

Capítulo 4 Mediciones e instrumentos



Objetivos

Las medidas son una herramienta básica e imprescindible para una auditoría precisa y útil. Las mediciones más comunes son:

- Mediciones en iluminación
- Mediciones eléctricas
- Mediciones de temperatura
- Mediciones de caudales
- Análisis de humos de la caldera

El objetivo de este capítulo es conocer:

- Los equipos portátiles más comunes.
- Los parámetros que miden los equipos.
- Como realizar las mediciones.
- Los resultados que obtendremos de cada equipo.
- En que apartado de la auditoría utilizaremos los resultados.

4.1 Definiciones

Rango de medida: Es el intervalo entre el valor máximo y el mínimo que un instrumento es capaz de medir.

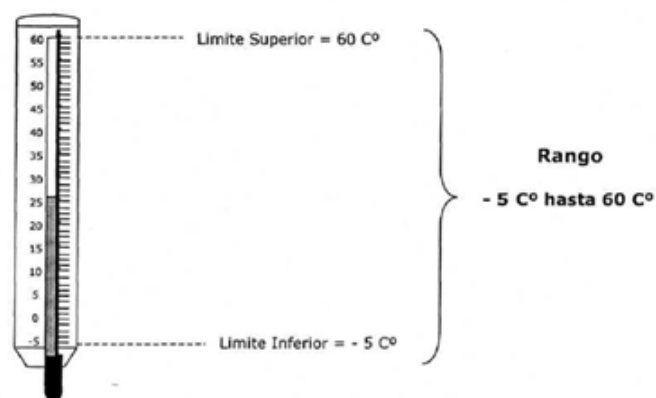


Fig. 01 Rango de medida de un termómetro

Fondo de escala: Es el valor máximo del rango de medida.

Exactitud: lo cercanas que son las lecturas del instrumento del valor real.

Precisión: es el límite del error cometido por el instrumento en condiciones normales de servicio. En el caso de un luxómetro con una precisión de 5% quiere decir que en una lectura de 100lux el luxómetro dará un valor entre 104-96 lux. Un instrumento puede tener una pobre exactitud, pero una gran precisión.

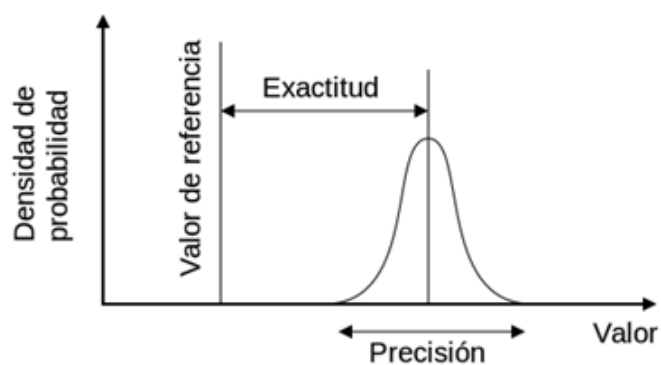


Fig. 02 Definición de precisión y exactitud

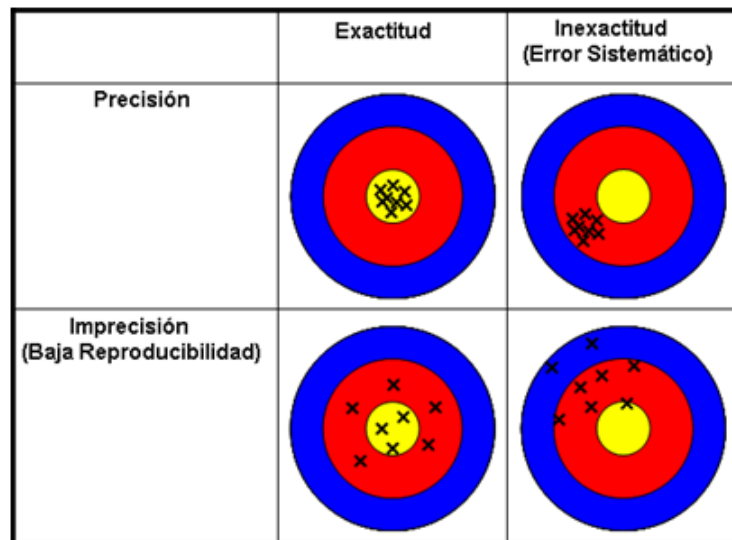


Fig. 03 Diferencias entre Precisión y Exactitud (Fuente: Jhonathan Mas Rivera)

Tiempo de respuesta: es el tiempo que tarda un instrumento a reaccionar a un cambio del parámetro a medir.

Sensibilidad: es la variación mínima del parámetro a medir a la que el instrumento reaccionará. Si una sensibilidad de un termómetro es de $0,5^{\circ}\text{C}$, este no detectará cambios inferiores a este valor.

Repetibilidad: Es la capacidad de un instrumento de repetir el mismo valor al realizar idénticas mediciones en las mismas condiciones. La repetibilidad es sinónimo de precisión. Si la repetibilidad de un equipo es del 1% (sobre el fondo de escala) y el equipo tiene un rango de $0\text{-}300^{\circ}\text{C}$ representa que varias medidas de un mismo punto con el mismo equipo pueden tener diferencias de hasta 3°C .

Tolerancia: Es la precisión mínima que se le pide a un instrumento según normativa o especificación de un proyecto.

Resolución: Es la mínima variación del parámetro a medir que el instrumento nos indicará. Si un instrumento tiene una sensibilidad de $0,1\text{lux}$ pero una resolución de 1lux no aprovecharemos los decimales de la sensibilidad.

Calibración: Los equipos se tienen que calibrar frecuentemente para asegurar que las mediciones son correctas. En el informe de la auditoria se tendrá que recoger las fechas de calibración de los equipos usados.



Datos técnicos del analizador AR5

En el caso de un analizador de redes tendremos que comprobar los datos del analizador en si mismo y también de las pinzas amperimétricas utilizadas. Podéis encontrar datos de rango, precisión, error, sensibilidad...

AR5-L	
Circuito de alimentación	
A través de alimentador externo	100...240 V c.a. / 12 V c.c.
Frecuencia	50...60 Hz
Consumo	15 V·A
Temperatura de uso	0...+40 °C
Altitud	≤ 2000 m
Humedad de funcionamiento	80 % para temperaturas inferiores a 31 °C, disminuyendo linealmente hasta 50 % a 40 °C
Circuito de medida	Trifásicos (3 hilos) Trifásico (3 / 4 hilos)
Grado de contaminación	2
Circuito de tensión	
Rango de medida	Según pinza de 0,01 A...20 kA
Relaciones de transformación de tensión y corriente	Programable
Unidades de medida	Cambio de escala automático
Memoria interna	1 Mb
Clase de precisión (*)	
Tensión	0,5 % ±2 dígitos
Corriente	0,5 % ±2 dígitos
Potencia activa	1 % ±2 dígitos
Potencia reactiva	1 % ±2 dígitos
Características constructivas	
Carcasa	Aislamiento reforzado
Teclado / display	En panel frontal
Display	LCD 160 x 160 píxeles (retroiluminado)
Conector pinzas corriente	3 3 / 4
Dimensiones	220 x 60 x 130 mm
Peso	800 g
Salida RS-232	Salida serie

Fig. 04 Ficha técnica AR5L

Longitud sensor	45 cm
Escalas	200 A / 2000 A / 20000 A ó 100 A / 1000 A / 10000 A
Sensibilidad en mV	Escala 200 ó 100: 10 mV / A Escala 2000 ó 1000: 1 mV / A Escala 20k ó 10k: 0,1 mV / A
Amplitud de medida	5 A...20 kA
Ancho de banda	10...20 kHz
Precisión	1 %
Seguridad eléctrica	Doble aislamiento IEC 1010 - 100 V - Cat III - Grado contaminación 2
Sobretensión admisible en salida	600 V (factor de cresta 1,5)
Condiciones ambientales	
Temperatura	-10 ... +55 °C
Humedad	90 % HR (a 50 °C)

Escalas	Tipo	Código
20 kA / 2000 A / 200 A	Kit 3 C-FLEX 20000/2000/200 A-45	M81141

Fig. 05 Ficha técnica pinzas CFLEX

a) Equipo:

El luxómetro es un instrumento que nos permitirá medir simple y rápidamente la iluminancia. Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos que son interpretados y representados en un display o aguja en su correspondiente escala de luxes.



Fig. 06 Luxómetro LXM Circutor

b) ¿Qué medimos?

Iluminancia (E - lux): flujo luminoso por superficie (lúmenes / m²).

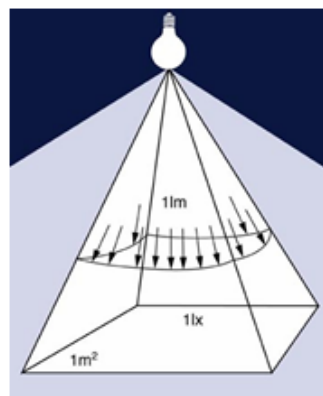


Fig. 07 Definición de un Lux

Luminancia (L - cd/m²): relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una determinada dirección.

