importantes, ejemplos:

- Medida de la temperatura ambiente: temperatura seca, radiante y de bulbo húmedo.
- Medida de la temperatura del agua en la entrada y salida de baterías de fancoils, climatizadoras o enfriadoras.
- Medida de la temperatura del aire en la entrada y en la salida de fancoils, evaporadores y unidades condensadoras.



- Medida de la temperatura en circuitos de climatización y agua caliente sanitaria.
- Medida de la temperatura superficial para determinar pérdidas energéticas.

2.1. INSTRUMENTOS PARA LA MEDIDA DE LA TEMPERATURA

Cualquier cuerpo que varíe alguna de sus propiedades cuando cambia la temperatura es susceptible de usarse como termómetro, siempre y cuando esa propiedad sea medible.

A continuación se comentan las características más importantes de los instrumentos más habituales empleados en la medida de instalaciones térmicas de edificios.

2.1.1. Termómetros bimetálicos

Se basan en la diferencia en expansión térmica por dilatación de dos metales diferentes. Se trata de dos tiras de metales diferentes unidas. La diferencia de dilatación producirá el doblado de la tira, cuya medida se representa en una escala circular. Las sondas tienen un coste muy bajo y resultan muy útiles para un control rápido de instalaciones de calefacción y producción de ACS. Se suministran con terminal en forma de vaina y dispuesto para montaje sumergido o roscado en termopozo y para montaje superficial abrazado al tubo.

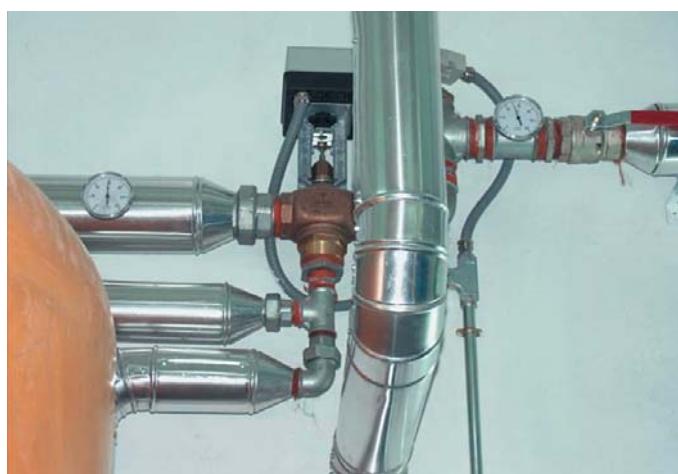
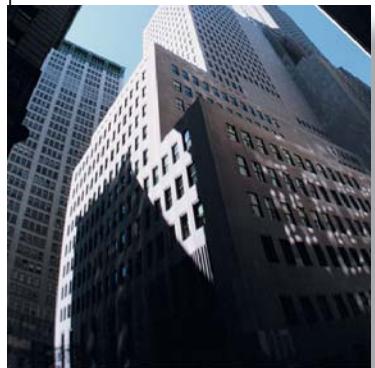


Figura 2.1. Termómetros bimetálicos.



2.1.2. Termopares

La medida de la temperatura mediante termopares se basa en el efecto termoeléctrico (Seebeck): la unión de dos metales produce una fuerza electromotriz (tensión) que es función de la temperatura de las uniones y de los metales.

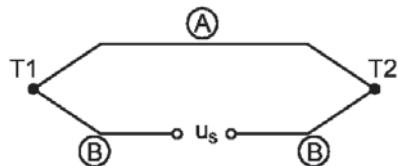


Figura 2.2. Efecto Seebeck.

Actualmente, se comercializan una gran cantidad de tipos de termopares, aunque los más comunes son los tipos K, T y J:

- Tipo T (cobre-constantán, Cu vs. Cu + 43% Ni): sensibilidad, $38 \mu\text{V}^\circ\text{C}$ y precisión, 1°C con un rango de medida entre -270°C y 400°C .
- Tipo J (hierro-constantán, Fe vs. Cu + 43% Ni): sensibilidad, $50,2 \mu\text{V}^\circ\text{C}$ y precisión 1°C con un rango de medida entre -150°C y 1.000°C . Su duración se ve poco afectada por el ambiente.
- Tipo K (cromel-alumel, Ni + 10% Cr vs. Ni + 2% Al + 2% Mn + 1% Si): sensibilidad, $39,4 \mu\text{V}^\circ\text{C}$ con una precisión de 1°C . Su característica es particularmente lineal y es el más empleado en la mayoría de instrumentos comerciales.

Los instrumentos que miden la temperatura mediante termopares, incorporan en su interior una de las uniones y miden la temperatura de la unión interior (mediante otro tipo de sonda). Conocida la temperatura de la unión y la f.e.m. producida se proporciona el dato de la temperatura en la otra unión (la sonda).

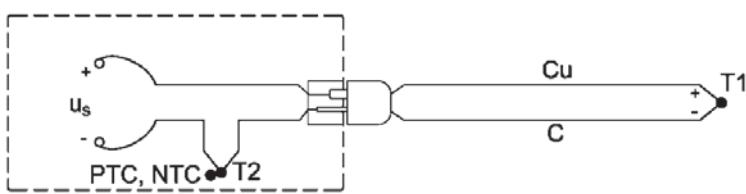


Figura 2.3. Lectura de temperatura mediante instrumento comercial.



En el caso de emplear cables de unión a modo de alargadera para la conexión entre el termopar y el instrumento, es necesario emplear un cable de unión especial de materiales acordes con el tipo de termopar. De esta forma no se producirán nuevas uniones entre distintos materiales que realicen una tensión añadida que modifiquen la medida. Los conectores para termopares son específicos para cada tipo de termopar.

Cuando el lector permite la medida de dos termopares, debe tenerse en cuenta que el error en la medida de la temperatura de la unión fría afecta a la medida de la temperatura de cada sonda pero no a la de la diferencia de temperaturas. Este tipo de instrumentos serán especialmente recomendables para la medida de la diferencia de temperaturas en enfriadoras, calderas, fancoils, etc.

2.1.3. Sensores de resistencia variable: RTDs, PTCs, NTs

La medida de la temperatura se basa en la medida de la resistencia eléctrica de un metal o un semiconductor. La resistencia eléctrica se mide usando un puente de corriente continua (como el puente de Wheatstone).

De modo comercial es habitual la utilización de RTDs (Resistance Thermal Devices) del tipo Pt100, es decir, de Platino con una resistencia de 100 Ohm a 0 °C. También es habitual la utilización de sensores de resistencia Pt1.000.

Estos sensores tienen una alta precisión (típicamente 0,5 °C y hasta 0,1 °C) y la curva de variación de la resistencia térmica con la temperatura es lineal para un rango de medidas entre 0 y 250 °C:

$$R = R_o (1 + \alpha \cdot T)$$

Los valores están estandarizados: en el caso de las Pt100, $R_o=100 \Omega$ y $\alpha=0,00385$; para las Pt1.000, $R_o=1.000 \Omega$ y $\alpha=0,00385 \Omega/^{\circ}C$.

Existen sensores fabricados mediante materiales semiconductores cuya resistencia eléctrica varía fuertemente con la temperatura y en principio pueden ser empleados para la medida de la temperatura de forma más precisa que con las RTDs. Los termistores pueden ser del tipo NTC o PTC dependiendo de si la resistencia aumenta o disminuye con la temperatura.

El problema más importante en el empleo de estos sensores consiste en que la variación de la resistencia térmica con la temperatura no es lineal. Además, los termistores sufren envejecimiento que hace que la curva de resistencia cambie con el tiempo, lo que implica volver a calibrar el instrumento. Además, las NTCs no son intercambiables, ya que cada modelo tiene una curva característica particular.

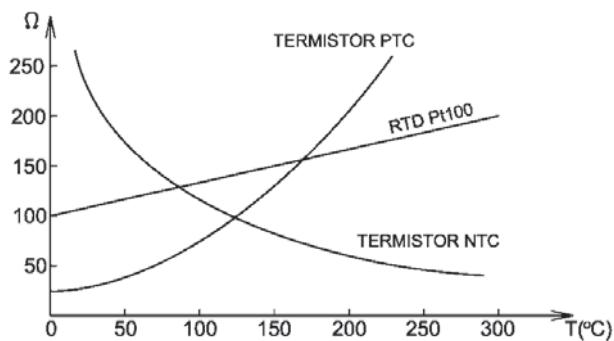


Figura 2.4. Curvas típicas de resistencia eléctrica en función de la temperatura de RTDs y termistores NTCs y PTCs.

La mayoría de los instrumentos que miden la temperatura mediante sensores resistivos están configurados para la utilización de un solo tipo de sensor que suele ser bien Pt100 o Pt1.000. La medida de la resistencia del sensor puede estar influenciada por la resistencia eléctrica de los cables que unen el instrumento al sensor.

Los instrumentos de menor precisión miden la resistencia del sensor mediante un montaje a 2 hilos. En este caso, la resistencia de los cables se suma a la resistencia del sensor. Debe tenerse presente que la sección y longitud de los cables afectará a la medida.

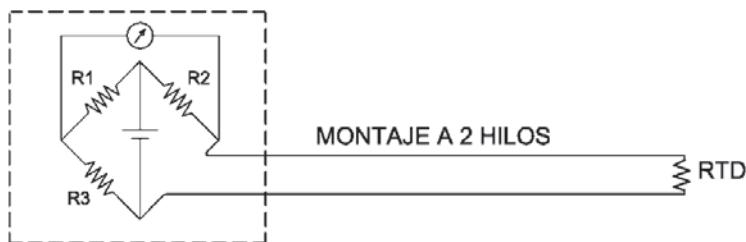


Figura 2.5. Conexión de RTD a 2 hilos.

Para minimizar los problemas de la resistencia de los cables, los instrumentos de medida más precisos emplean montajes a 3 ó a 4 hilos.



2.2. TIPOLOGÍA DE LAS SONDAS DE TEMPERATURA

Con independencia de si las sondas de temperatura emplean sensores tipo RTD, PTC, NTC o termopar, las formas exteriores de las sondas son similares. Las sondas de temperatura encapsulan los sensores para facilitar la medida de la temperatura superficial, en inmersión, al aire, etc. Los termopares son los sensores de temperatura de menor tamaño y permiten configuraciones más pequeñas y de menor inercia.

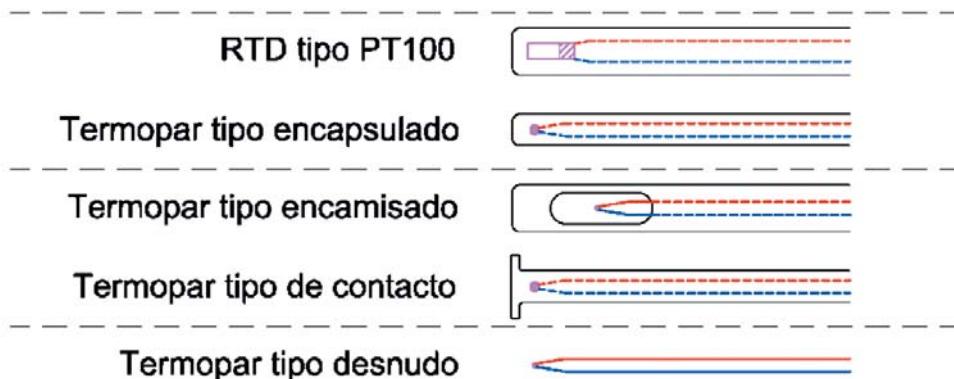


Figura 2.6. Configuraciones típicas de sondas de temperatura.

Para la medida de la temperatura en líquidos se deben emplear sondas de tipo sumergido: termopares, RTDs, NTCs, PTCs.

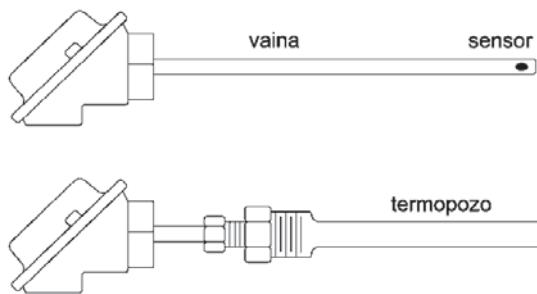


Figura 2.7. Sonda con sensor RTD o termopar con montaje directo o mediante termopar.

Si existen termopozos en los circuitos, podrán instalarse sondas de precisión en los mismos. Es importante rellenar el hueco entre el termopozo y la sonda con pasta conductora o aceite para eliminar resistencias de contacto.

Medida de la temperatura

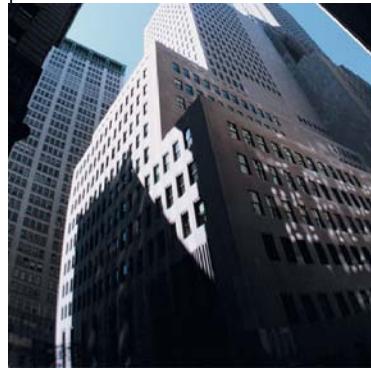
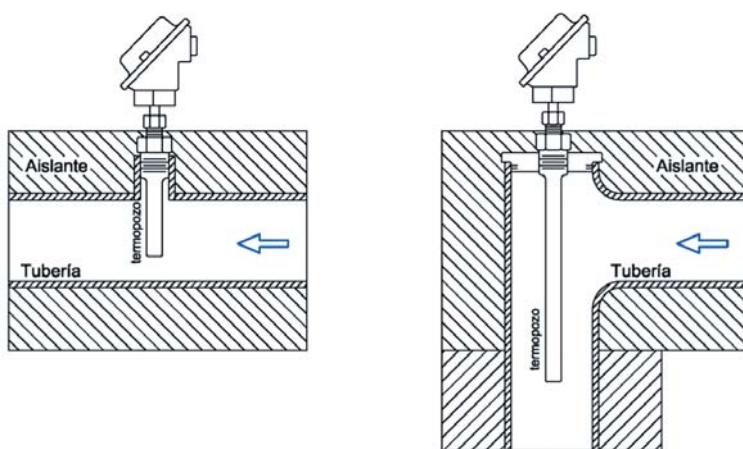


Figura 2.8. Montaje de sondas de temperatura en termopozos.

