arquia/e-temas

Guía tecnológica del arquitecto perito

Todo lo que no es medir es opinar



Débora Serrano García

6

CRÉDITOS

Colección arquia/e-temas, núm. 6

EDICIÓN
FUNDACIÓN ARQUIA
c/ Barquillo, 6, 1ºIzq. 28004 Madrid
fundacion@arquia.es
www.arquia.es/fundacion

DIRECTORA DE LA COLECCIÓN
Mónica Bonafonte Romagosa

DISEÑO GRÁFICO DE LA COLECCIÓN
Folch

ASESORAMIENTO LINGÜÍSTICO
Virginia Fernández Nadal

DISEÑO Y MAQUETACIÓN
Montse López Baget

PROGRAMACIÓN
Francesc Bosch Ollé

ISBN 978-84-120284-7-8
IBIC AMD (ejercicio profesional)

© de esta edición, Fundación arquia, julio 2019
© de los textos, su autora
© del material gráfico, sus autores
© cubierta: Ilustración de Pol Montserrat

Con la colaboración de la Unión de arquitectos peritos y forenses de España, UAPFE-CSCAE.

PATRONATO
FUNDACIÓN ARQUIA

PRESIDENTE
Javier Navarro Martínez

VICEPRESIDENTE 1º
Federico Orellana Ortega

VICEPRESIDENTE 2º
Alberto Alonso Saezmiera

PATRONOS
Carlos Gómez Agustí
Sol Candela Alcover
Fernando Díaz-Pinés Mateo
Montserrat Nogués Teixidor
María Villar San Pío
José Antonio Martínez Llabrés
Naiara Montero Viar
Javier Ventura González

DIRECTOR
Gerardo García-Ventosa López

La edición de esta publicación ha sido patrocinada por Arquia Bank.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográfico) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra (*www.conlicencia.com*; 91 702 19 70 / 93 272 04 47).

arquia/e-temas 6

Guía tecnológica del arquitecto perito

Todo lo que no es medir es opinar

Débora Serrano García

fundación arquia

UNIÓN DE ARQUITECTOS
PERITOS Y FORENSES DE ESPAÑA

ÍNDICE

Prólogo 6
Biografía 8
Preámbulo 9
Introducción 10

1. DEFORMACIONES 16
1.1. Cinta láser 18
1.2. Niveles láser de interior y exterior 19
1.3. Inclinómetro digital 22
1.4. Galga 23
1.5. Pie de rey manual y digital 24
1.6. Plomada 26
1.7. Bola de acero 27
1.8. Topómetro 28
1.9. Fotogrametría 29
1.10. Límites de deformación en los elementos constructivos 30

2. ESTRUCTURAS 32
2.1. Tarjeta de fisuras 34
2.2. Tipos de testigos 35
2.3. Clasificación de los daños en edificios según Burland 36
2.4. Flexímetro de prueba de carga 37
2.5. Consideraciones generales de las flechas 38
2.6. Banda o galga extensiométrica 39
2.7. Extensómetro de cuerda vibrante 40
2.8. Esclerómetro o impactómetro 41
2.9. Pachómetro 43
2.10. Timolftaleína 45
2.11. Ensayos de laboratorio 46
2.12. Líquidos penetrantes 47
2.13. Ultrasonidos 48
2.14. Acelerómetro 50
2.15. Resistógrafo 52
2.16. Fluorescencia de Rayos X (XRF) 54

3. TERRENOS 56
3.1. Tomografía eléctrica 58
3.2. Georradar. *Ground Penetrating Radar (GPR)* 61
3.3. Penetrómetro estático 63
3.4. Sonda inclinométrica 65
3.5. Tubo piezométrico 66
3.6. Geófono de suelo 67
3.7. Medidor de pH 68
3.8. Ensayos de laboratorio 69