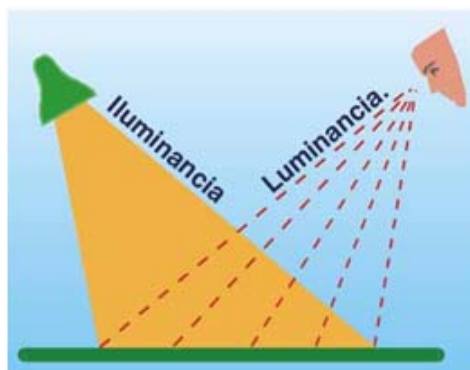


Fig. 08 Diferencia entre iluminancia y luminancia

c) ¿Cómo realizamos la medición?

Para realizar una correcta medición esta tiene que ser uniforme. Tendremos que definir los siguiente parámetros:

Altura de la medición: la medición se tiene que realizar en el plano de trabajo del local. En función del uso, el plano de trabajo será diferente. En un pasillo el plano de trabajo es el suelo mientras en una oficina es la altura de la mesa.

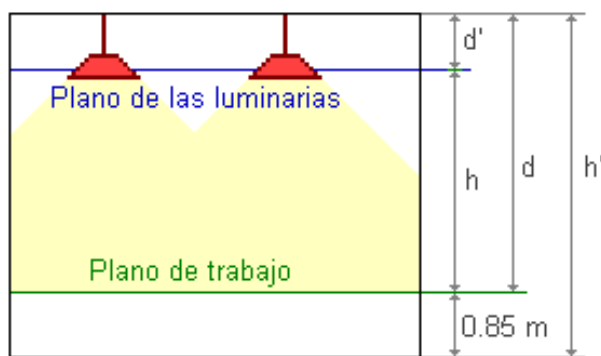


Fig. 09 Definición del plano de trabajo (Fuente: Citcea - UPC)

Número de puntos: El número de puntos a medir en un local es a criterio del técnico y en función de la tipología de luminarias y del local. Un criterio que se puede utilizar es el valor k definido en el CTE-HE3.

$$k = L \times A / (h \times (L+A))$$

- *L= Longitud del local*
- *A= Anchura del local*
- *H= distancia del plano de trabajo a las luminarias.*

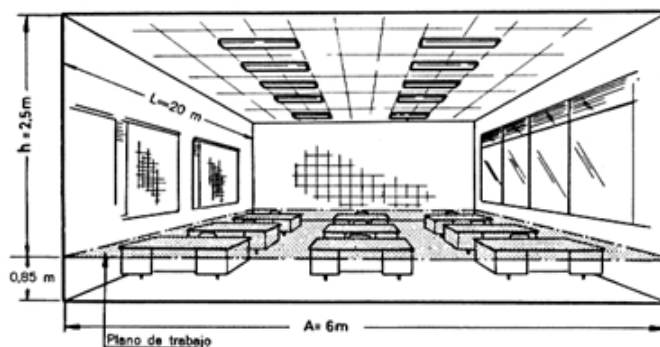


Fig. 10 Plano de trabajo de una aula (Fuente: Ovidio E. Reyes)

El número de puntos mínimos a considerar para el cálculo de la iluminancia media será:

- 4 puntos si $k < 1$
- 9 puntos si $2 > k > 1$
- 16 puntos si $3 > k > 2$
- 25 puntos si $k > 3$

-

Salas representativas: De todo un edificio tendremos que realizar las mediciones en las salas más representativas. Por ejemplo en un colegio no vale la pena realizar las mediciones en las 40 aulas si todas tienen la misma tipología de luminarias y condiciones.

Datos a obtener: A parte de las mediciones con el luxómetro tendremos que recoger los siguiente datos de los locales.

- Potencia instalada.
- Tipo y distribución de las luminarias
- Superficie de la sala.

d) Resultados



Mediciones luminotécnicas en un hotel

En el hotel habían 5 plantas con 22 habitaciones por planta. Las habitaciones son todas de las mismas dimensiones.

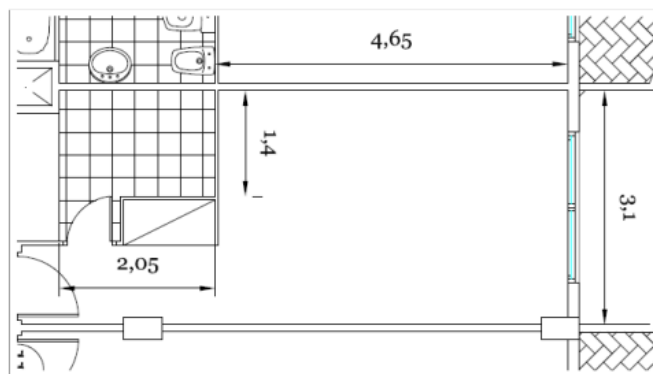


Fig. 11 Dimensiones habitación hotel

Debido a una remodelación, actualmente existen dos tipologías de habitaciones:

- Tipo habitación 1 (original): paredes de color claro con 5 luminarias fluorescentes de 13W con balastro electromagnético de bajas pérdidas en la zona dormitorio y 4 halógenas de 50W en la zona baño.
- Tipo habitación 2 (remodelada): paredes de color oscuro con 5 luminarias fluorescentes de 21W con balastro electromagnético de bajas pérdidas en la zona dormitorio y 5 luminarias LED de 3W en la zona baño.

Se realizaron las mediciones con el luxómetro en un muestreo de estas dos tipologías con los siguientes resultados:

		Tipo 1		Tipo 2	
	Unidades	Dormitorio	Baño	Dormitorio	Baño
Longitud	m	4,6	2,05	4,6	2,05
Anchura	m	3,1	1,9	3,1	1,9
Plano de Trabajo	m	0,8	1,2	0,8	1,2
K		1,25	0,83	1,25	0,83
Número de puntos a medir		9	4	9	4
Em Medición	lux	46	515	26	530

Calcularemos el VEEI de las salas representativas para utilizarlo como base en las propuestas de mejora.

$$VEEI = (P \times 100) / (S \times Em)$$

- *P*: potencia de la lámpara más el equipo auxiliar si existe (W).
- *S*: superficie iluminada (m²).
- *Em*: iluminancia media (lux).

En el CTE-HE3 existe una tabla con los VEEI límite que se deben cumplir en cada tipo de local así com la potencia máxima a instalar.

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, <i>salas técnicas</i> y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

Fig. 12 Tabla 2.1 del CTE-HE3 con los VEEI límites permitidos

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [W/m²]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600lux	25

Fig. 13 Tabla 2.2 CTE-HE3 con la potencia máxima instalada permitada



Cálculo del VEEI a partir de los resultados de una medición luminotécnica

Siguiendo con el ejemplo del hotel anterior vamos a calcular los VEEI resultantes de las mediciones. Recordemos las habitaciones:

- *Tipo habitación 1:* paredes claras con 5 luminarias fluorescentes de 13W con balastro electromagnético de bajas pérdidas en la zona dormitorio y 4 halógenas de 50W en la zona baño.
- *Tipo habitación 2:* paredes oscuras con 5 luminarias fluorescentes de 20W con balastro electromagnético de bajas pérdidas en la zona dormitorio y 5 luminarias LED de 3W en la zona baño.

El VEEI de un hotel en las tablas del HE3 está limitado a 10. Por lo tanto las habitaciones antiguas con las paredes claras y luces de 13W están más cerca de cumplir la normativa mientras la remodelación actual de las paredes oscuras, por cuestiones estéticas, no cumpliría la normativa y sería mucho más ineficiente.

		Tipo 1		Tipo 2	
	Unidades	Dormitorio	Baño	Dormitorio	Baño
Consumo luminarias	W	85	240	135	15
Superficie	m ²	14,3	3,9	14,3	3,9
Potencia instalada	W/m ²	6	61,6	9,5	3,9
Potencia límite HE3	W/m ²	12	12	12	12
Em medida	Em	46	515	26	530
VEEI medido		13	12	36	1



Para saber más

- [Como usar un luxómetro](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=xgonIGgR9w4>

- [Luxómetro: Medición de la Intensidad Luminosa](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=XHVIOtH36to>

- [Se puede usar un iphone como luxómetro](#)

<http://prevenblog.com/se-puede-usar-un-iphone-como-luxometro-calibrado/>

4.3 Mediciones eléctricas

a) Equipos:

Estudiaremos dos equipos, el analizador de redes para mediciones continuas y las pinzas amperimétricas para mediciones puntuales.



Fig. 14 Pinza amperimétrica



Fig. 15 Analizadores de redes

b) ¿Qué medimos?

Pinzas Amperimétricas

Unas pinzas amperimétricas pueden medir intensidad a diferentes voltajes y continuidad de corriente de forma puntual. Si queremos conocer a potencia tendremos que medir la tensión con, por ejemplo, un multímetro.

Sistema monofásico: $P(w) = I(A) \times U(v) \times \cos \Phi$ Sistema trifásico: $P(w) = I(A) \times U(v) \times \sqrt{3} \times \cos \Phi$

El $\cos \Phi$ tendremos que suponerlo cercano a 1 ya que con las pinzas no podemos medirlo

Analizador de redes

En el caso de un analizador medimos y registramos muchos más datos. Cada analizador tiene diferentes capacidades, tendremos que mirar el manual técnico de cada uno para comprobar que puede medir el que usaremos.