En la realización de estudios energéticos, es habitual tener que medir la temperatura de fluidos donde no existen termopozos instalados. Se descarta la posibilidad de vaciar el circuito hidráulico e instalar sondas sumergidas. En estos casos (los más frecuentes), se deberá realizar la medida de la temperatura superficial de la tubería.

La medida de la temperatura superficial requiere asegurarse que el sensor de temperatura alcance la temperatura de la pared. En tuberías metálicas aisladas es correcto suponer que la temperatura de la pared será prácticamente igual a la temperatura del fluido térmico. Con las sondas de contacto habituales es muy difícil, sin embargo se conseguirá fácilmente con las sondas tipo termopar desnudo de muy pequeño tamaño, pasta conductora y fuerte aislamiento.

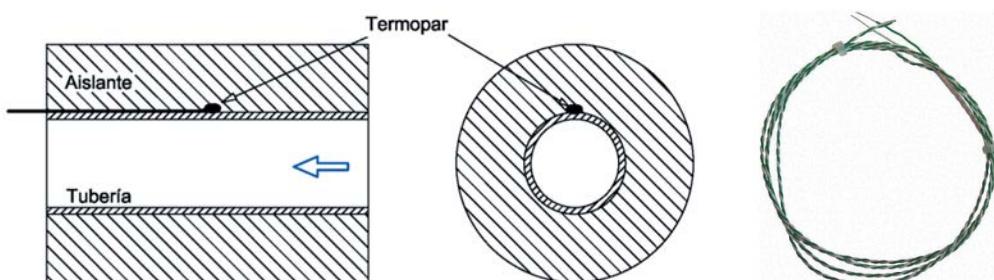


Figura 2.9. Montaje de termopares de pequeño tamaño en tuberías.

Existen algunas sondas de tipo abrazadera que tienen sensores de pequeño tamaño que se aprietan contra la tubería con un material aislante. Con este tipo de montaje se llegan a conseguir buenas medidas de la temperatura superficial.



Los termopares de contacto del tipo mostrado en la Fig. 2.10 son difíciles de utilizar para la medida de la temperatura de tuberías. Si se aprieta el sensor contra una tubería que se encuentra a 70-80 °C, es posible que la sonda mida de 5 a 10 °C por debajo (en función de la presión que se realice). Es importante emplear pasta conductora y aislar fuertemente el conjunto tubo-sonda para conseguir que el sensor alcance la temperatura del tubo. Este tipo de sensores pueden emplearse para la medida en termopozos.



Figura 2.10. Termopar de contacto.

2.3. TERMOGRAFÍA POR INFRARROJOS

La termografía es un procedimiento de imágenes que hace visible la radiación de calor (luz infrarroja) de un objeto o un cuerpo que es invisible al ojo humano. Con la ayuda de la termografía se pueden registrar y esquematizar mediciones de temperaturas superficiales.

Con la termografía se describe la percepción de la emisión de calor de objetos, máquinas, edificios, etc. Gracias a la termografía se puede hacer una idea exacta sobre posibles pérdidas térmicas o determinar fuentes de calor.



Medida de la temperatura



Figura 2.11. Cámaras termográficas comerciales.

La Fig. 2.12 muestra que las imágenes termográficas permiten determinar de forma cualitativa posibles deficiencias en el aislamiento de la envolvente térmica.

La termografía tiene otras aplicaciones:

- Detección de deficiencias de aislamiento.
- Infiltraciones de aire.
- Desequilibrios y problemas de aislamiento en instalaciones eléctricas.
- Falta de aislamiento en tuberías.
- Estado de los puentes térmicos. Identificación de los mismos.

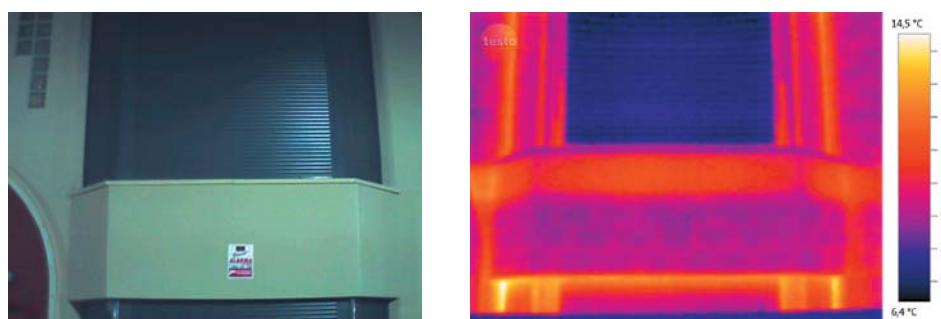


Figura 2.12. Medida termográfica de la envolvente de un edificio.



3

MEDIDA DE LA PRESIÓN

La presión es la fuerza normal por unidad de superficie que ejercen los fluidos en reposo sobre las superficies que están en contacto.

$$p = \frac{F_n}{A}$$

siendo F_n la fuerza normal aplicada sobre la superficie A.

La presión es fuerza por unidad de superficie, siendo su unidad de medida en el Sistema Internacional el Pascal

$$\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

En líquidos se suelen emplear unidades mayores:

1 bar = 10^5 Pa; 1 kg/cm² = 98.100 Pa; 1 atm = 101.300 Pa = 1,013 bar = 1.013 mbar

Es habitual transformar la presión en altura de columna líquida $h = p/\rho g$

1 mca = 9.810 Pa; 1 mmca = 9,81 Pa; 1 Pa = 0,102 mmca; 1 bar = 10,2 mca

1 Pa = 0,0075 mmHg; 1 bar = 750 mmHg

Se definen las siguientes escalas de presión:

- Presión atmosférica en condiciones normales: Se trata de un valor definido a nivel internacional, según la altitud sobre el nivel del mar. A nivel del mar es 101.325 Pa.
- Presión atmosférica local: Es la presión absoluta en el lugar donde se realiza la medida.



- Presión absoluta: Es la totalidad de la fuerza por unidad de superficie, medida respecto al vacío.
- Presión relativa: Es la sobrepresión respecto a la presión atmosférica local. La mayoría de manómetros miden la presión relativa respecto a la presión atmosférica local.
- Presión diferencial: Es la diferencia entre las presiones promedio de dos puntos de un flujo. Se requiere para determinar el incremento de presión producido por bombas o ventiladores.
- Presión dinámica: Es la energía cinética del flujo expresada en unidades de presión.

$$p_D = \frac{1}{2} \rho v^2$$

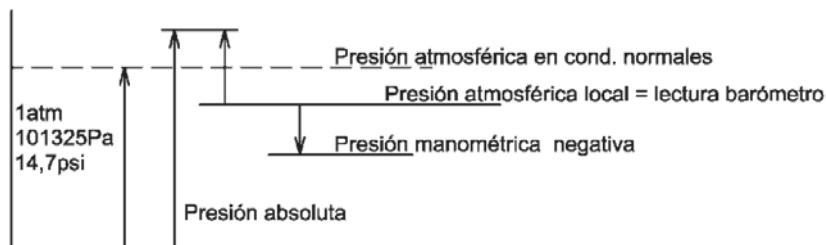


Figura 3.1. Definición de presiones.

En las instalaciones térmicas se necesitará medir la presión en:

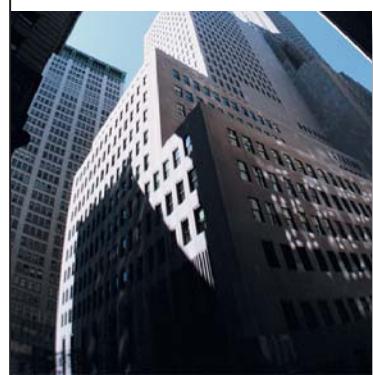
- Presión de los circuitos hidráulicos. Los circuitos hidráulicos deber encontrarse a cierta presión y la medida de la presión indica que el circuito está funcionando correctamente.
- Presión en la aspiración e impulsión de bombas para comprobar su funcionamiento. Con la medida de las presiones se puede estimar el caudal.
- Presión en la aspiración e impulsión de ventiladores para comprobar su funcionamiento y estimar el flujo de aire.
- Presión en los circuitos frigoríficos para comprobar el funcionamiento correcto de los equipos.

3.1. INSTRUMENTOS PARA LA MEDIDA DE LA PRESIÓN

La medida de la presión se basa en que la presión aplicada sobre un área finita de material produce una fuerza y por tanto una tensión y

un desplazamiento en éste. Los instrumentos se pueden clasificar según la presión medida en:

- Barómetros: miden la presión atmosférica.
- Manómetros y vacuómetros (manovacuómetros): miden presiones relativas, positivas, negativas o ambas.
- Manómetros diferenciales (diferencias de presión entre dos puntos).
- Micromanómetros (presiones muy pequeñas, generalmente en aire).
- De columna de líquido (columna de mercurio, de agua o de fluido coloreado).
- Manómetros mecánicos (amplifican una deformación producida por la presión para producir la lectura en una escala graduada).
- Transductores de presión electrónicos (la lectura de la presión se proporciona en un display o en una señal eléctrica).



3.1.1. Manómetros mecánicos

Los manómetros de tipo mecánico se basan en amplificar una pequeña deformación producida por la presión para producir la lectura en una escala graduada. Por lo general, miden la presión relativa respecto a la presión absoluta local, siendo capaces en algunos casos de medir presiones negativas (vacuómetros).

Los manómetros mecánicos más empleados son los de tipo Bourdon. Se trata de un tubo curvado de sección transversal aplanada que se expande en dirección radial cuando se le presuriza internamente. El tubo aplanado puede ser de tipo C, en espiral o en forma de hélice. La deflexión puede ser medida por medio de una ligadura con una aguja indicadora calibrada.

Otro tipo de manómetro mecánico son los de tipo membrana (lisa o corrugada). El principio de funcionamiento es el mismo: la pequeña deformación producida por la presión se amplifica en un dispositivo mecánico accionándose una aguja en una escala calibrada.

Por último, los manómetros de tipo fuelle suelen producir las mayores deformaciones a bajas presiones, siendo adecuados para la medida de bajas presiones.



Figura 3.2. Manómetros mecánicos. Puente de manómetros para la medida de las presiones de alta y baja en máquinas frigoríficas.

3.1.2. Transductores de presión

Los transductores de presión son dispositivos que convierten la presión en una señal eléctrica, proporcional a la misma. Pueden ser de resistencia, capacidad, inducción, piezoelectrinos, potenciométricos, galgas extensiométricas, medidas de vacío.

Generalmente, constan de un dispositivo mecánico de tipo membrana o fuelle que transforman la presión en un desplazamiento que posteriormente se mide mediante una galga extensiométrica o mediante un dispositivo que cambie alguna característica eléctrica en función de la deformación producida por la presión.

Los transductores de presión comerciales empleados en medidas cuasiestacionarias suelen ser pasivos, esto es, que un componente de un circuito eléctrico es modificado por el efecto de la presión: son resitivos, inductivos o capacitivos (R, L, C). A continuación, se comentan los transductores de tipo resistivo.

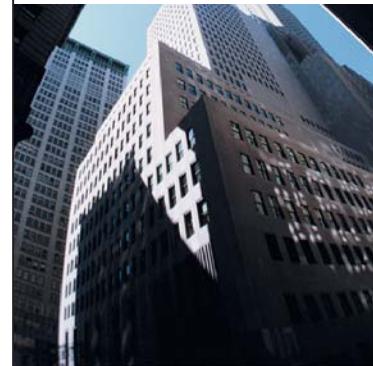
Transductores resitivos potenciométricos

Constan de una cápsula, muelle, tubo Bourdon o membrana que recibe la fuerza debida a la presión que se desea medir. Un contacto se

Medida de la presión

desplaza y una resistencia sobre la que éste se desplaza proporciona una salida variable con la presión.

Se usan para medida de presión estática donde se necesita una salida de alto nivel, pero son sensibles a vibraciones y su vida es limitada por desgastes. La resistencia puede ser hilo bobinado, plástico conductor, cerámica conductora, película de carbón o metálica.



Transductores resistivos extensiométricos

Las galgas extensiométricas transforman una micro-deformación en una variación de su resistencia. Son pequeños elementos formados por hilos conductores, hojas de metal o semiconductores. Este dispositivo se utiliza también para convertir el desplazamiento de una membrana en señal eléctrica.

La resistencia de este aparato cambia en función de la tensión aplicada. Se conectan a un puente Wheatstone para hallar la variación de resistencia. El procesamiento eléctrico de la señal se lleva a cabo de manera análoga al usado en anemometría de hilo caliente, y otros tipos de dispositivos de medida basados en fluctuaciones de resistencia. Estas unidades son versátiles, fiables y poco sensibles a la vibración.