Parámetro	Símbolo	L1-L2	L2-L3	L3-L1	Valor trifásico
Tensión compuesta	V	x	x	x	
Corriente	A	x	x	x	x
Frecuencia	Hz	x			
Potencia activa	kW	x	x	x	x
Potencia Reactiva L	kvarL	x	x	x	x
Potencia Reactiva C	kvarC	x	x	x	x
Potencia aparente	kVA				x
Factor de potencia	PF	x	x	x	x
Energía activa	kW. h				x
Energía reactiva inductiva	kvarh. L				x
Energía reactiva capacitiva	kvarh. C				x
Armónicos de Tensión		x	x	x	
Armónicos de Corriente		x	x	x	

Fig. 16 Parámetros medidos por defecto del AR5

c) ¿Cómo realizamos la medición?

- Pinzas Amperimétricas

En el caso de las pinzas tendremos que colocarla en cada fase para saber la intensidad que pasa por cada una. Cumpliremos siempre con las normas de seguridad y vigilando que la corriente tiene la dirección que nos indica la pinza.



Fig. 17 Medición de una fase con la pinza amperimétrica



Fig. 18 Flecha que marca la dirección de la corriente para un lectura correcta

- Analizador de redes

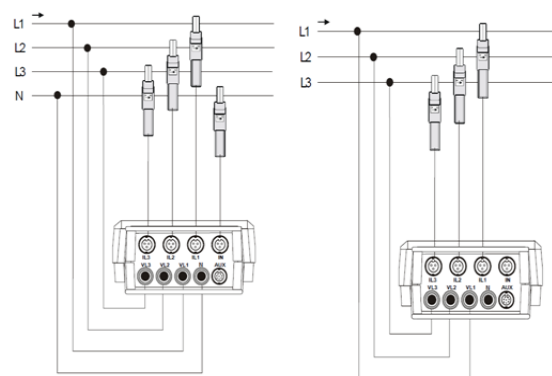
El analizador de redes se colocará en las líneas que queremos analizar el consumo. Existen analizadores que solo miden intensidad y el voltaje lo consideran constante (menos exactitud) y otros que miden intensidad y voltaje por lo que tendremos que colocar puntos de medición del voltaje en cada fase a parte de las pinzas amperimétricas.



Fig, 19 Analizador Current cost sin toma de voltaje



Fig, 20 Toma de voltaje para analizador AR5



Fig, 21 Diferentes esquemas de conexión para un analizador AR5

Existen diferentes tipos de pinzas para cada analizador. En función de la complejidad para operar en el cuadro eléctrico y la intensidad máxima que soporte tendremos que elegir pinzas flexibles o rígidas y el rango de medida de estas.



Fig. 22 Diferentes conexiones de pinzas de analizadores

d) Resultados

Los resultado que se obtienen ya los hemos estudiado en el capítulo 2 mediante el software powervision.

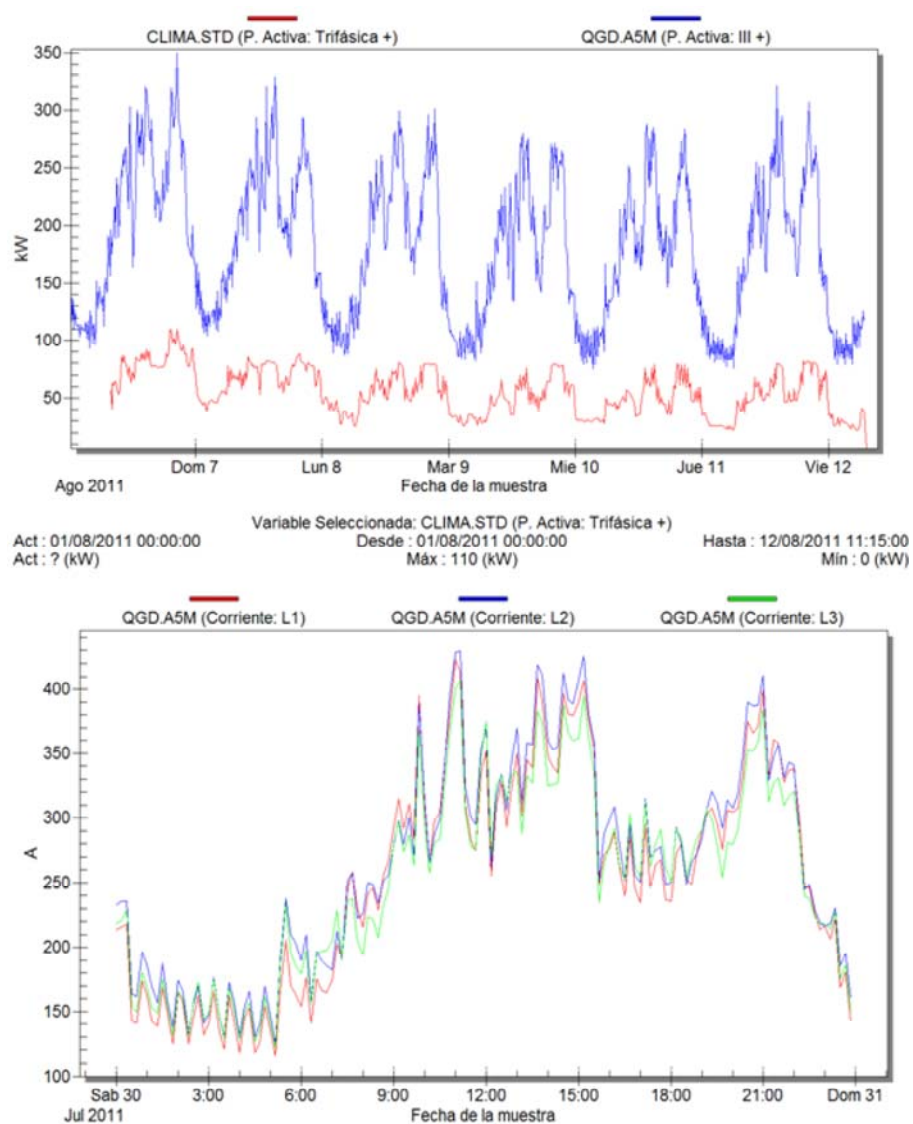


Fig. 23 Resultados de una medición eléctrica

e) ¿Dónde utilizamos los resultados?

Los resultados de un analizador de redes o pinza amperímetrica serán usados en el análisis de consumo energético y la contabilidad energética. Algunas de las más típicas aplicaciones:

- Detección de consumos fuera de horario.
- Cálculo del día tipo.
- Determinación de la potencia máxima consumida.
- Observación de consumos nocturnos.



Para saber más

- Colocación del analizador Current Cost:

<https://www.youtube.com/watch?v=U2DUghW4dDk>

- Colocación y programación del analizador HT EN50160

https://www.youtube.com/watch?v=AjqeU_P7t7w

4.4 Mediciones de temperatura

a) Equipos:

Vamos a presentar los equipos usados para las mediciones de temperatura superficial y las mediciones de temperatura de líquidos y aire.



Fig. 25 Equipos para medición de temperatura superficial. (De izquierda a derecha: Termómetro de contacto, cámara termográfica y pirómetro).



Fig. 26 Equipos para medición temperatura de aire y humedad (izquierda) y de líquidos (derecha)

b) ¿Qué medimos?

Temperatura superficial

Los termómetros portátiles por contacto se usan en prácticamente cualquier sector en el que sea necesaria la medición de temperatura, tanto para mediciones complejas como para mediciones puntuales. Medimos directamente la temperatura de la superficie donde pongamos el contacto.

Los sensores por infrarrojos (IR) miden la radiación electromagnética que emite todo cuerpo que se encuentra a determinada temperatura, en este ámbito tenemos los pirómetros y las cámaras termográficas. Los pirómetros tiene la misma utilidad que los termómetros de contactos, medición puntual, pero utilizando la técnica de los infrarrojos (medición IR) con lo ventaja que se mide la temperatura a distancia sin tocar la superficie medida. La medición IR es la solución más adecuada para medir piezas o maquinaria en movimiento o elementos con carga eléctrica por ejemplo.

Por último las cámaras termográficas utilizan la misma tecnología que los pirómetros pero no en un solo punto sino que obtendremos una fotografía entera.

Temperatura aire y líquidos

En las mediciones del aire es interesante contar con un higrómetro para medir temperatura y humedad del aire.

En los líquidos utilizaremos diferentes sondas para medir su temperatura. Las más comunes son: los termopares y las termoresistencias. En el primer tipo la variación de temperatura produce una variación de tensión y en las segundas una variación de las resistencias.

Los termopares tiene un rango de medición elevado pero un precisión y tiempo de respuesta bajo mientras en las termoresistencias el rango es menor pero la precisión y tiempo de respuesta más elevado. Para sistemas portátiles se usan más los termopares y para los fijos las termoresistencias. En las sonda portátiles la medición será puntual mientras en las fijas podemos tener los datos registrados en un sistema control central y acceder al histórico.

c) ¿Cómo realizamos la medición?

Temperatura superficial

Mientras en los termómetros de contacto solo tenemos que acercarnos a la superficie a medir y colocar el termómetro en los equipos por IR debemos trabajar con superficies oscuras y mates para evitar que la radiación emitida por otros cuerpos a otra temperatura se refleje en ellos. En el caso de no tener una superficie negra y mate en nuestra medición tendremos que modificar el valor de emisividad de nuestro equipo para conseguir valores reales. También existen cinta adhesivas de emisividad conocida para colocar en la superficie a medir, que cojan la temperatura de la superficie y medir sobre ellas.

Material	Emisividad (ϵ)
Cuerpo negro	1
Piel humana	0.98
Agua	0.98
Amianto	0.95
Cerámica	0.95
Barro	0.95
Cemento	0.95
Tejido	0.95
Grava	0.95
Papel	0.95
Plástico	0.95
Goma	0.95
Madera	0.95
Cobre (oxidado)	0.68
Acero inoxidable	0.1
Cobre (pulido)	0.02
Aluminio (pulido)	0.05

Fig. 27 Tabla emisividad en función del material



Comprobación medidas de una camara termográfica

Podemos usar el termómetro de contacto para comprobar que el valor de emisividad escogido da valores de temperatura reales. En la imagen de la izquierda vemos los valores obtenidos con el termómetro de contacto y en la derecha la imagen termográfica.

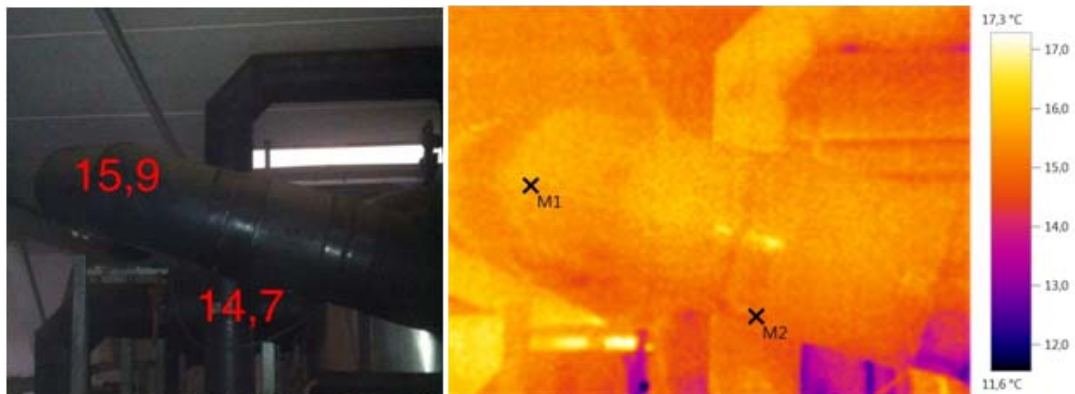


Fig. 28 Comparativa termómetro de contacto - Termografía

No	Temp. [°C] Termografia	Temp. [°C] Contacto
M1	15,9	15,7
M2	14,7	14,7

Temperatura aire y líquidos

En el caso de la temperatura del aire no tiene más complicación que escoger correctamente el punto donde mediremos los datos y realizar diferentes medidas. En los líquidos puede ser más problemática la medición ya que necesitaremos puntos de muestreo en las tuberías para introducir las sondas. Necesitaremos la ayuda del personal de mantenimiento para la colocación de las sondas sino existen puntos de muestreo.

d) Resultados

Con los termómetros de contacto, los higrómetros o las sondas de temperatura de agua lo que obtendremos son valores puntuales. Los resultados tendremos que trabajarlos nosotros con la introducción de los valores en imágenes propias.



Fig. 29 Resultados de una medición por termómetro de contacto

La termografía es una herramienta muy potente visualmente con lo que detectaremos fácilmente puentes térmicos, sobrecalentamientos en equipos eléctricos, niveles de depósitos, aislamientos en mal estado,...



Fig. 30 Resultados de una medición por camara termográfica en una envolvente (Fuente ACR)



Fig. 31 Resultados de una medición por camara termográfica en un cuadro eléctrico

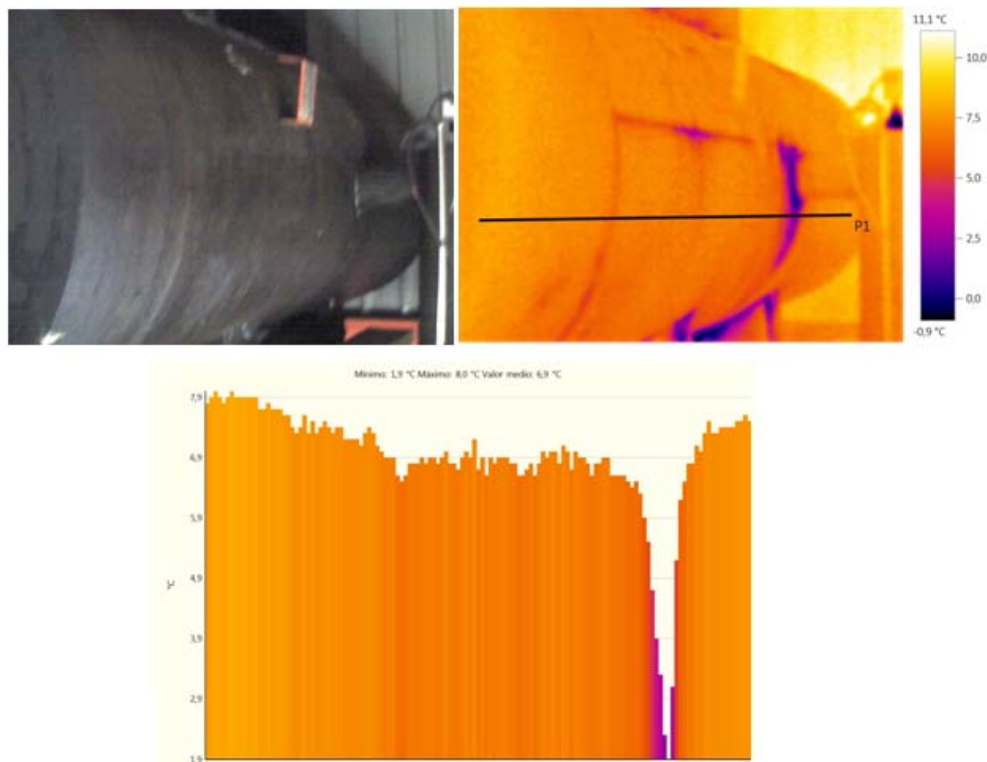


Fig. 32 Resultados de una medición por cámara termográfica en un depósito. (Arriba: Foto real y termográfica, Abajo: evolución temperatura en la línea horizontal P1)



Errores comunes en los resultados de la termografía

Un termógrafo debería saber de termografía: La termografía no es solo encender la cámara y disparar, se necesitan unos conocimientos de termografía para realizar las fotos correctamente y saber interpretarlas.

Ajuste emisividad: Realización de termografía sin ajuste de la emisividad del material observado: medida incorrecta de la temperatura.

Cámaras de bajo coste y pocas prestaciones: no permiten una correcta evaluación. no todas las cámaras son útiles para todas las inspecciones.

Imágenes desenfocadas: impide la correcta visualización y hace que la cámara no mida correctamente.

Reflejos: Errores de interpretación de los resultados por la aparición de reflejos bien del reflejo térmico del propio operador o bien de reflejos de cuerpos próximos al objeto en cuestión. La termografía no realiza medición directa de la temperatura si no de la que emiten los cuerpos.

Ángulos incorrectos de medición: incrementan la posibilidad de aparición de reflejos.

Elección de la hora de realizar la inspección: Condiciones climatológicas adversas, con niebla, o viento elevados puede afectar los resultados.

e) ¿Dónde utilizamos los resultados?

Temperatura superficial

Las aplicaciones del análisis de la temperatura superficial en auditorías energéticas son múltiples:

- Detección de flujos de calor/frío en la envolvente hacia el exterior.
- Detección de puentes térmicos.
- Pérdidas de calor en tuberías/conductos o depósitos.
- Bombas: sobrecalentamiento de motores y bombas sobrecargadas.
- Inspección de circuitos de suelo radiante o en placas solares térmicas.
- Células fotovoltaicas dañadas en placas solares.
- Modificaciones de la envolvente posteriores a la construcción.
- Cálculo de la transmitancia térmica de un cerramiento

Temperatura aire y líquidos

Conocer la evolución de la temperatura en el aire puede ser interesante para saber las horas de funcionamiento de la climatización. Vemos en las siguientes gráficas las curvas de temperatura de dos locales contiguos (T° exterior-magenta, T° interior-amarillo, T° consigna-rojo). En el primer caso tenemos la climatización abierta las 24 horas (la temperatura interior sigue la consigna) mientras en el segundo solo puntualmente abrimos la climatización.