Señal de salida del transductor de presión

Al margen del tipo de sensor empleado en el transductor de presión, en todo caso, los instrumentos disponen de un sistema de acondicionamiento de señal que transforman la señal de salida en una señal de corriente 4-20 mA o de tensión 1 -10 V (o similar). En muchos casos el aparato de medida proporcionará directamente el dato de presión en un display.



Figura 3.3. Micromanómetro de doble rango de medida: 0 – 20 mbar y 0 – 2.000 mbar.



Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios

Rango 0 - 20 mbar = 0 – 2.000 Pa = 0 – 203,87 mm c.a.

Rango 0 - 200 mbar = 0 - 20.000 Pa = 0 – 2.038,7 mm c.a.

En el caso de transductores de presión con salida de intensidad, se suele emplear la salida del tipo 4 – 20 mA, lo que se corresponde con el rango inferior y superior del instrumento.

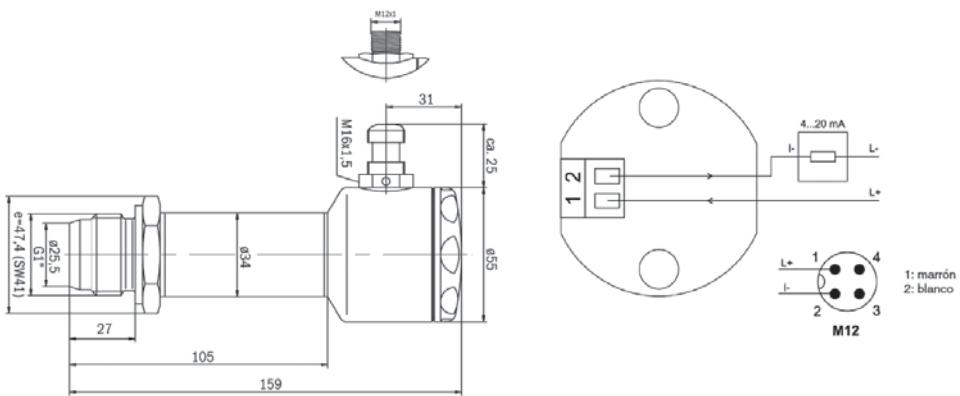


Figura 3.4. Transductor de presión comercial. Conexiones del transductor.

Se suelen alimentar con una tensión continua que puede estar comprendida entre 15 y 30 V. La medida de la corriente sirve para la lectura de la presión en un convertidor de señal.

4

MEDIDA DEL CAUDAL DE LÍQUIDOS



El caudal de agua o mezclas de agua y anticongelante en las instalaciones térmicas de los edificios es un parámetro que se necesita medir para determinar el correcto funcionamiento de la instalación:

- Caudal de agua en circuitos primarios de instalaciones de calefacción o de instalaciones de agua con enfriadoras.
- Caudal de agua (o mezclas de agua y anticongelante) en primarios de instalaciones solares térmicas.

La unidad de medida del caudal en el Sistema Internacional es el m^3/s , sin embargo, es habitual emplear m^3/h , el l/s y el l/h :

$$3.600 \text{ m}^3/\text{h} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1.000 \text{ l/s} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$3,6\cdot10^6 \text{ l/h} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

La medida del caudal de líquidos térmicos se suele realizar de forma integral, proporcionándose el valor en la sección de medida. Caudímetros más empleados:

- Tubo Venturi.
- Métodos de área variable.
- Métodos de desplazamiento positivo.
- Método de turbina.
- Métodos electromagnéticos.
- Método por ultrasonidos.



A continuación se explican las técnicas de medida más habituales en caudalímetros comerciales. Además se describirán dos métodos empleados diferenciándose entre caudalímetros intrusivos y caudalímetros no intrusivos.

4.1 CAUDALÍMETROS INTRUSIVOS

4.1.1. Tubo Venturi

El medidor de Venturi se emplea para la medida de caudales de líquidos en tuberías y para la medida del caudal de aire en conductos de sección circular. Por lo general, se trata de una pieza fundida formada por una porción corriente arriba del mismo tamaño que la tubería y provista de un anillo para medir la presión estática; una región cónica convergente; una garganta cilíndrica y provista de otro anillo de medida; y una sección cónica gradualmente divergente, la cual desemboca en una sección cilíndrica del tamaño de la tubería.

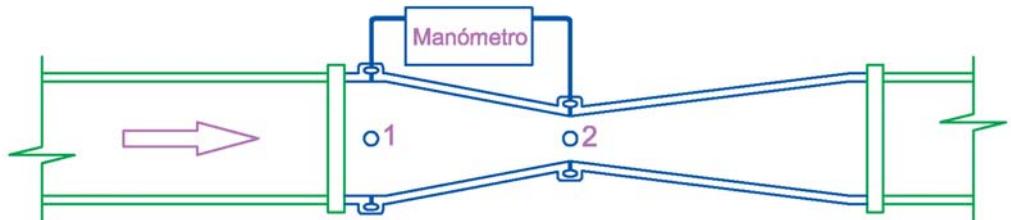


Figura 4.1. Tubo venturi.

Un manómetro diferencial está conectado a los dos anillos piezométricos. El tamaño del medidor venturi se da con el diámetro de la tubería y la garganta; por ejemplo, un medidor venturi de 40 x 20 mm puede ser instalado en una tubería de 40 mm y tiene una garganta de 20 mm.

En el flujo de la tubería a la garganta, la velocidad aumenta y la presión disminuye en forma correspondiente. A partir de la ecuación de Bernoulli es posible obtener la velocidad teórica de la garganta.

$$\frac{V_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\gamma} + h = \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\gamma}$$

Considerando que el caudal es constante en ambas secciones, despejando la V_2 y multiplicando por un coeficiente de velocidad:

$$Q = C_v \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \left[h + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \right]}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}}$$



Se añade un coeficiente de velocidad C_v para obtener la velocidad real. El coeficiente C_v se determina de forma experimental por calibración.

4.1.2. Caudalímetros de área variable, rotámetros

Su funcionamiento se basa en tratar de conseguir una fuerza de arrastre constante mediante la variación de la sección de paso según aumenta el flujo. La diferencia de presión a su través permanece aproximadamente constante. Su funcionamiento es automático al equilibrarse las fuerzas ejercidas por el flujo con la gravedad o la recuperación de muelles. El equilibrio de fuerzas se puede conseguir a través del propio peso del elemento móvil tal y como ocurre en los rotámetros.

Consta de un tubo cónico y de un flotador. El flotador se mueve libremente en el interior de un tubo cónico. Un aumento de caudal provoca el desplazamiento hacia arriba del flotador, aumentando la sección de paso del fluido entre el flotador y las paredes del tubo cónico, consigiéndose así el equilibrio de fuerzas. El flotador suele ser una pieza metálica con forma cónica, existiendo también de tipo esfera.

Se trata de un caudalímetro de bajo coste cuya instalación debería realizarse en cualquier circuito de cierta responsabilidad. Permiten conocer el caudal con una precisión que puede no ser adecuada para la realización de balances energéticos pero sí suficiente para ajustar el caudal a su valor nominal. Además, proporcionan una ventana de visualización del fluido que permite determinar problemas de mal purgado o de exceso de corrosión.

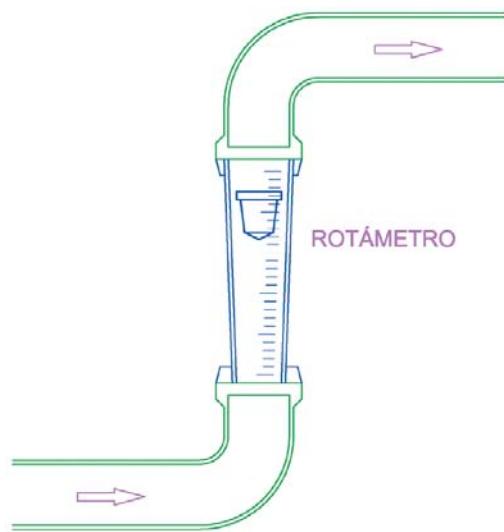


Figura 4.2. Rotámetro comercial.

4.1.3. Caudalímetros de tipo turbina

Consisten básicamente en una hélice o rotor de diseño especial (turbina) montada en el interior de un tubo. Suelen ser axiales y giran libremente al paso del fluido de forma prácticamente proporcional al caudal de paso.

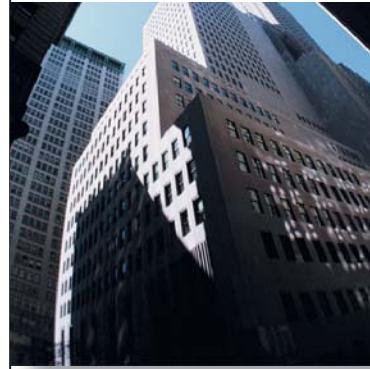
La medida de la velocidad de rotación de la turbina se realiza por procedimientos magnéticos, ópticos, o mediante un sistema de engranajes que acciona un contador mecánico, resultando este último método el que presenta mayores pérdidas por rozamiento. La salida es un tren de pulsos de frecuencia proporcional al caudal.

4.1.4. Caudalímetros electromagnéticos

Si se produce un campo magnético en una tubería con fluido conductor como el agua, según la ley de Faraday, se genera una fuerza electromagnética en dirección perpendicular al flujo y al campo magnético.

El principio de medida de los caudalímetros electromagnéticos se basa en que la fuerza electromotriz inducida en un medio conductor que se mueve dentro de un campo magnético es proporcional a la velocidad media del fluido.

Los caudalímetros electromagnéticos son muy precisos en la medida del caudal de agua y mezclas de agua con propilenglicol en flujos laminares o turbulentos. El caudalímetro no obstaculiza el flujo, produciendo una pérdida de presión despreciable. Tienen un coste relativamente bajo siendo los mejores equipos en relación precisión-precio.



4.2. CAUDALÍMETROS NO INTRUSIVOS, MEDIDA INDIRECTA

Cuando se van a realizar medidas del caudal en una instalación que no dispone de caudalímetros previamente instalados, se podrá realizar la medida del caudal mediante uno de los siguientes métodos:

- Emplear un caudalímetro de ultrasonidos. Se trata de un equipo de coste relativamente alto, pero que permite la medida directa del caudal de agua con una alta precisión.
- Medir el incremento de presión producido por la bomba. La altura manométrica de la bomba está relacionada con el caudal.
- Medir el caudal a partir de la pérdida de presión de una válvula de equilibrado. Los fabricantes de válvulas de equilibrado proporcionan el dato de caudal frente a la pérdida de presión para distintos grados de apertura de la válvula.

4.2.1. Caudalímetros de ultrasonidos

Se trata de la única técnica de medida del caudal no intrusiva. Permite la medida del caudal de líquidos en tuberías con la instalación del instrumento sobre la tubería. En la realización de análisis energéticos en circuitos donde no exista instrumentación fija, será la mejor manera de realizar medidas fiables de caudal y por tanto de balances.

Los caudalímetros de ultrasonidos pueden utilizarse en todos aquellos lugares donde tanto las paredes de las tuberías como el líquido que circula por ellas permitan la propagación del sonido.

Los caudalímetros ultrasónicos no intrusivos son sencillos de usar, utilizan transductores externos que se pueden instalar fácilmente en el exterior del tubo, simplemente se deben seguir las recomendaciones



Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios

del fabricante. Una vez instalados los transductores en la tubería, se deberá configurar el aparato dando los siguientes datos:

- Tipo de fluido: agua, mezcla de agua y glicol o aceite.
- Material de la tubería: cobre, plástico, acero negro o acero inoxidable.
- Diámetro exterior del tubo.
- Espesor del tubo.
- Espesor de capa de ensuciamiento.

Una vez configurado el equipo, nos dará directamente la lectura de la velocidad del fluido por la tubería y el caudal.



Figura 4.3. Caudalímetro de ultrasonidos comercial.

La medida es muy sensible a la presencia de burbujas de aire en el circuito, siendo recomendable no instalar los sensores sobre un tramo de tubería en horizontal. En el montaje de las sondas sobre la pared de la tubería, se emplea vaselina para no dejar aire entre los sensores y la pared y que las ondas de ultrasonidos no reboten en la pared exterior del tubo.

El caudalímetro se instalará generalmente en la tubería que esté a la temperatura más próxima a la ambiente. La Figura 4.4 muestra la posición óptima donde deberíamos situar un caudalímetro. Se recomienda que la sección esté a 10 diámetros de cualquier codo o accesorio que perturbe el flujo aguas arriba (mínimo 6 diámetros). De igual for-

ma debería distar 6 diámetros de cualquier accesorio situado aguas abajo de la sección de medida (mínimo 4 diámetros).