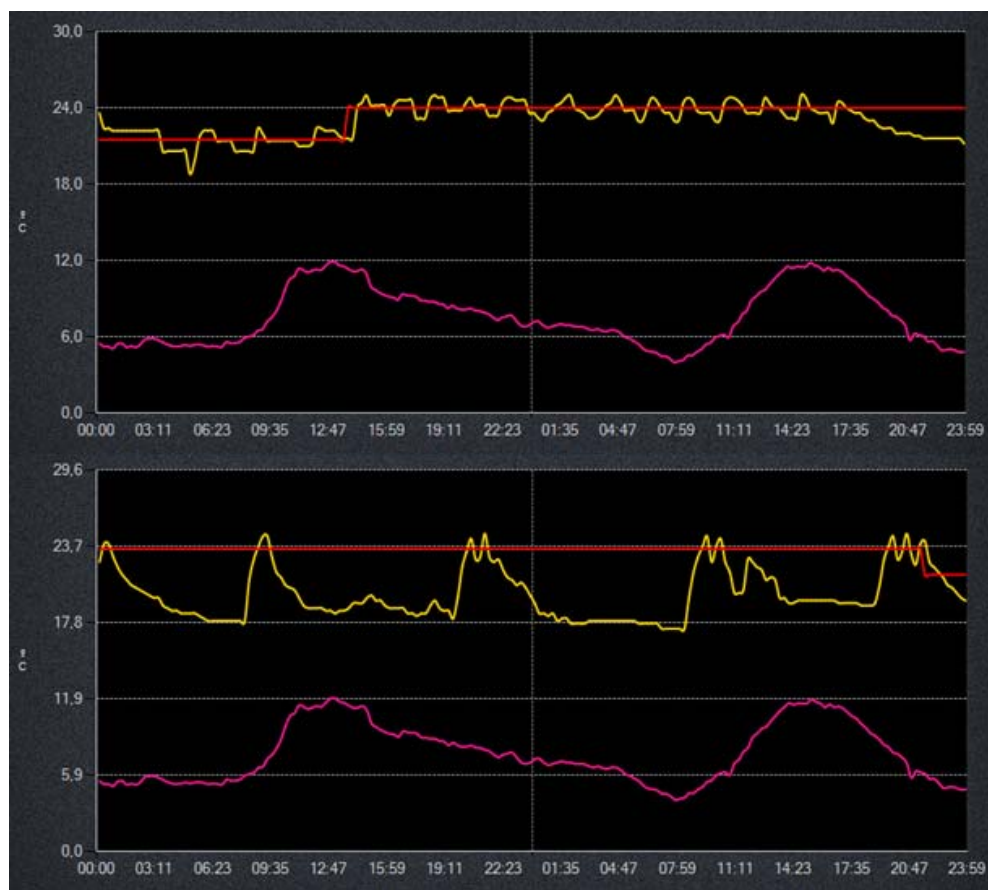


Fig. 33 Registro de la temperatura interior de un local

En cuanto a los líquidos necesitaremos saber la temperatura cuando queremos calcular el rendimiento de una máquina de producción de calor o frío. A parte de la temperatura necesitaremos el caudal del líquido que estudiaremos en el siguiente apartado.



Medición transmitancia térmica

Para conocer la transmitancia térmica de un cerramiento (U) y poder calcular las pérdidas energéticas tenemos diferentes opciones:

- a) Estimarlos según año de construcción.
- b) Realizar una cata en el cerramiento.
- c) Realizar una medición de la transmitancia mediante ensayos no intrusivos

El primero es un cálculo estimativo solo utilizado cuando no disponemos de datos para realizar ninguno de los otros dos. El segundo al ser un ensayo destructivo muchas veces no es factible realizar las catas, la única manera es el ensayo no destructivo. Existen dos tipos de ensayos no destructivos con sus pros y contras. Los dos se basan en el principio del flujo de calor por una área.

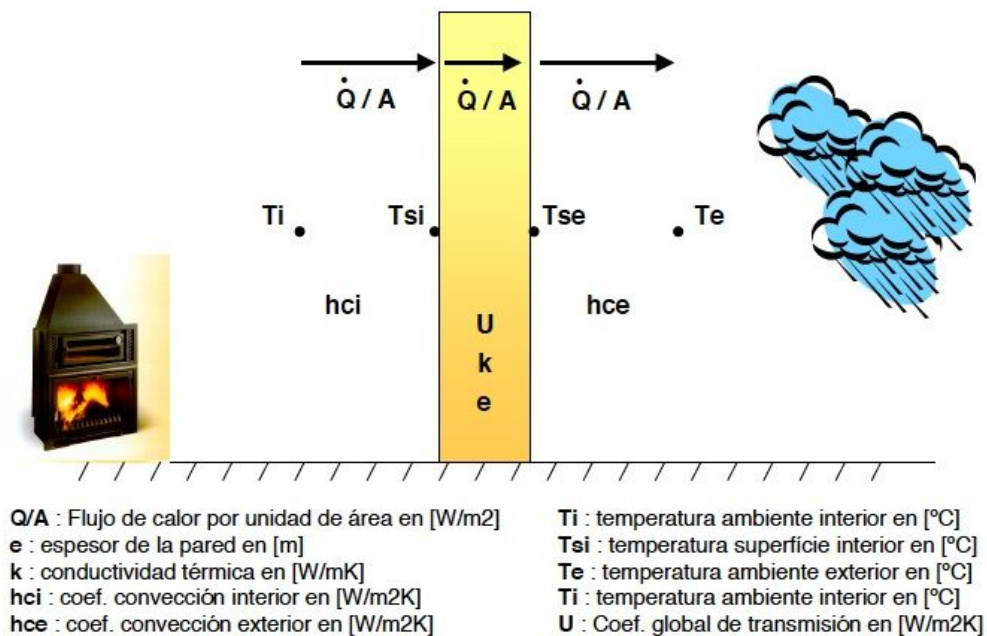


Fig. 34 Flujo de calor por superficie (Fuente: Construction21.com)

Donde tenemos las siguiente formulas a aplicar:

- Flujo de calor ambiente - pared: $Q/A = (T_i - T_{si}) \cdot h_{ci}$
- Flujo a través de una pared: $Q/A = U \cdot (T_i - T_e)$

Si igualamos flujos de calor tenemos que la transmitancia es

$$U = (T_i - T_{si}) \cdot h_{ci} / (T_i - T_e) \quad [W/m^2K]$$

¿Cómo podemos medir las temperaturas que necesitamos?

Ensayo con sonda U: En este ensayo usamos un accesorio (sonda U) en un multímetro. Se trata de medir directamente la temperatura superficial con una sonda de contacto. Las temperatura exteriores e interiores se miden aparte.



Fig. 35 Medición U por sonda U (Fuente: Testo)

Inconvenientes

- La duración mínima del ensayo es 72h.
- La temperatura interior debe permanecer constante todo el período para evitar inercias térmicas.
- La diferencia mínima entre la temperatura interior y exterior debe ser al menos 10-15 ° C.

Limitaciones

- Los puentes térmicos deben evitar, por no obtener errores.
- Cuando son paredes con cámara de aire suelen presentar errores.
- La duración mínima del ensayo es 72h si el temperatura es estable alrededor del medidor de flujo, de lo contrario, puede ser más de 7 días.
- La superficie exterior del elemento debe ser protegida de la lluvia, la nieve y luz directa. En general, es preferible una con orientación norte.

Ensayo con cámara termográfica: Calcular las temperaturas superficiales mediante ensayo con cámara termográfica. Existen aproximaciones matemáticas de la formula de la U como la explicada en este [estudio](#).

Ventajas del método

- No es una medida puntual para que representa todas las superficies con la imagen termográfica y permite mediante una calibración de emisividad de cada material conocer y evaluar el comportamiento térmico tanto de la fachada como de los puntos singulares como son puentes térmicos.

- El procedimiento es bastante rápido.

Limitaciones

- La medición se puede hacer sólo durante la noche para evitar la radiación solar directa, el mejor periodo de tiempo es de 3 o 4 am cuando máxima es la diferencia entre el interior y temperatura exterior.?
- Fuera la velocidad del aire debe ser inferior a 1 m / s en, a fin de evitar fenómenos de convección.?
- Los elementos de construcción deben haber almacenado una cantidad suficiente de calor y las condiciones previas al estudio deben haber sido estables con temperaturas interiores uniformes y con una situación exterior relativamente estable. De esta manera evitamos los errores que pueden generar las inercias térmicas de los materiales.?
- La temperatura durante la medición debe ser al menos 10-15 ° C, esta condición es la más importante.

Más información medición U

http://plea-arch.org/ARCHIVE/2008/content/papers/oral/PLEA_FinalPaper_ref_504.pdf

http://www.orionesrl.it/notetecniche/1Pagine_da_Neo-Eubios_14.pdf



Para saber más

- *Guía de la termografía infrarroja. Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética*

<http://www.fenercom.com/pages/publicaciones/publicacion.php?id=168>

- *Reportaje Canal Sur: Termografía, buscando la eficiencia energética*

<https://www.youtube.com/watch?v=Y4vZM79OjCs>

- *Termografía TESTO: aplicaciones*

<https://www.youtube.com/watch?v=nhXS1jvgs4E>

a) Equipos:

La medición de caudal de líquido en una auditoría energética tendrá que ser no invasivo para no interferir en la instalación actual y evitar un incremento de costes. Para este fin existe una tipología de equipos que permiten medir el caudal desde la parte externa de la tubería.



Fig. 36 Caudalímetros portátiles por ultrasonidos

b) ¿Qué medimos?

Estos equipos están basados en la tecnología de ultrasonidos disponiendo los sensores por la cara exterior de la tubería. Mediante el tiempo que tarda la señal en salir del emisor y llegar al receptor calcularemos al caudal del líquido, que previamente habremos definido en el equipo.

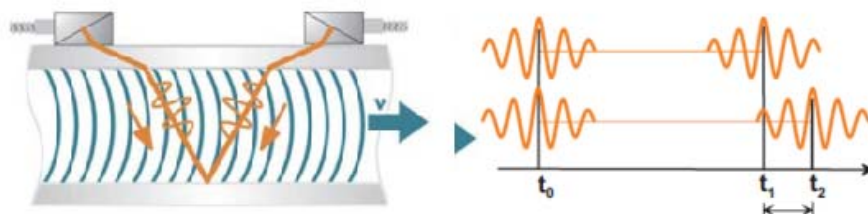


Fig. 37 Tecnología de ultrasonidos (Fuente: FLEXIM)

El cálculo del caudal volumétrico lo haremos a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = k_{re} \cdot A \cdot k_a \cdot Dt / (2 \cdot t_{fl})$$

- k_{re} : factor de calibración fluidomecánico
- A : superficie de la sección transversal de la tubería
- k_a : Factor de calibración acústica
- Dt : diferencia del tiempo de tránsito
- t_{fl} : Tiempo de tránsito medio.

c) ¿Cómo realizamos la medición?

Al equipo tendremos que definirle los siguientes parámetros:

- *Diámetro de la tubería:* podemos necesitar un pie de rey o cinta para medirlo.
- *Espesor de la tubería:* existen medidores de espesores ya en los caudalímetros que calculan el espesor y lo almacenan para los posteriores cálculos.
- *Material de la tubería:* afectará la velocidad de las ondas y por tanto el tiempo de tránsito.
- *Líquido:* es necesario saber si es agua sola, con aditivo o otros líquidos ya que la composición afectará la velocidad de las ondas y por tanto el tiempo de tránsito.
- *Temperatura:* afectará la velocidad de las ondas y por tanto el tiempo de tránsito.
- *Numero de trayectos:* definir cuantas veces “rebotarán” las ondas antes de llegar al receptor.

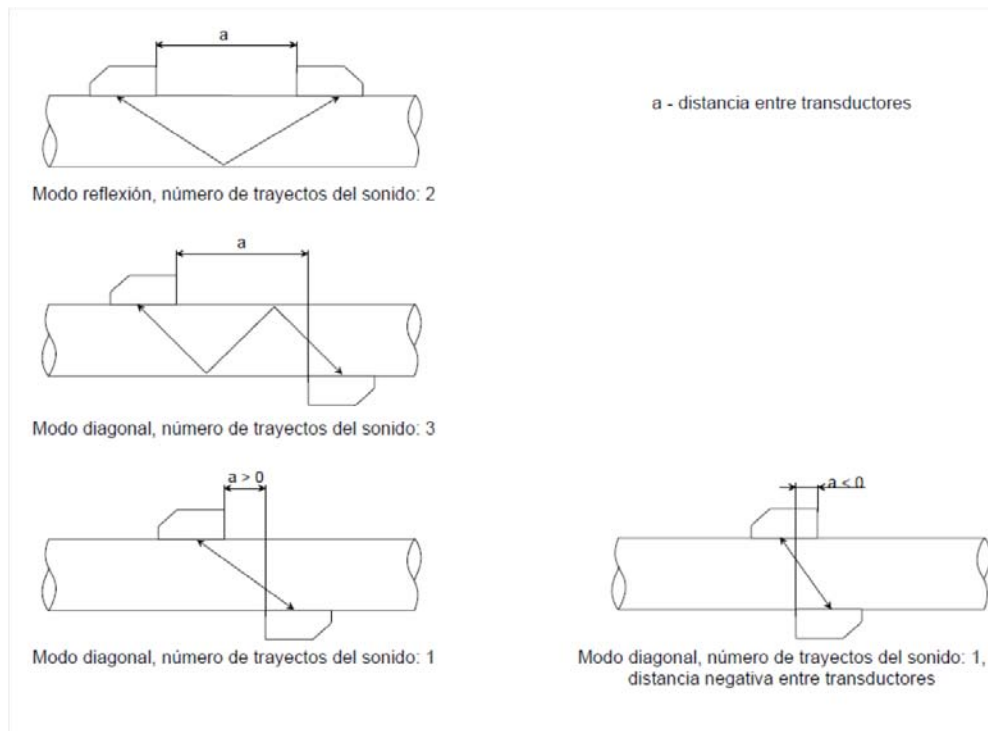


Fig. 38 Diferentes configuraciones de los transductores (Fuente: FLEXIM)

- *Distancia entre transductores:* Mediante una regla colocaremos los transductores a la medida que nos pida el equipo.



Fig. 39 Regla de posición de los transductores

- *Elección transductores:* cada aplicación tiene sus transductores idóneos en función del diámetro de la tubería y el rango de temperaturas.

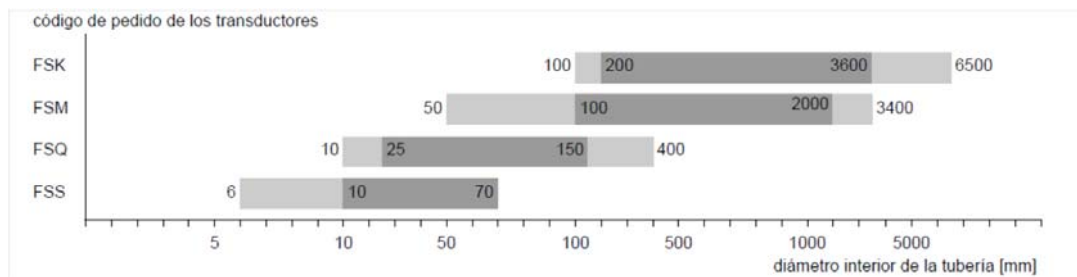


Fig. 40 Selección de transductores (Fuente: FLEXIM)

d) Resultados

Los resultados son un conjunto de datos por cada unidad de tiempo registrada.

```

Physic. Quant. : Volume Flow
Unit of Measure : [m3/h]/[m3]
Num.of Meas.val : 1

\DATA
A::MEASURE:AMP;
A::777;30;

\DEVICE : F 601 -06011748
\MODE : STORED
\DATE : 23.02.2014
\TIME : 16:33:42
Par.Record : Par.Record 02
Meas. Point No. : A12
Outer Diameter : 116.0 mm
Wall Thickness : 3.6 mm
Roughness : 0.2 mm
Pipe Material : Carbon Steel
Lining : WITHOUT LINING
Medium : water
Medium Temperat. : 80 c
Transducer Type : CQ1N2721133
Sound Path : 2 NUM
Transd. Distance : 73.0 mm
Damping : 10 s
Full-scale val. : 0.01 m3/h
Current Loop : 0/20 mA
Storage Rate : 00:10:00 AVERAGE
Physic. Quant. : Volume Flow
Unit of Measure : [m3/h]/[m3]
Num.of Meas.val : 296

\DATA
A::MEASURE:Q_POS;AMP;
A::777;+777;55;
A::28.18;+4026.188;56;
A::28.11;+4030.873;55;
A::28.19;+4035.557;55;
A::28.11;+4040.243;55;
A::28.08;+4044.916;55;
A::28.08;+4049.595;54;
A::28.05;+4054.259;55;
A::28.05;+4058.931;54;
A::27.98;+4063.592;54;
A::28.05;+4068.260;54;
A::28.08;+4072.936;54;
A::28.01;+4077.603;54;
A::27.95;+4082.254;54;
A::27.95;+4086.905;54;
A::27.91;+4091.553;54;
A::27.98;+4096.211;54;
A::27.91;+4100.853;54;
A::27.95;+4105.510;54;
A::27.98;+4110.163;54;
A::28.08;+4114.844;54;
A::27.81;+4119.472;54;
A::27.68;+4124.081;54;
A::27.95;+4128.735;54;
A::28.01;+4133.398;54;
A::28.01;+4138.055;54;
A::28.05;+4142.726;54;
A::27.95;+4147.374;54;
A::28.05;+4152.043;54;
A::27.98;+4156.704;54;
A::28.05;+4161.377;54;
A::28.05;+4166.047;54;
A::27.75;+4170.667;54;
A::27.88;+4175.306;54;
A::27.95;+4179.964;54;
A::27.83;+4184.598;54;

```

Fig. 41 Datos exportados de caudalímetro FLEXIM

e) ¿Dónde utilizamos los resultados?