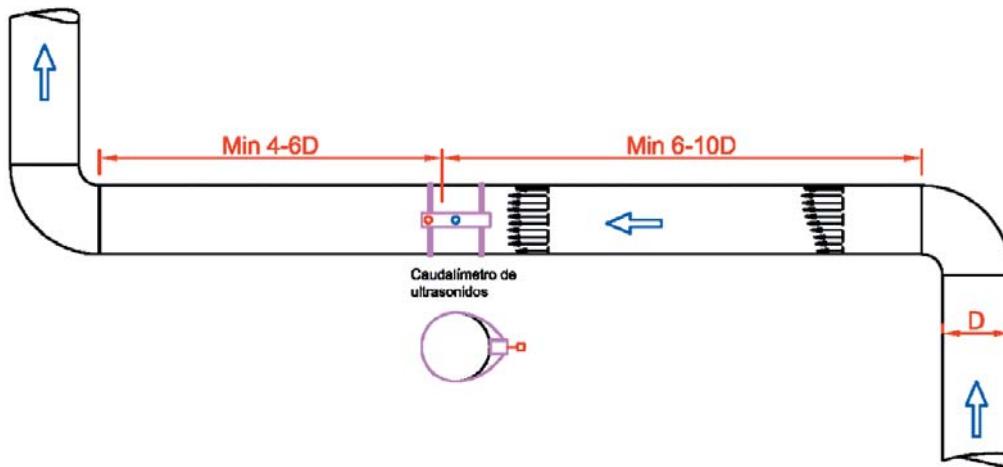


Figura 4.4. Posición recomendable de un caudalímetro de la sección de medida del caudal.



Figura 4.5. Soporte de los sensores en caudalímetro comercial.

4.2.2. Medida del caudal con la curva de la bomba

La Figura 4.6 muestra 3 métodos para la medida del incremento de presión producido por una bomba: mediante dos manómetros independientes, mediante un manómetro con doble conexión y mediante manómetro de presión diferencial.

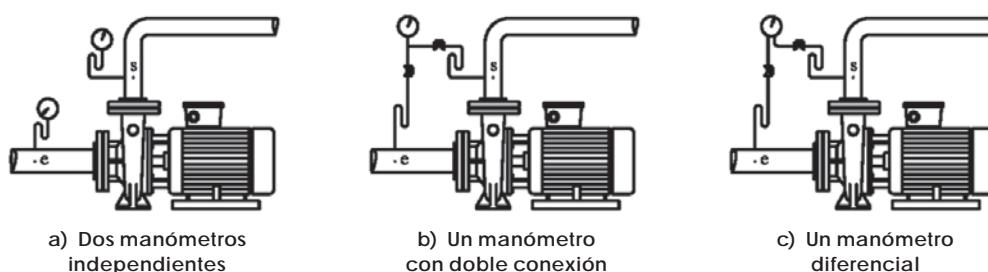


Figura 4.6. Medida del incremento de presión proporcionado por una bomba: mediante dos manómetros independientes, mediante un manómetro con doble conexión y mediante manómetro de presión diferencial.



Si atendemos a que la incertidumbre de medida suele depender del fondo de escala del manómetro de medida, estará claro que el manómetro más preciso será el de tipo diferencial. Si la bomba proporciona a caudal nulo una presión de 1 bar, pero el circuito cerrado puede alcanzar 6 bar, está claro que los manómetros de las figuras izquierda y central se seleccionarán de rango 6 bar o más, mientras que el manómetro diferencial de la figura de la derecha se seleccionará de rango 1 bar. Se obtendrá mayor precisión con el manómetro diferencial de 1 bar. Para eliminar posibles errores de cero, será preferible utilizar un solo instrumento (figura central) en lugar de dos (figura izquierda).



Figura 4.7. Manómetros para medida en bombas.

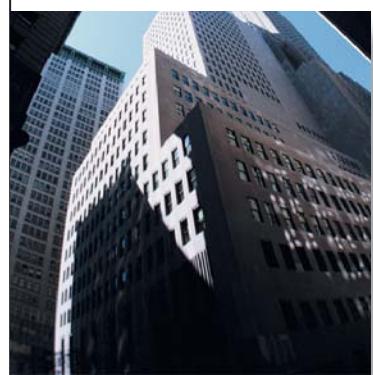
La Figura 4.7 (izquierda) muestra un manómetro de precisión portátil para la conexión del mismo en campo. La Figura 4.7 (derecha) muestra dos manómetros que se encontraban instalados en la aspiración e impulsión de una bomba circuladora. En este caso, la presión inicial del circuito es de 1,8 bar (en el vaso de expansión). Al arrancar la bomba, el manómetro de aspiración mide 1,8 bar y el de impulsión 2,7 bar. El rango del manómetro suele ser el correspondiente a la presión máxima del circuito.

Para una correcta medida de la presión, debería realizarse más de un orificio en el tubo (lo ideal sería realizar 4 orificios separados 90°). Los orificios deben ser de 2 a 3 mm, esto es, lo suficientemente pequeños para que no afecten el flujo y por tanto la medida pero suficientemente grandes para que no se obstruyan con la suciedad del fluido. Los manómetros de glicerina proporcionan una lectura más estable. Deben instalarse en posición vertical y romper el tapón de goma una vez instalados para evitar que se sobrepresione el interior.

Medida del caudal de líquidos

Se recomienda realizar la medida de la pérdida de presión en filtros de forma similar a la medida del incremento de presión de las bombas. Se trata de una medida que permite determinar la necesidad de limpiar el filtro.

Los manómetros de presión de esfera con lectura directa tienen una incertidumbre de medida similar a las divisiones de la escala de lectura. En el caso de instrumentos electrónicos, la incertidumbre de medida suele ser del 0,5% del fondo de escala del instrumento.



4.2.3. Medida del caudal con la pérdida de presión de válvulas

Las válvulas de equilibrado instaladas en los circuitos hidráulicos pueden servir para medir el caudal de forma más o menos aproximada. A partir de la pérdida de presión que producen y conocida la configuración de las válvulas (modelo, diámetro nominal y número de vueltas), se determina el caudal en las mismas utilizando un instrumento facilitado por el fabricante. La Figura 4.8 muestra el instrumento de medida comercial ofrecido por un fabricante para la medida de la pérdida de presión de sus válvulas. Introduciendo el modelo de válvula y el cierre (número de vuelta) el instrumento proporciona directamente el dato de caudal.



Figura 4.8. Manómetro para la medida del caudal en válvulas de equilibrado.

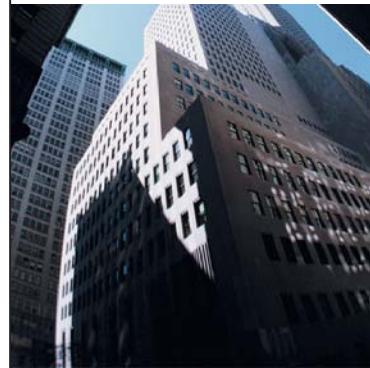


Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios

De forma alternativa, podría utilizarse cualquier manómetro de presión diferencial convencional. El caudal se determinaría entrando en el ábaco de pérdida de presión proporcionado por el fabricante para cada válvula.

5

MEDIDA DEL FLUJO DE AIRE



El caudal de aire en las instalaciones de climatización debe medirse generalmente para determinar el correcto funcionamiento de la instalación:

- Caudal de aire en fancoils o baterías de Unidades de Tratamiento de Aire.
- Caudal de aire de ventilación.

La medida del caudal de aire se suele realizar de forma local a partir de la medida local de la velocidad del aire en uno o varios puntos.

Medida del caudal a partir de la velocidad puntual en uno o varios puntos:

- Anemómetros mecánicos.
- Tubo Pitot.
- Anemómetro de sensor caliente.

Medida del caudal de forma integral (más empleados):

- Tubo Venturi.
- Métodos de área variable.

La unidad de medida del caudal en el Sistema Internacional es el m^3/s , sin embargo es habitual emplear m^3/h , el l/s y el l/h :

$$3.600 \text{ m}^3/\text{h} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1.000 \text{ l/s} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$3,6 \cdot 10^6 \text{ l/h} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.1. INSTRUMENTOS PARA LA MEDIDA DE LA VELOCIDAD

La medida del caudal en una sección puede realizarse a partir de la velocidad puntual en uno o varios puntos. Se trata del método de medida más habitual en aire.



5.1.1. Anemómetros mecánicos

Son anemómetros de cazoletas, o de turbina (molinete). Su velocidad de rotación proporciona la medida de la velocidad en el punto donde se instala. Empleados para medidas al aire libre, o en grandes conductos de ventilación.

Los anemómetros de molinete (Figura 5.1) marcan con una flecha el sentido en el que debe circular la corriente de aire por los mismos. El usuario deberá prestar atención a situar el instrumento perfectamente perpendicular a la dirección del flujo.

Los anemómetros de molinete miden la velocidad media en la superficie circular que comprenden. Esta característica puede ser ventajosa en el caso de medidas en grandes secciones. Sin embargo, el anemómetro produce un bloqueo en el flujo que aumenta la velocidad media del flujo. En secciones de medida pequeñas este efecto podría ser importante y por tanto, debería ser considerado.



Figura 5.1. Anemómetro mecánico de turbina o de molinete.

5.1.2. Anemómetro de hilo caliente

La velocimetría de hilo caliente o velocimetría térmica es una técnica que se emplea en equipos comerciales para medir la velocidad en gases. Permite determinar la velocidad instantánea del aire con una excelente resolución espacial y temporal.

El anemómetro de hilo caliente consta básicamente de una sonda, un puente Wheatstone y un sistema electrónico. La sonda posee un pequeño sensor metálico en forma de hilo o de película que actúa de resistencia. Este sensor se mantiene a una temperatura superior a la del

Medida del flujo de aire

fluido haciendo pasar a su través una corriente eléctrica (efecto Joule). Al exponer al sensor a una corriente fluida se pierde calor por efecto de la convección del fluido que circula a su alrededor. La pérdida de calor del sensor dependerá fundamentalmente de la velocidad del fluido.

Los anemómetros de hilo caliente tienen un tamaño reducido y pueden introducirse por orificios de 10 mm de diámetro practicado en los conductos. Se trata del mismo diámetro que el propio mástil de soporte del sensor.



Figura 5.2. Anemómetro de hilo caliente.

5.1.3. Tubo Pitot

El tubo Pitot mide la presión dinámica por diferencia entre la presión total y la estática. Es uno de los métodos más tradicionales y precisos para medir la velocidad. Está compuesto por dos sondas de presión: una de ellas paralela al flujo, con la apertura en su misma dirección, y encargada de medir la presión de remanso (estática + dinámica) (1); la otra aparece perpendicular a las líneas del flujo, y mide la presión estática (2).

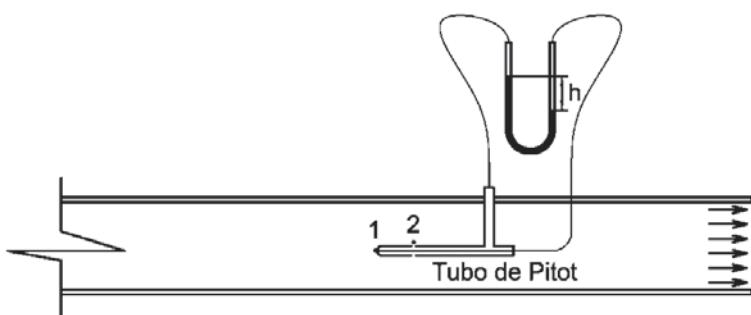


Figura 5.3. Principio de funcionamiento del tubo de pitot.



Cuando el tubo Pitot se introduce en un flujo, la presión y velocidad se pueden considerar constantes a través de la sección, la ecuación de Bernoulli indica:

$$P_T = P_E + \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot U^2,$$

donde P_T es la presión total o de remanso medida por el tubo paralelo al flujo, P_E la presión estática medida por el tubo perpendicular, ρ_0 la densidad del fluido y U la velocidad buscada.

Despejando la velocidad:

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_T - P_E)}{\rho_0}}.$$

En realidad, la expresión va afectada por un coeficiente experimental C_v , que recoge las modificaciones que las sondas introducen en el flujo (turbulencia, adherencia, viscosidad...):

$$U = C_v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_T - P_E)}{\rho_0}}$$



Figura 5.4. Anemómetro de tubo de pitot con micromanómetro.

5.2. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA DEL CAUDAL DE AIRE

El caudal de aire se determina midiendo la velocidad media del aire en una sección conocida. La medida es compleja de realizar debido

Medida del flujo de aire

a la dificultad de encontrar una sección de conducto, climatizadora, entrada o salida de fancoil, donde se pueda suponer que el flujo sea perfectamente perpendicular a la sección de medida. Generalmente será mejor medir en la aspiración de los ventiladores donde el flujo será más uniforme. Además, es conveniente medir en los conductos y no en rejillas de impulsión o aspiración.

La Figura 5.5 muestra la situación óptima de la sección donde se va a realizar la medida del caudal de aire. Se recomienda que la sección esté a 10 diámetros de cualquier codo o accesorio que perturbe el flujo aguas arriba (mínimo 6 diámetros). De igual forma debería distar 6 diámetros de cualquier accesorio situado aguas abajo de la sección de medida (mínimo 4 diámetros).

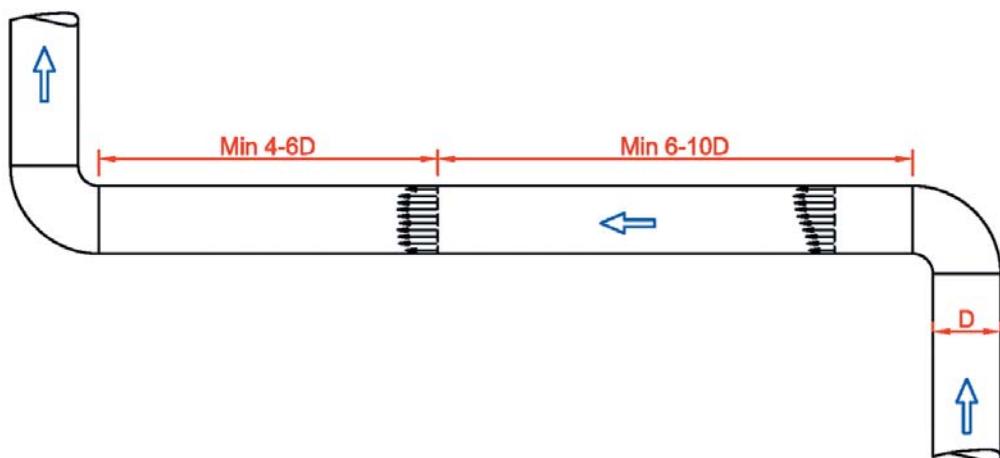
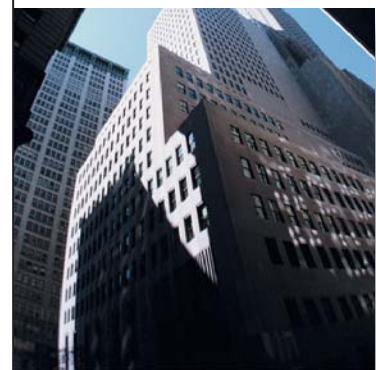


Figura 5.5. Situación recomendable de la sección de medida del caudal.

Dado que el flujo en la sección de medida no es totalmente uniforme, se debe definir un mallado de medida de forma que se realice un promediado adecuado del perfil de velocidades existente. Deberían tomarse el mayor número de puntos de medida posible, recomendándose tomar como mínimo 5 puntos en la longitud del conducto más pequeña y en la longitud mayor, un número de puntos acorde con el factor de forma del conducto. La siguiente tabla muestra la distribución de los puntos de medida a realizar en base a la distribución de Chebycheff.

Método de Chebycheff para medición en interior de conductos rectangulares										
n.º puntos	distancia desde la pared de longitud L									
5	0,074	0,288	0,500	0,712	0,926					
6	0,061	0,235	0,437	0,563	0,765	0,939				
8	0,046	0,175	0,342	0,400	0,600	0,658	0,825	0,954		
10	0,037	0,141	0,263	0,338	0,456	0,544	0,662	0,737	0,859	0,963



Método de Chebycheff para medición en interior de conductos circulares										
n.º puntos	distancia desde la pared de longitud L									
4	0,043	0,290	0,710	0,957						
6	0,032	0,135	0,321	0,679	0,865	0,968				
8	0,021	0,117	0,234	0,345	0,655	0,816	0,883	0,979		
10	0,019	0,076	0,153	0,217	0,361	0,639	0,783	0,847	0,924	0,981

La medida del caudal de aire suele tener una incertidumbre elevada (del orden del 10%) debido a las dificultades de medida en flujos heterogéneos. Se trata de una medida cuya incertidumbre más importante se debe al procedimiento de medida y no a la incertidumbre del instrumento.

Tanto los manómetros de hilo caliente como los de molinete suelen tener un rango de medida de 25-30 m/s, siendo adecuados para la medida del flujo en conductos y unidades de tratamiento de aire (2 a 9 m/s). Se trata de un rango de medidas de difícil medida mediante tubos de pitot.

6

MEDIDA DE LAS CONDICIONES INTERIORES Y EXTERIORES



6.1. MEDIDA DE LAS CONDICIONES INTERIORES

Las instalaciones térmicas de los edificios se ejecutan con el fin de mantener unas condiciones de bienestar en la zona ocupada de los locales. Las medidas a realizar pretenden verificar que el local mantiene las condiciones de:

- Calidad térmica: Temperatura operativa, humedad relativa, velocidad del aire.
- Calidad del aire: Ventilación de los locales.
- Calidad acústica: Nivel sonoro por debajo de los límites.
- Calidad lumínica: Nivel de luz adecuado al uso.

6.1.1. Temperatura operativa

La temperatura operativa es la temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que el ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente real no uniforme.

En la zona ocupada de locales donde la velocidad del aire es inferior a 0,2 m/s, se calcula mediante:

$$T_O = (T_S + T_{RM})/2$$

siendo T_S la temperatura seca del aire y T_{RM} la temperatura radiante media.

La temperatura radiante media es la temperatura de las superficies interiores del local promediada mediante un análisis de transferen-



cia de calor por radiación desde las distintas superficies que «ven» en mayor o menor medida al punto de medida. De forma aproximada, puede determinarse como la media ponderada de las temperaturas de las paredes, suelo y techo que envuelven el punto de medida.

La temperatura radiante media se calcula a partir de los valores medidos de la temperatura seca, la temperatura de globo y la velocidad relativa del aire mediante la siguiente fórmula:

$$T_{RM} = T_G + 1,9\sqrt{V} \times (T_G - T_S)$$

Donde la temperatura de globo T_G es la que mide una sonda de temperatura cuyo sensor se encuentra en el interior de una esfera de color negro. Existen en el mercado termómetros envueltos con una esfera negra de 20 a 150 mm de diámetro. Para realizar la medida correctamente la esfera debe recibir calor por radiación debida a las diferentes temperaturas de las superficies circundantes. Se debe localizar el sensor de forma que no reciba rayos de luz o de sol directos pero que «vea» las distintas superficies.



Figura 6.1. Termómetro de globo (también denominado de esfera).

6.1.2. Humedad relativa del ambiente

La medida de la humedad relativa del aire se suele realizar mediante termohigrómetros. Se trata de instrumentos que tienen in-

corporados sensores de humedad y temperatura. Los termohigrómetros comerciales (Figura 6.2) suelen funcionar con una sonda de tipo capacitivo, cuyo valor cambia con la humedad ambiente. Estas sondas no suelen necesitar mantenimiento, pero es recomendable contrastarlas de vez en cuando con un set de ajuste y calibración.

Por lo general, son capaces de medir humedades entre el 5 y el 95% en ambientes que se encuentre en un rango de temperatura (18 – 25 °C). Si se mide fuera de este rango de temperaturas deberá asegurarse que el instrumento tenga compensación de temperatura para la lectura de la humedad relativa.



Figura 6.2. Termohigrómetros comerciales.

Las precauciones a tomar son similares a la de la medida de la temperatura seca (evitar el contacto con los rayos del sol y tener en cuenta la posible estratificación del aire). De hecho, debe asegurarse de que la sonda de humedad tiene la misma temperatura que el aire a medir. En ambientes estáticos es conveniente mover suavemente la sonda para acortar el tiempo de respuesta que puede ser de 1 a 5 minutos.

6.1.3. Velocidad del aire en interiores

Las corrientes de aire en la zona ocupada afectan de forma importante a las condiciones de bienestar y deberían medirse en cada puesto de trabajo.



Se pretende medir corrientes de aire en la zona ocupada entre 0,05 y 0,4 m/s. Velocidades medidas del aire por encima de 0,4 m/s suelen estar fuera de rango de bienestar, siendo los valores medios máximos entre 0,12 y 0,18 m/s.

La medición debe realizarse con especial cuidado, ya que el propio movimiento de las personas influye de forma importante en la medida. Además debe tenerse en cuenta que la formación del penacho de aire es diferente en función de si el aire sale frío (verano) o caliente (invierno).

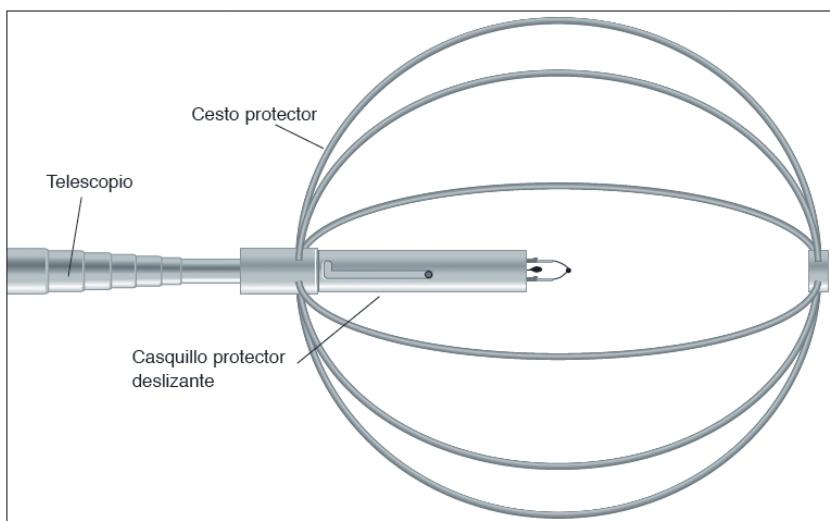


Figura 6.3. Sonda de medida de la velocidad de aire en interiores.

6.1.4. Concentración de CO₂

La renovación del aire de los locales afecta de forma directa a la calidad del aire y de forma indirecta al bienestar de las personas. En los edificios donde el aporte de aire fresco es bajo se experimenta una sensación de malestar general, acompañada de dificultad de concentración y cansancio: se trata del «síndrome del edificio enfermo».

Una buena calidad de aire se consigue con una renovación de aire adecuada, higiene de los conductos y filtración del aire de ventilación. El medidor de calidad del aire (Fig. 6.4) permite la medida indirecta de la ventilación o infiltraciones a partir de la concentración de dióxido de carbono CO₂.

Medida de las condiciones interiores y exteriores



Figura 6.4. Instrumentos de medida de la calidad del aire.

Las sondas de calidad de aire proporcionan directamente el dato del CO₂ en ppm. La diferencia entre la concentración de CO₂ interior y exterior sirve para determinar directamente la renovación del aire del local (ventilación y/o infiltraciones). Se trata de una medida indirecta que permite medir el caudal de ventilación pero donde no se evalúa la presencia de posibles contaminantes específicos ni el correcto funcionamiento de los filtros. El método es válido para la medida de la ventilación en locales con alta ocupación, no siendo adecuada cuando la ocupación es baja y existan contaminantes volátiles como los producidos por el mobiliario y elementos constructivos del edificio.

Para la realización de la medida, debe tenerse en cuenta que el instrumento puede necesitar entre 30 segundos y varios minutos para dar la lectura correcta. Además, es conveniente tomar varias medidas con el objeto de disminuir la incertidumbre de medida que en algunos casos llega a ser de unos 50 ppm. En primer lugar se medirá en el exterior del edificio, comprobándose que la concentración de CO₂ se encuentre entre 350 y 450 ppm.

6.1.5. Medida del nivel de luz

La iluminación influye sobre el comportamiento de las personas que están trabajando, en especial en lo que se refiere a su capacidad de concentración y de reacción. La UNE EN 12464 proporciona los valores de la iluminancia media horizontal en el plano de trabajo en función de la actividad.



Como intensidad de iluminación se entiende el cociente entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y el área de la superficie.

$$\text{Intensidad de Iluminación (lux)} = \text{Flujo luminoso (lm)} / \text{Superficie (m}^2\text{)}$$

En general, el flujo luminoso no se distribuye de forma uniforme sobre toda la superficie. Por tanto, las intensidades de iluminación calculadas según la fórmula de iluminación de superficies deben considerarse sólo como medias (intensidad media de iluminación E_m).

El luxómetro es un instrumento que permite medir la iluminancia o nivel de iluminación (lux) sobre una determinada superficie. Normalmente se trata de equipos muy sencillos y ligeros, formados por el analizador y la sonda fotosensible. En espacios interiores el luxómetro mide el nivel de iluminancia de un espacio, es decir, mide la cantidad de energía radiante medida en un plano de trabajo y expresada en lux.



Figura 6.5. Luxómetros comerciales.

Para la realización de la medida, basta con situar la sonda sobre la superficie o a la altura a la que se desea conocer la iluminancia y tomar la lectura. En locales tipo oficinas y aulas, el plano de trabajo coincide con la altura de la mesa, mientras en pasillos y zonas de circulación sería el suelo.

La iluminancia es un parámetro muy sensible a cualquier cambio en la orientación del sensor, altura a la que se sitúa, sombras, etc. Generalmente se obtienen importantes divergencias entre las lecturas de diferentes aparatos, indicando que la incertidumbre de medida es alta. Por todo ello, los resultados deben registrarse como intervalos entre lecturas máximas y mínimas.

6.1.6. Medida del ruido

Las instalaciones de climatización deben garantizar las condiciones de bienestar cumpliendo las exigencias de protección contra el ruido del documento DB-HR. El parámetro a medir es la presión sonora en la zona ocupada, cuyo valor se mide directamente con un sonómetro.

El nivel sonoro proporcionado por un sonómetro es captado por el micrófono a través de variaciones sonoras existentes en su entorno, las cuales son convertidas en señales eléctricas equivalentes. Estas señales son posteriormente preamplificadas, filtradas y ponderadas temporalmente.

Los sonómetros son equipos eminentemente portátiles, con o sin memoria interna y presentan un interfaz en el que se reflejan los niveles sonoros captados.

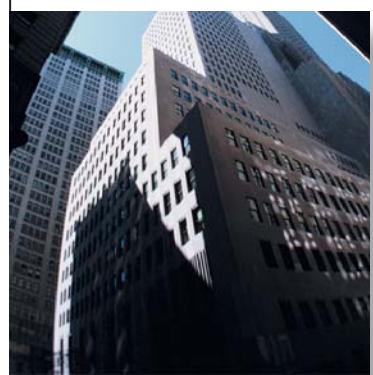


Figura 6.6. Sonómetro comercial.