Con los datos de caudal junto con los datos de temperatura del circuito podemos calcular la potencia térmica que pasa por la tubería. Si esta tubería es la del primario de un equipo de producción de calor o frío podremos saber el rendimiento real del equipo si conocemos la energía que consume (electricidad o combustible).

$$Pot (kW) = \text{Caudal (litros/minuto)} \times 60 \text{ min/hora} \times DT (^\circ\text{C}) / 860 \text{ kcalh/kW}$$



Cálculo del rendimiento de una enfriadora

Para saber el potencia térmica obtenida de una planta enfriadora de un edificio de oficinas utilizamos un caudalímetro y el sistema de control del edificio. Mediante una secuencia de encendido de las maquinaria podemos calcular el caudal del circuito primario cuando funcionan el 50%, el 75% y el 100% de las maquinas interiores.

	Caudal (l/min)		Potencia térmica (KW)		Salto térmico	
	Teórico	Experimental	Teórico	Experimental	Teórico	Experimental
50%	172	577	66	51	5,5	1,3
75%	279	613	105	71	5,4	1,7
100%	487	711	177	112	5,2	2,3

Observamos como las variaciones son muy importantes entro lo teórico y lo experimental. Al mismo tiempo se obtuvo la potencia eléctrica consumida en cada una de las tres situaciones con lo que podríamos saber el rendimiento EER de la enfriadora.

	Térmica (Kw)	Eléctrica (KW)	EER
50%	51	17	3
75%	71	20	3,6
100%	112	32	3,5

Revisiones RITE generadores de frío

En la instrucción técnica 3.4 del RITE se nos indica que medidas tenemos que recoger periódicamente de los generadores de frío así como de calor. Si realizamos una auditoria energética donde sus calderas estén dentro del rango que se aplica esta instrucción tendremos que pedir los informes de mantenimiento para conocer los datos y compararlos con nuestros ensayos.

	70kW < P≤1.000kW	P>1.000kW
1. Temperatura del fluido exterior en entrada y salida del evaporador	3m	m
2. Temperatura del fluido exterior en entrada y salida del condensador	3m	m
3. Pérdida de presión en el evaporador en plantas enfriadas por agua	3m	m
4. Pérdida de presión en el condensador en plantas enfriadas por agua	3m	m
5. Temperatura y presión de evaporación	3m	m
6. Temperatura y presión de condensación	3m	m
7. Potencia eléctrica absorbida	3m	m
8. Potencia térmica instantánea del generador, como porcentaje de la carga máxima	3m	m

9. CEE o COP instantáneo	3m	m
10. Caudal de agua en el evaporador	3m	m
11. Caudal de agua en el condensador	3m	m

m: una vez al mes; la primera al inicio de la temporada; 3m: cada tres meses; la primera al inicio de la temporada

Fig. 42 Medidas de generadores de frío (Fuente: Tabla 3.3 del RITE)



Para saber más

- [Video de colocación de un caudalímetro.](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=GvkgPwaTUjw>

4.6 Análisis de combustión

a) Equipos:

Un analizador de humos está compuesto por el equipo y la sonda que introduciremos en la chimenea. Algunos equipos llevan incorporados una impresora para poder imprimir los resultados insitu.



Fig. 43 Analizador de humos



Fig. 44 Maleta de Analizador de humos con impresora

b) ¿Qué medimos?

Mediremos el resultado de la combustión de una caldera. Para la combustión utilizamos el combustible, una cantidad de oxígeno y una llama para poder iniciarla. De la combustión obtenemos el calor deseado y unos productos que expulsamos por la chimenea que serán los que analizaremos con nuestro equipo para saber si la combustión es óptima.

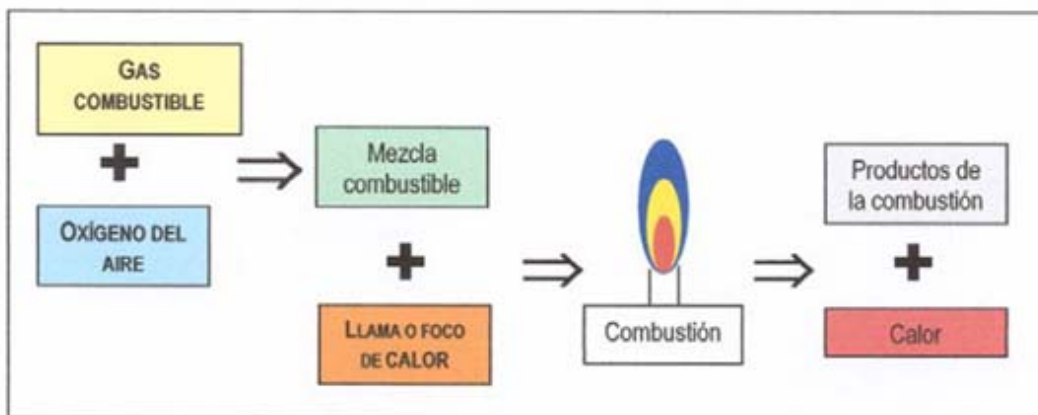


Fig. 45 Esquema de la combustión



¿Qué combustión es correcta?

Podemos observar dos combustiones en la figura siguiente. El color azul (izquierda) indica combustión correcta mientras el naranja (derecha) indica una deficiencia de oxígeno y por tanto una combustión no correcta.



Fig. 46 Diferentes Combustiones

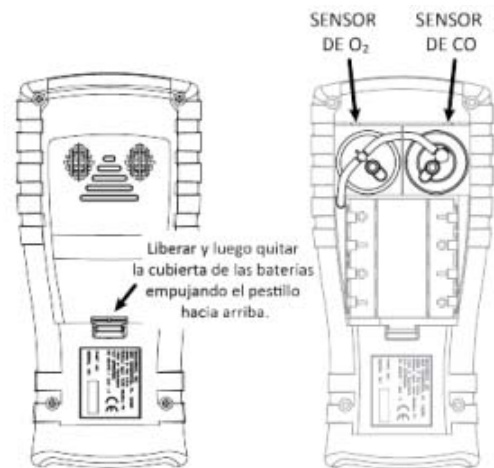
Algunos de los resultados que da el equipo son medidos y otros calculados a partir de los anteriores.

Parámetros medidos típicos:

- T° Humos: Temperatura de los humos de evacuación caldera.
- T° Aire: Temperatura ambiente.
- O_2 : Oxígeno en %.
- CO : Monóxido de carbono diluido en ppm.
- CO_{amb} : CO ambiente a medir antes de realizar el análisis.

Parámetros calculados típicos:

- λ : Índice del exceso de aire
- qA : pérdidas de rendimiento %
- h : rendimiento de la combustión %
- CO_2 : Proporción de dióxido de carbono %
- CO corregido: Descontando el exceso de aire en ppm.



El equipo tiene diferentes sensores para la medición de los parámetros del análisis como podemos ver en el esquema de un equipo de la marca *Fyrite Insight Plus*.

c) ¿Cómo realizamos la medición?

Para realizar la medición tendremos que tener un punto de muestreo en la chimenea.



Fig. 47 Medición de análisis de combustión y resultado

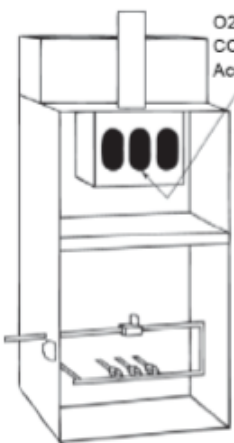

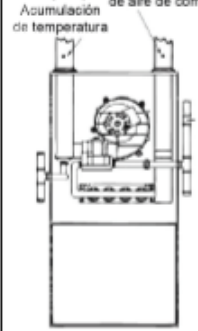
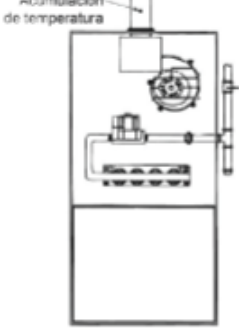

Ejemplo de caldera de aire forzado	Ejemplo de termotanque de agua caliente	
 <p>O₂, CO, Acumulación de temperatura</p> <p>Para quemador atmosférico o equipo de calefacción de aire forzado, ventilado por gravedad con un diseño de intercambiador de calor convexo o transversal, pruebe cada uno de los conductos de escape en la parte superior del intercambiador de calor. La sonda debe volver a insertarse en cada uno de los conductos de escape para obtener una muestra de gas de combustión, antes de que se mezcle cualquier aire de disolución.</p>	 <p>Muestra de gas combustible sin diluir tomada bajo el desviador de tiro en la parte superior del tubo de incendio</p> <p>Los termotanques domésticos de agua caliente con el desviador de tiro con forma de "campana" se pueden evaluar de manera precisa insertando la punta de la sonda directamente en la parte superior del tubo de incendio debajo del desviador.</p>	
Ejemplo de caldera de condensación de 90% de eficiencia	Ejemplo de caldera asistida por ventilador o de tiro forzado de 80% de eficiencia	Ejemplo de calentador ventilado atmosférico/de gravedad
 <p>O₂, CO, Punto de muestra de aire de combustión, Acumulación de temperatura</p> <p>Las calderas/calentadores de condensación se pueden evaluar a través de un orificio perforado en el tubo de ventilación plástico (cuando lo permita el fabricante o la autoridad de jurisdicción local) o tomado desde el extremo del escape.</p>	 <p>O₂, CO, Acumulación de temperatura</p> <p>La evaluación de combustión de calderas/calentadores asistidos por ventilador o de tiro forzado se debe realizar a través de un orificio perforado en la ventilación inmediatamente por encima del ventilador del inductor.</p>	 <p>O₂, CO, Acumulación de temperatura</p> <p>Los calentadores, que tienen encima un desviador de tiro con forma de 'campana', se deben evaluar directamente debajo del desviador a través de un orificio perforado en el conector de la ventilación.</p>