De acuerdo con el estándar internacional IEC 651, reformado por la IEC 61672, los sonómetros se dividen en tres tipos dependiendo de su precisión en la medida del sonido, véase la siguiente tabla.



Tolerancias permitidas para los distintos tipos o clases definidas por la IEC 60651.

Todas las tolerancias se expresan en decibelios (dB)

Clase	Calibradores	Sonómetros
0	+/- 0,15	+/- 0,4
1	+/- 0,3	+/- 0,7
2	+/- 0,5	+/- 1,0
3 (eliminada por la IEC 61672)		+/- 1,5

6.2. MEDIDA DE LAS CONDICIONES EXTERIORES

En determinadas ocasiones será conveniente medir las condiciones exteriores al edificio. El objeto de las medidas puede ser el analizar cómo funcionan determinados equipos en función de las condiciones exteriores o determinar la influencia de las condiciones exteriores en el consumo de energía del edificio.

La Fig. 6.7 muestra una estación meteorológica donde se miden las siguientes condiciones exteriores:

- Temperatura seca, humedad relativa.
- Velocidad y dirección del viento.
- Radiación en el plano horizontal.



Figura 6.7. Medida de las condiciones exteriores.

A continuación se describe el funcionamiento de los distintos sensores.

6.2.1. Temperatura y humedad relativa exterior

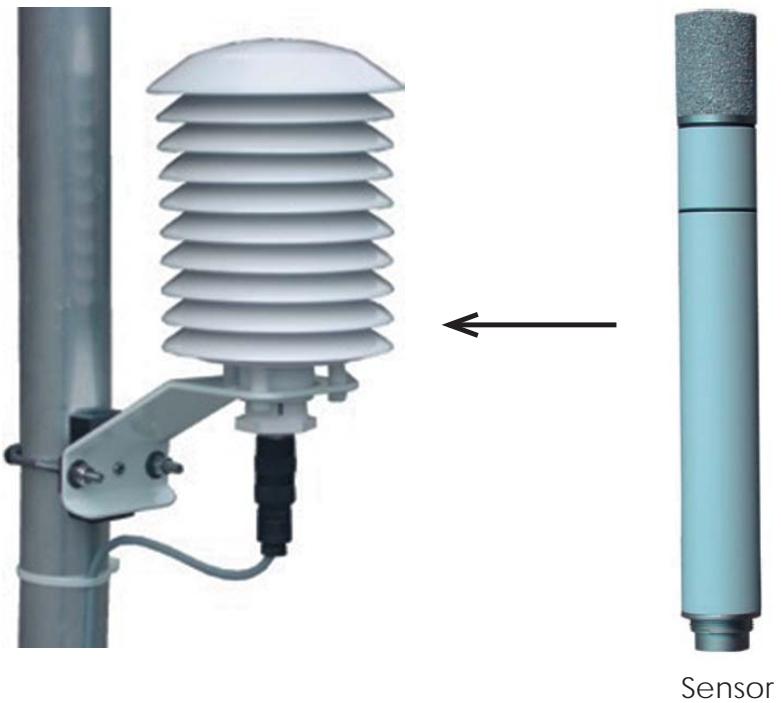


Figura 6.8. Termohigrómetro para medida de las condiciones exteriores.

Los termohigrómetros diseñados para funcionar en el exterior, deben tener protegido el sensor de medida contra la lluvia y la radiación solar (Fig. 6.8).

La medida de la temperatura se suele realizar mediante Pt 100, 1/3 Clase B, que tienen una incertidumbre de medida de 0,2 °C en el rango de medida entre -50 °C y +50 °C. El sensor de humedad suele ser de tipo capacitivo, siendo habitual incertidumbres de medida del 2%, incluyendo las incertidumbres del convertidor de señal (generalmente 0-1 V o 4-20 mA). El extremo del sensor puede estar protegido con un filtro de acero inoxidable, formando un conjunto con la RTD Pt100, de forma que este tipo de sensores se les denomina termohigrómetros.

6.2.2. Velocidad y dirección del viento

En algunas ocasiones puede ser necesario medir la velocidad del viento, por ejemplo, en el análisis de instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas. En este caso, suele ser suficiente medir la velocidad en el plano horizontal. Para ello se emplean anemómetros de cazoletas similares a los mostrados en la Fig. 6.9.



Figura 6.9. Anemómetros de cazoletas.

Los anemómetros suelen tener un rango de medida entre 0,05 m/s y 50 - 60 m/s. La señal de salida suele ser por pulsos: ejemplo: salida 0-50 m/s = 0 - 1.000 Hz. Se deberá emplear un instrumento que mida directamente la señal en pulsos o bien utilizar convertidores de señal que produzcan una señal de salida de fácil medida: habitualmente 0 – 1 V o 4 – 20 mA.

Los anemómetros pueden trabajar a temperaturas ambiente entre -25 y 80 °C. Si se emplean en lugares con riesgo de heladas o nevadas, se deben seleccionar con resistencia de calentamiento.

La medida de la dirección del viento se realiza empleando sencillas veletas como las mostradas en la Fig. 6.10.



Figura 6.10. Sensor para la medida de la dirección del viento en el plano horizontal.

El instrumento de medida de la dirección del viento suele ser muy preciso. Se deberá prestar especial cuidado con la situación del instrumento para que no se vea afectado por edificios o árboles próximos.

En cualquier caso, cuando se mide la dirección del viento, generalmente se busca encontrar la dirección de viento predominante. Los instrumentos de medida proporcionan una incertidumbre de 1 a 2° que es en general una precisión mucho mayor que la necesaria. Al igual que ocurre en el caso de los anemómetros, se deben seleccionar con resistencia de calentamiento si van a emplearse en lugares con riesgo de heladas o nevadas.

En el mercado se puede encontrar un sensor de velocidad y dirección de viento combinados. La Fig. 6.11 (izquierda) muestra este instrumento que combina una hélice para la medida de la velocidad del viento con una veleta que al mismo tiempo que mide la dirección del viento, orienta la hélice en la dirección del viento.

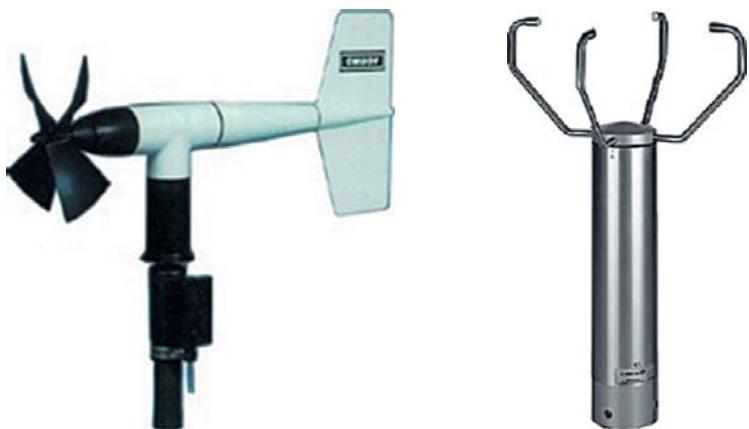
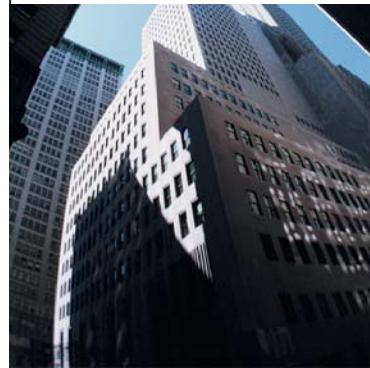


Figura 6.11. Sensores combinados para la medida de la dirección y velocidad del viento.

En el caso de medidas de mayor precisión, puede emplearse un anemómetro por ultrasonidos (Figura 6.11, derecha). Se trata de un instrumento sin partes mecánicas y por tanto sin inercia que no necesita una velocidad de aire mínima para que se muevan las cazoletas o para que se oriente la veleta.

6.2.3. Radiación solar

La radiación solar es responsable de buena parte de la carga térmica del edificio y será necesario medirla en el caso de analizar instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas.

La radiación solar total (directa + difusa) se mide mediante un instrumento denominado «piranómetro». El piranómetro se instalará en posición horizontal o inclinado si lo que se desea es medir la radiación solar



en un plano inclinado como en el caso de captadores solares térmicos o de paneles fotovoltaicos.



Figura 6.12. Piranómetro de precisión.

Los piranómetros se clasifican en función de su precisión según la norma ISO 9060 y según la Organización Metrorológica Mundial (World Meteorological Organisation, WMO). La siguiente tabla muestra la denominación de las 3 clases de piranómetros existentes así como las aplicaciones más adecuadas según su precisión.

Clasificación ISO 9060	Secondary Standard	First Class	Second Class
Clasificación WMO	High Quality (Alta calidad)	Good Quality (Buena calidad)	Moderate Quality (Calidad moderada)
Aplicaciones	Pruebas en captadores solares térmicos y paneles fotovoltaicos	Mediciones de buena calidad para pruebas de campo	Solución económica para mediciones donde la precisión es poco importante

Los piranómetros producen una diferencia de potencial de unos 4 a 15 mV cuando la radiación es de 1.000 Wm^2 , esto es, la sensibilidad de medida es de 4 a $15 \mu\text{V/W/m}^2$). La precisión de medida dependerá en gran medida de la precisión del instrumento, conversor y/o sistema de adquisición de datos empleado en la medida.

Instalando un anillo de sombreado alrededor del piranómetro, se bloquea la radiación directa, y por lo tanto las medidas se corresponden con la componente difusa de la radiación. El uso de dos piranómetros, uno a sombra y el otro no, permite la medición de la radiación difusa, directa y global. Si se utiliza un seguidor solar, éste genera automáticamente una esfera de sombra entre el piranómetro y el sol, dejando

Medida de las condiciones interiores y exteriores

el sensor a la sombra durante todo el día sin la necesidad de adaptación física semanal.

Existen piranómetros de célula de silicio (célula fotovoltaica) que convierten la energía solar en energía eléctrica, y la tensión de salida es prácticamente lineal con la intensidad de la luz salida (aproximadamente 80-90 mV/1.000 W/m²). La célula absorbe radiación de longitudes de onda entre 0,35 y 1,15 micrómetros. El tiempo de respuesta del sensor es muy rápido debido a que el sensor es sensible a la luz y no al calor. Si la salida se evalúa en un período diario (kWh/m² y día), la exactitud del valor es de ±3%. La exactitud de los valores instantáneos puede ser de ±5%. Los fabricantes proporcionan datos para compensar la temperatura entre 4 y 60 °C.

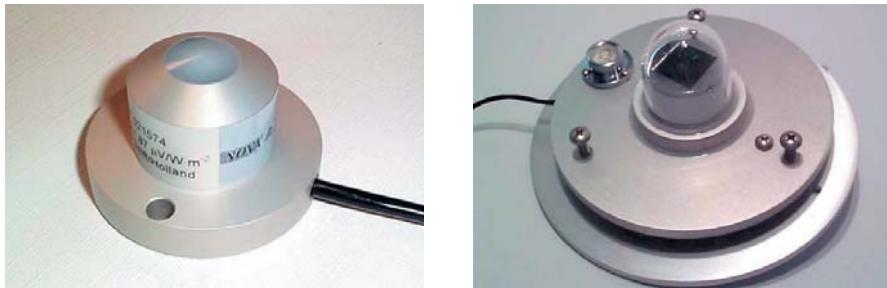
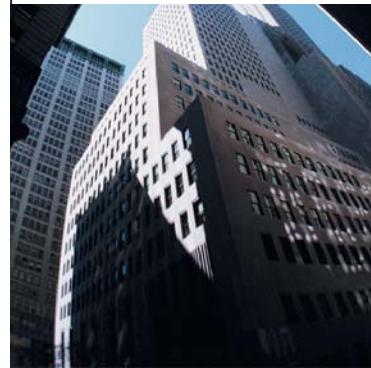


Figura 6.13. Piranómetros de célula de silicio de baja precisión.

7

MEDIDA DE LA ENERGÍA



Para analizar los equipos de producción de frío y calor de las instalaciones térmicas, es habitual realizar medidas de la energía consumida y aportada por los equipos. En este capítulo se analizarán los instrumentos empleados habitualmente para la medida de:

- Consumo de energía eléctrica.
- Consumo de combustibles.
- Producción de energía térmica.
- Pérdidas energéticas por humos en calderas.

7.1. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En muchos casos será necesario medir la potencia eléctrica consumida por un determinado equipo o instalación, el edificio completo o una determinada aplicación: iluminación, ascensores, ordenadores, etc.

La medida del consumo de energía eléctrica puede realizarse mediante:

- Vatímetros portátiles de bajas potencias.
- Pinza ampermétrica, polímetro.
- Medidor de potencia de 1 fase.
- Medidor de potencia de 3 fases. Analizador de redes eléctricas.
- Vatímetros y contadores instalados en cuadros eléctricos de los edificios.



En los análisis a realizar en las instalaciones térmicas, generalmente se pretende medir la potencia activa consumida por los equipos, siendo en muchos casos necesario registrar el dato de potencia durante unos días. Los equipos deberán medir la tensión, intensidad y $\cos(\Phi)$ en circuitos monofásicos y trifásicos en rangos de potencias que pueden variar entre 100 W y más de 1.000 kW.

7.1.1. Vatímetros de bajas potencias

En algunos casos es conveniente medir la potencia de equipos monofásicos de potencias inferiores a 2 kW. Se trata de las potencias consumidas por equipos informáticos, electrodomésticos, luminarias, etc.

Es conveniente disponer de algún tipo de equipo con el que medir de forma rápida y sencilla la potencia consumida por equipos conectados a los enchufes de la instalación.



Figura 7.1. Vatímetro portátil, medidor de energía.

La Fig. 7.1 muestra un equipo comercial de bajo coste con el que realizar este tipo de medidas. En otros casos, puede realizarse un sistema propio para conectar un vatímetro portátil a un alargador o a una regleta de enchufes. De esta forma se medirán con facilidad los aparatos que se conecten a los enchufes comerciales.

7.1.2. Pinza ampermétrica, polímetro

La pinza ampermétrica es un instrumento de medida que permite cuantificar la intensidad de corriente que circula a través de conductores activos sin la necesidad de interrumpir el normal funcionamiento del circuito. Mediante la utilización de pinzas ampermétricas se con-

sigue medir de manera sencilla y rápida la intensidad de corriente circulante (A). Es posible encontrar pinzas que incorporan también la posibilidad de medir otra serie de parámetros como la tensión (V), la capacidad o la resistencia.

Debe prestarse atención al rango de medida de la pinza que se esté utilizando. Por ejemplo, no se debe medir una corriente inferior a 3 Amperios con una pinza de rango de medida 600 A. Con la pinza ampermétrica no se mide el $\cos(\Phi)$ y sólo debe emplearse cuando podamos suponerlo con cierta precisión:

- En cargas resistivas puede suponerse $\cos(\Phi)=1$.
- En máquinas a potencia nominal, se toma el $\cos(\Phi)$ nominal de la placa.
- En pequeños motores con conexión monofásica y condensador, $\cos(\Phi) \approx 1$.

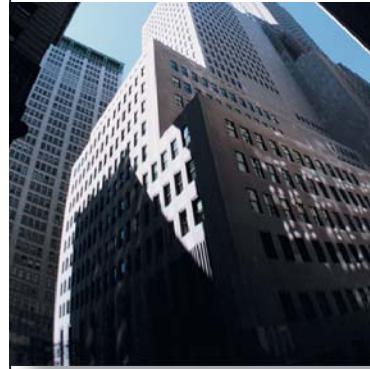
La mayoría de polímetros (ver Fig. 7.2) disponen de una conexión para la medida de corriente hasta 10 A. Se trata de una medida que va a requerir más riesgo y trabajo que la pinza pero con la que se obtendrá más precisión para la medida de pequeñas corrientes.



Figura 7.2. Fotografía de pinza ampermétrica (izquierda) y polímetro (derecha).

7.1.3. Medidor de potencia de 1 fase

Se trata de un instrumento similar a una pinza ampermétrica, pero capaz de determinar la potencia absorbida así como el consumo de energía. Además de la medición de corriente alterna y tensión,





Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios

el equipo determina el $\cos(\Phi)$ y por tanto la potencia absorbida en redes monofásicas y trifásicas equilibradas.



Figura 7.3. Medidor de potencia de 1 fase.

La conexión del equipo al circuito eléctrico se realizará siguiendo las instrucciones del fabricante. En el caso de líneas monofásicas la conexión es sencilla y similar a como se conectaría una pinza amperimétrica. La diferencia estriba en que este equipo proporcionará además el dato de la potencia instantánea y será capaz de registrar la energía eléctrica consumida.

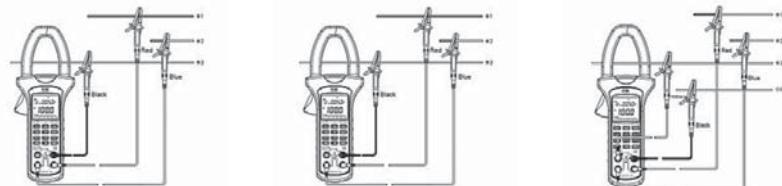


Figura 7.4. Conexión del medidor de potencia de 1 fase.

El instrumento dispone de 4 pinzas de cocodrilo para medir la tensión en las tres fases y el neutro de líneas trifásicas. Los esquemas del centro y derecho de la Fig. 7.4 muestran el conexionado del equipo a un circuito trifásico equilibrado a tres hilos y a un circuito a 4 hilos.

7.1.4. Medidor de potencia de 3 fases. Analizador de redes

La medida del consumo de energía en equipos e instalaciones trifásicas debe realizarse mediante un medidor de potencia de 3 fases. En algunos casos se emplean analizadores de redes que es un equipo que además de medir las tensiones, corrientes y $\cos(\Phi)$ en valores

verdaderos (T_{rms}), son capaces de analizar la calidad de las señales eléctricas.

Los medidores de potencia de 3 fases, y por extensión, los analizadores de redes, son equipos utilizados para medir, y usualmente registrar, los parámetros eléctricos más significativos de una instalación. El equipo está compuesto por:

- El equipo registrador/analizador.
- Tres pinzas ampermétricas.
- Cuatro pinzas voltmétricas.
- Uno o varios sistemas de extracción de los datos registrados: disco o tarjeta de memoria.
- Cable y software específico para comunicación con PC y software de tratamiento de datos.

Los resultados de las mediciones se presentan en forma de ficheros informáticos de formato específico (tratados mediante el software del fabricante), o bien, en formato estándar ASCII que puede ser manejado por aplicaciones informáticas convencionales (EXCEL, ACCESS, etc.).

Forma de uso

A continuación se resume la forma habitual de medición programada con estos equipos (no obstante es imprescindible consultar el manual del fabricante):

1. En primer lugar, antes de encender el equipo, adoptar las medidas de autoprotección que se consideren necesarias (abrir interruptores, emplear guantes dieléctricos y alfombrilla aislante, etc.).
2. Conectar a las correspondientes entradas del analizador las pinzas ampermétricas que sean necesarias: tres para mediciones en líneas trifásicas y una en líneas monofásicas. La flecha de la pinza indica el sentido de la corriente.
3. Conectar, a las correspondientes entradas del analizador las pinzas voltmétricas que sean necesarias: cuatro para mediciones en lí-





neas trifásicas desequilibradas, tres en líneas trifásicas equilibradas y dos en líneas monofásicas.

4. Instalar las pinzas ampermétricas «abrazando» el/los correspondiente/s conductor/es (cables, pletinas, etc.).
5. Instalar las pinzas voltmétricas «mordiendo» el correspondiente conductor desnudo (allí donde exista tensión).
6. Comprobar la correspondencia de fases entre pinzas ampermétricas y voltmétricas.
7. Conectar el analizador, encenderlo y programar relaciones de transformación, comienzo, final e intervalo entre mediciones, etc.

Las dificultades en la toma de medidas son las siguientes:

En los cuadros eléctricos suele ser sencillo encontrar un tramo de cable lo suficientemente largo como para abrazar las pinzas ampermétricas a cada fase. La medida de tensión suele ser más difícil. En muchos casos resulta difícil encontrar un punto donde sujetar las pinzas de tensión (generalmente cocodrilos). Es posible que se tenga que manipular los cables de conexión a la aparamenta eléctrica de forma que quede un pequeño tramo pelado donde sujetar cada pinza. La Fig. 7.5 muestra la conexión de un analizador de redes al interruptor general del edificio.



Figura 7.5. Conexión de analizador de redes eléctricas a interruptor general del cuadro.

Puede realizarse la medida de la potencia consumida por un edificio, en un cuadro concreto (por ejemplo, iluminación) o de un equipo

concreto. La Fig. 7.6 muestra la medida de la potencia consumida por una bomba antes del variador (monofásica) y después del variador (trifásica).

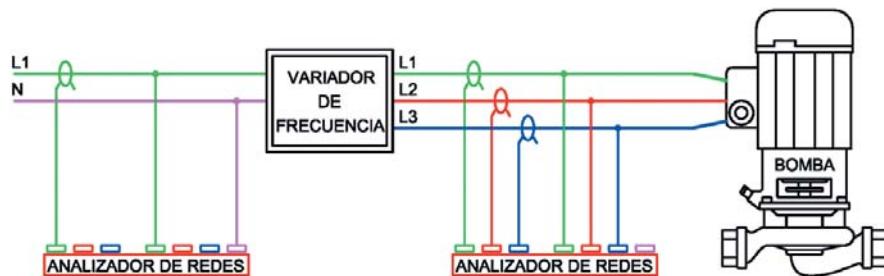


Figura 7.6. Esquema de conexión de analizador en monofásica y trifásica equilibrada.

La siguiente tabla muestra los parámetros de medida más significativos que se recogen con los analizadores de redes más comunes.

Parámetro	Símbolo	L1	L2	L3	III	Máx. Mín.
Tensión simple	$V_{f,N}$	X	X	X		X
Tensión compuesta	$V_{f,f}$	X	X	X		X
Corriente	A	X	X	X	X	X
Frecuencia	Hz	X				X
Potencia Activa (consumida)	kW	X	X	X	X	X
Potencia reactiva L (consumida)	$kvarL$	X	X	X	X	X
Potencia reactiva C (consumida)	$kvarC$	X	X	X	X	X
Potencia Aparente (consumida)	kVA	X	X	X	X	X
Factor de Potencia	PF	X	X	X	X	X
Energía Activa (consumida)	kWh				X	X
Energía reactiva L (consumida)	$kvarh\ L$				X	
Energía reactiva C (consumida)	$Kvar\cdot h\ C$				X	
Máxima Demanda (Md)	$kW\ (Md)$				X	X
Descomposición armónica V (25°)	$Arm\ V$	X	X	X		
Descomposición armónica A (25°)	$Arm\ V$	X	X	X		
THD V	$THD\ V$	X	X	X		
THD I	$THD\ I$	X	X	X		
Fundamental V		X	X	X		
Fundamental I		X	X	X		

Los analizadores de redes comerciales son válidos para la medida en baja tensión (250 o 400 V). La medida de la intensidad se realiza



mediante pinzas ampermétricas de distinto rango. Se deberá seleccionar la pinza ampermétrica más adecuada al valor de intensidad a medir. Puede esperarse una precisión del 0,1% en la medida de la tensión y del 0,2% en la medida de la corriente y de la potencia. Los analizadores suelen ser capaces de medir en corrientes de frecuencia entre 40 y 65 Hz. Se debe atender al rango de medida del factor de potencia que en algunos instrumentos se limita entre 0,5 y 1.

7.1.5. Vatímetros y contadores de energía fijos

En algunas instalaciones encontramos vatímetros en los armarios principales del edificio. Estos vatímetros suelen tener una buena precisión de medida (incertidumbre < 0,5%) y pueden emplearse en los análisis energéticos.



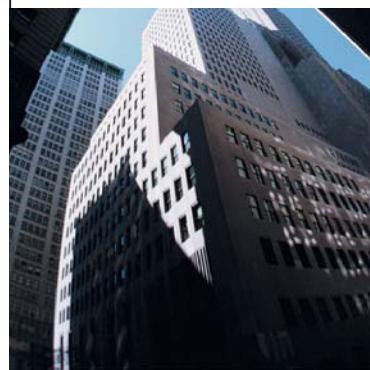
Figura 7.7. Fotografía de vatímetro fijo para cuadro (izquierda) y contador eléctrico (derecha).

En algunas ocasiones, puede considerarse la posibilidad de emplear el contador de la compañía para medir la potencia de una instalación. Por ejemplo, si se quiere conocer la potencia consumida por iluminación, climatización y resto de elementos en un local comercial puede realizarse la medida con el contador de compañía.

1. Se conecta únicamente la iluminación durante unos 10 minutos y se toma la lectura del contador al inicio y al final de la medida.
2. Si sólo se conecta el sistema de climatización puede determinarse el consumo de la máquina (se intentará que la máquina funcione a plena carga, pero sin tomar los primeros 2 - 3 minutos del arranque donde el consumo es mayor).
3. Con las luces y el sistema de climatización apagados, puede medirse el resto de consumos (ventilación de aseos, ordenadores, etc.).

7.2. CONSUMO DE ENERGÍA DE COMBUSTIBLES

En el caso de disponer de calderas o consumo de combustible en cocinas, se deberá medir el consumo de combustible empleando contadores. Por lo general se podrán emplear contadores propios o de compañía para la medida de combustibles líquidos o gaseosos.



Para la medida del rendimiento de las calderas mediante el método directo, debe medirse la energía por unidad de tiempo consumida (véase Guía Técnica del I.D.A.E. «Procedimiento de Inspección Periódica de Eficiencia Energética para Calderas»). Además, puede ser conveniente medir el rendimiento medio de una caldera medido durante una semana, un mes, o un año completo (rendimiento medio estacional). Con la medida del contador de combustible y con la ayuda de un contador de energía útil puede determinarse el rendimiento medio de la caldera, calculado como la relación entre la energía aportada al agua y la energía consumida.

7.2.1. Contadores de gas

El RITE actual exige que las calderas de más de 70 kW tengan un contador de combustible que permita determinar el consumo de la misma de forma independiente del resto de consumos.

Generalmente nos deberemos conformar con el contador de compañía, asegurando que únicamente esté consumiendo energía el aparato que estemos analizando. La resolución de los contadores permite realizar la medida a partir de dos lecturas separadas de 5 a 10 minutos. Se deberá asegurar que durante este tiempo la caldera funcione a carga constante.