Fig. 48 Consejos para el punto de muestreo. (Fuente: Fyrite INSIGHT Plus)

d) Resultados

El equipo sacará una hoja, como las que nos realizan en nuestra caldera doméstica el servicio técnico, con los resultados.

testo 335 Vi.28 8126784 C1 84.83.2014 06:57:34 Parámetro: Temp./aire amb.: 15.4 °C aire hum./amb.: 68.9 % Pto. de rocío: 7.7 °C Vi.28 81267849/E cet19 Analiz. de combustión TESTO 335 2812 analiz fi iniciat 27.02.14 10:27:11 98.9 °C Temp. Gas. COM 98.6% PEA 7.57% O2 117ppm CO 7.71% CO2 1.4% Lambda 4.42 qn ---bar Pres. Com. ---m P.COM 18.2 °C TA 29.4 °C Temp. Insir. 180ppm CO corregido 10090bar Presab. 52.3 °C punto rocío ---kg/h G. CO. Combustible: GasNatural 02ref.: 3.0% 02med.: 11.9% 02med Número de opacidad: promedio :	CIF: TEL: Técni.: Angel Firma: Chemist 402 N. serie: 2692 Fecha: 11/03/13 Hora: 18.33 Comb.: Gas natural Altitud: 0 m H.R. aire: 50 % VALORES MEDIDOS T humos 100.1 °C T aire 15.6 °C O2 10.6 % CO 138 PPM CO amb 21 PPM VALORES CALCULADOS CO2 5.8 % lambda 2.05 O2 5.5 % eta 94.1 % eta 0.0 % eta 94.1 % T dif 80.2 °C Ref. O2 0.0 % CO 280 PPM Nota:
---	--

Fig. 49 Resultados de análisis de combustión

e) ¿Dónde utilizamos los resultados?

Utilizaremos los resultados para comprobar que la combustión está regulada en su punto óptimo. Cada caldera en función de su combustible tendrá un punto óptimo de los parámetros de combustión. En el capítulo 5 aprenderemos a cuantificar el ahorro de esta regulación de parámetros.

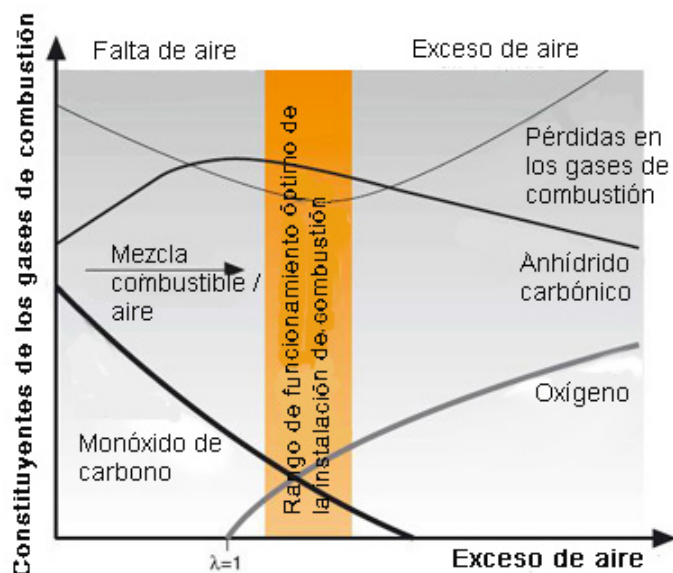


Fig. 50 Punto óptimo de combustión (Fuente: TESTO)

Revisiones RITE calderas

En la instrucción técnica 3.4 del RITE se nos indica que medidas tenemos que recoger periódicamente de los generadores de calor así como de frío. Si realizamos una auditoria energética donde sus calderas estén dentro del

rango que se aplica esta instrucción tendremos que pedir los informes de mantenimiento para conocer los datos y compararlos con nuestros ensayos.

Medidas de generadores de calor	Periodicidad		
	20kW < P ≤ 70kW	70kW < P < 1000kW	P > 1000kW
1. Temperatura o presión del fluido portador en entrada y salida del generador de calor	2a	3m	m
2. Temperatura ambiente del local o sala de máquinas	2a	3m	m
3. Temperatura de los gases de combustión	2a	3m	m
4. Contenido de CO y CO ₂ en los productos de combustión	2a	3m	m
5. Índice de opacidad de los humos en combustibles sólidos o líquidos y de contenido de partículas sólidas en combustibles sólidos	2a	3m	m
6. Tiro en la caja de humos de la caldera	2a	3m	m

m: una vez al mes; 3m: cada tres meses, la primera al inicio de la temporada; 2a: cada dos años.

Fig. 51 Medidas de generador de calor (Fuente: Tabla 3.3 del RITE)



Para saber más

- *Análisis de la combustión según legislación vigente*

http://www.testo.es/media/img/content_1/testimages_1/countries_1/pdf/TS_Combustin_legislacin.pdf

- *Webinar TESTO: Análisis de la combustión*

<https://www.youtube.com/watch?v=KyHgh98FXWE>

- *Prueba de combustión en calderas*

<https://www.youtube.com/watch?v=wBR3qspc4Ko>

Una infiltración es un movimiento de aire no controlado a través de la envolvente, elementos defectuosos, pasos de instalaciones, etc. En función de las condiciones de presión, el aire puede infiltrarse hacia el interior, o “fugarse” hacia el exterior.

En edificación, una correcta estanquidad en la envolvente del edificio equivale en una mayor eficiencia energética. La presencia de infiltraciones aumenta la demanda energética en verano y en invierno provocando además que el aire que fluctúa del interior al exterior (y viceversa) transporte humedad que al condensar cause daños y patologías.

La esmerada ejecución de la envolvente del edificio es significativa en la eficiencia energética del edificio, dado que las pérdidas energéticas por filtraciones pueden constituir gran parte de las pérdidas. El *test de estanqueidad al aire o Blower door* se usa para comprobar esta correcta ejecución y sus posibles mejoras.

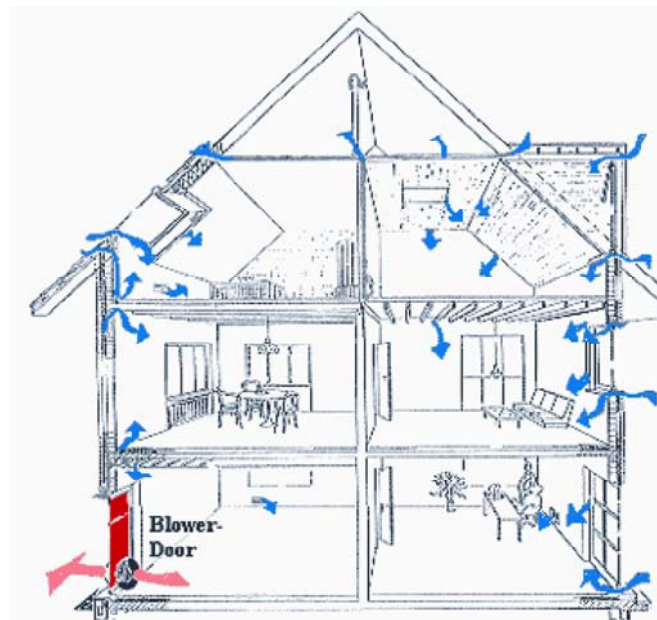


Fig. 52 Esquema test Blower door



Procedimiento

Para la medición no es preciso ni desmontajes ni modificaciones, ni alteraciones del edificio. Para verificar la impermeabilidad al aire de todo edificio, se ubica un ventilador con su marco estanco en el hueco de una ventana o puerta. El ventilador genera, una depresión o sobrepresión que con las ventanas y las puertas exteriores cerradas, genera una diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio.



Fig. 53 Test blower door colocado

Si medimos el caudal de aire necesario para mantener de manera constante dicha diferencia de presión, sabremos exactamente al volumen de aire que pasa por las fugas existentes del cerramiento del edificio. Determinando el flujo volumétrico se muestra la permeabilidad al aire y las renovaciones de aire de la envolvente. Esa Tasa de intercambio es la medida real de infiltraciones de aire con el exterior (renovaciones de aire por hora).

Mediante una cámara termográfica, niebla generada en el interior o un anemómetro podemos observar la dirección de las fugas. Las fugas más habituales son entre otras: penetraciones de la envolvente, cajas persianas, puentes térmicos,... Una vez identificadas las fugas se puede reparar y volver a realizar el test para comprobar la mejora realizada. La realización de esta prueba es sencilla, rápida, no precisa de obras adicionales y apenas genera molestias a los usuarios.





Fig 54. Ejemplos de blower door test



Más información

<https://www.youtube.com/watch?v=icZG05XU9pM>

<https://www.youtube.com/watch?v=vqX9D5j-K-8>