Figura 7.8. Fotografía de contador de gas de la compañía.



Los contadores de gas pueden tener una incertidumbre de medida del 1%. La lectura se realiza en m³ a la presión y temperatura que se encuentre el gas en el contador. El dato obtenido debe pasarse a condiciones normales tal y como se indica en la Sección 4.7.2.

7.2.2. Contadores de gasóleo

En el caso de instalaciones con calderas de gasóleo C, se deberá contar con un contador de gasóleo para poder medir el consumo de la caldera. El RITE actual exige la instalación de este tipo de contadores en calderas de más de 70 kW.



Figura 7.9. Fotografía de contador de gasóleo C.

Los contadores de gasóleo tienen un coste muy bajo, son muy fáciles de instalar y su incertidumbre de medida es del orden del 1%.

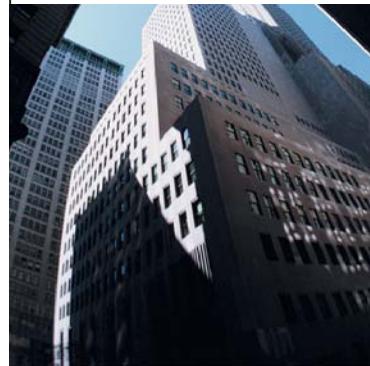
7.3. MEDIDA DE LA ENERGÍA TÉRMICA EN CIRCUITOS

7.3.1. Contadores de energía térmica

Los contadores de energía (contadores de calorías) no son más que un instrumento que mide simultáneamente el caudal y las temperaturas de impulsión y retorno. Además de la medida, el instrumento registra periódicamente los datos. Suponiendo que las condiciones son estables entre dato y dato, se realiza el tratamiento de la información en términos energéticos, esto es, en kWh.

La reglamentación actual exige la instalación de contadores de energía en los siguientes casos:

- Centrales de producción de más de 400 kW (energía útil de la central de producción).
- Instalaciones solares de más de 20 kW (determinación de la energía útil producida).
- Instalaciones centralizadas de calefacción (reparto de gastos).



La Fig. 7.10 muestra una instalación de climatización donde se han instalado contadores de energía en todos los circuitos secundarios para controlar mejor el funcionamiento de la misma.



Figura 7.10. Fotografía de contadores de calorías instalados en 5 circuitos.

Los contadores dan información importante del comportamiento del circuito hidráulico como son: las temperaturas de impulsión y retorno del circuito y el caudal. De esta forma, se pueden emplear estos contadores para ajustar los caudales de los circuitos secundarios o para comprobar que las temperaturas de impulsión y retorno son adecuadas a las condiciones de funcionamiento.

7.3.2. Medida de la energía térmica con equipos portátiles

La mayoría de los circuitos hidráulicos no disponen de contadores de energía instalados. Si se pretende analizar el funcionamiento de una enfriadora de agua, una caldera, una climatizadora o un fancoil, será necesario medir la potencia intercambiada por el fluido térmico en el equipo (agua o mezcla de agua y anticongelante).



Para ello, se medirá el caudal de fluido circulante así como las temperaturas en la entrada y en la salida. De esta forma, se medirá la energía intercambiada en el equipo.

La Fig. 7.11 muestra el montaje realizado para la medida de la potencia útil producida por una enfriadora aire-agua. En este caso se realiza una medida instantánea de la potencia útil.

$$Q_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_s - t_e)$$

Siendo Q_u la potencia térmica útil (kW), \dot{m} el gasto másico de fluido térmico (kg/s), c_p el calor específico del fluido térmico (si es agua 4,18 kJ/kg°C), y $(t_s - t_e)$ la diferencia entre la temperatura del fluido térmico en la entrada y en la salida de la enfriadora.

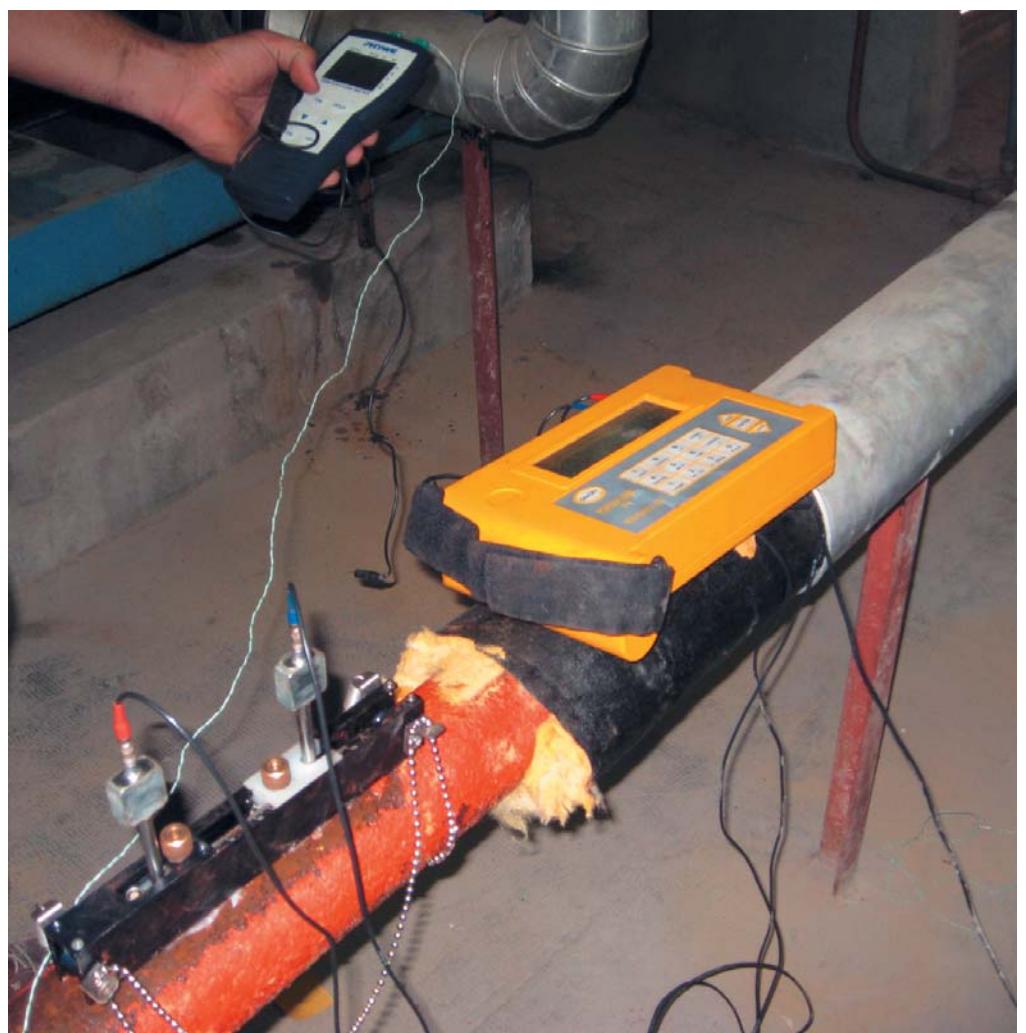
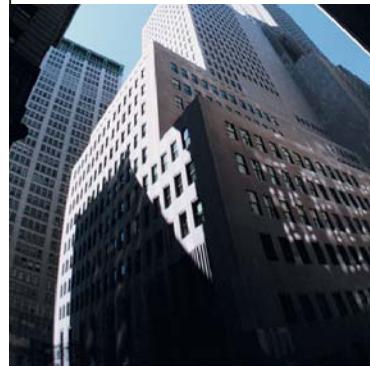


Figura 7.11. Medida de la energía térmica útil proporcionada por una enfriadora al circuito hidráulico.

Tomando de forma simultánea el dato de la potencia eléctrica consumida por la máquina (Fig. 7.5, derecha), se determina el EER instantáneo de la máquina.

$$EER = \frac{Q_u}{P_E}$$

Siendo P_E la potencia eléctrica consumida por la máquina (kW).



7.4. PÉRDIDAS POR HUMOS EN CALDERAS

La combustión de los combustibles comerciales que se emplean en las calderas lleva consigo unas pérdidas energéticas que, convenientemente cuantificadas, permiten calcular el rendimiento de las mismas consumida (véase Guía Técnica del I.D.A.E. «Procedimiento de Inspección Periódica de Eficiencia Energética para Calderas»).

Las pérdidas energéticas a considerar son:

- Pérdidas por calor sensible de los humos.
- Pérdidas por in quemados.

En ambos casos el instrumento principal a emplear será el analizador de humos. En el caso de combustibles líquidos y sólidos se empleará la bomba opacimétrica para determinar las pérdidas por in quemados.

7.4.1. Analizador de humos

El analizador de gases de combustión es un instrumento que mide directamente los diferentes parámetros que determinan las características de una combustión en un determinado equipo consumidor de combustible: caldera, horno, motor, etc.

Entre dichos parámetros destacan:

- Oxígeno en humos (%O₂).
- Monóxido de carbono (ppm CO).
- Temperatura del aire ambiente (°C).



- Temperatura de humos ($^{\circ}\text{C}$).
- Tiro de la chimenea (Pa).
- Óxidos de azufre (ppm SO_x) (sólo en los equipos más completos).
- Óxidos de nitrógeno (ppm NO_x) (sólo en los equipos más completos).

Para hornos y calderas se emplea una sonda de CO bajo (hasta 8.000 ppm), mientras que en motores se debe emplear una sonda de CO alto (hasta 30.000 ppm).

Con las medidas que el equipo realiza, e indicando el combustible empleado, el aparato calcula los siguientes datos:

- Dióxido carbono (% CO_2).
- Coeficiente de exceso de aire con el que se realiza la combustión.
- Monóxido de carbono corregido (ppm μCO) (se elimina la influencia del exceso de aire).
- Pérdidas por humos. El instrumento calcula las pérdidas de energía sensible por humos.

Procedimiento de medida

En primer lugar, se conecta el aparato fuera de la sala de máquinas. Al iniciarse comienza una cuenta atrás de unos 60 segundos donde aspira el aire exterior para la limpieza de las sondas y verificación de las mismas. Tras la cuenta atrás, el instrumento deberá medir:

$\text{O}_2 = 21\%$; $\text{CO} = 0 \text{ ppm}$; $T_{\text{H}} = T_{\text{EXT}}$ (las sondas de temperatura ambiente y de humos deberían tener una desviación inferior a $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

A continuación se indica en el instrumento el combustible con el que funciona el equipo, quedando el mismo preparado para la realización de las medidas. Aspectos a considerar en la toma de datos:

- La medición empezará al menos 5 minutos tras la puesta en marcha de la caldera. El funcionamiento de la misma debería ser quasi-estacionario.
- La verificación del correcto funcionamiento de la caldera se realizará al 100% de carga. En auditorías energéticas puede ser con-

Medida de la energía

veniente realizar varios análisis de humos en otras cargas fijas (30%, 50%, etc.). En ningún caso el quemador deberá estar modulando.

- En el momento de la medida, la temperatura del agua de impulsión de la caldera estará a un valor medio de 70 °C o, en su defecto, no podrá ser inferior en 10 °C a la máxima prevista de funcionamiento.
- La sonda debe dejarse en la posición de medida al menos 2 minutos, hasta que los valores a medir oscilen muy poco o sean razonablemente estables, en cuyo caso deben registrarse y anotarse. Si los valores están permanentemente oscilando se registrarán varios datos durante 1 minuto, haciendo la media aritmética de los datos.
- Si hubiera que practicar algún orificio en el conducto de evacuación para la toma de datos, éste será circular y de 9 mm de diámetro. El orificio se realizará en el conducto vertical de evacuación de los productos de la combustión, a 15 cm por encima del collarín de unión de dicho conducto con el aparato.

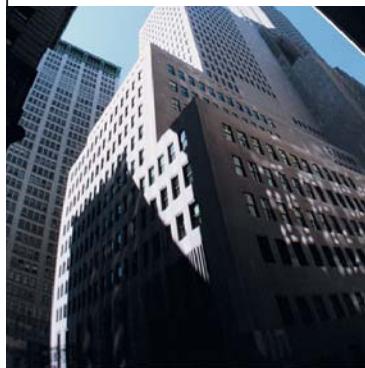


Figura 7.12. Fotografías de Analizadores de humos.

7.4.2. Bomba opacimétrica

Se trata de un sencillo instrumento con el que determinar los inquemados producidos por combustibles sólidos y líquidos. El método de medida se basa en pasar una determinada cantidad de humos a través de un papel-filtro. El papel tomará un tono más o menos gris en función de la cantidad de hollín que produzca la combustión del combustible. La comparación del papel manchado con una escala de grises permite determinar directamente el índice de



Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios

Bacharach de los humos y a partir de este dato, las pérdidas por in quemados.

A continuación, se resume la forma habitual de medición. No obstante, es imprescindible consultar el manual específico del fabricante:

1. Colocar filtro en la bomba opacimétrica.
2. Introducir el tubo de la misma en el orificio de toma de muestras a un tercio del diámetro de la chimenea y bombeo lentamente el número de veces que establezca el fabricante.
3. Determinar visualmente, mediante comparación con la escala de Bacharach, el índice de opacidad de los gases.



Figura 7.13. Fotografías del funcionamiento de la bomba opacimétrica.