4. ENVOLVENTE 70
4.1. Pipeta 72
4.2. Endoscopio 74
4.3. Termómetro de infrarrojos 76
4.4. Cámara termográfica 77
4.5. *Blower door*. Test de infiltraciones de aire 80
4.6. Termoflujómetro. Sonda valor U 84
4.7. Medidor de espesor de pinturas 86
4.8. Multidetector de materiales 88
4.9. Humidímetro 89
4.10. Vitrómetro 90
4.11. Ensayo de adherencia 91

5. INSTALACIONES 92
5.1. Botes de humo 93
5.2. Manómetro 95
5.3. Caudalímetro 96
5.4. Polímetro o multímetro 97

6. AMBIENTE 98
6.1. Carta psicrométrica 100
6.2. Higrómetro 102
6.3. Luxómetro 103
6.4. Sonómetro 105
6.5. Termoanemómetro de molinete 109
6.6. Termoanemómetro de hilo caliente 110
6.7. Medidor de CO_2 111
6.8. Luz ultravioleta 113
6.9. Olfatómetro dinámico 114

Prólogo

Es sumamente reconfortante verificar, a través de la presente guía, la impresionante colección de cachivaches que permiten obtener medidas de casi todo. Es como el vademécum de los médicos.

El subtítulo del libro, «todo lo que no es medir es opinar», resulta muy acertado. En mi campo, el cálculo estructural, no es menos cierta. No vale hablar u opinar. Solo vale medir, lo que sobre papel en blanco sería calcular. Poco importa si razonas correctamente. Sin el respaldo de los números que corroboren lo que dices, piensas o intuyes, es inútil. Pero no sucede al revés. Por otro lado, los números por sí solos, si no son los adecuados, tampoco valen.

Algunos de los artilugios que aparecen en esta guía son increíblemente sencillos y potentes. Recuerdo la primera vez que vi esa tarjetita de plástico que, pegada a un vidrio colocado, permite comprobar su grosor. Sin cables ni pilas, sin romper ni taladrar nada. Quedé impresionado. Ingenioso. Excelente invento.

O el clásico pie de rey, que de una tacada permite medir grosores por fuera, anchos interiores o profundidades. Tres en uno. Simple y fiable. Ahora son digitales. Pero, en su día, el recurso de incorporar una escala de diez rayas en nueve intervalos (nonio) resultó sensacional. Permite medir más de lo que puedes ver.

O la bola de acero, que hace posible deducir hacia qué lado se inclina una superficie. Aunque hasta en eso lo digital ha permitido dar un salto de gigante. ¿Han probado con el móvil?

En el extremo opuesto, hay otros instrumentos que son un prodigio de técnica compleja para medir variables físicas escurridizas; artilugios cuya existencia no imaginabas, como la tomografía, el georradar o el olfatómetro.

No vale decir que algo está desplomado o abombado. Hay que añadir cuánto. Eso es medir. Y la medida es indiscutible.
Pero luego falta analizar las medidas. Las medidas por sí mismas no son concluyentes. Lo son de lo que pasa, de lo que no hay dudas, pero no de la trascendencia y significado de eso que ha pasado.
Un desplome de soporte de acero u hormigón puede no tener la importancia de un desplome menor en un muro de fábrica. Y en un muro de fábrica, un abombamiento (es decir, que no está recto, sino curvado), puede ser tan malo o peor que un desplome (que esté inclinado y no vertical). Una panza en una viga puede ser flecha, y acusar una deformación que haga sospechar un fallo de seguridad, o reflejar un simple defecto de encofrado.

Por muy bien que midas, los resultados deben interpretarse en su contexto y tener sentido. Si haces un levantamiento taquimétrico del suelo de un piso y las curvas de nivel no son congruentes con la posición de los soportes, puede que lo que tengas entre manos no sea flecha, sino un fallo de nivelación del pavimento. Las medidas tomadas deben ser los datos de entrada de un proceso analítico.

Pero, sin una buena colección de herramientas de medir, no sería posible siquiera empezar a analizar. Debemos congratularnos de disponer de esta cantidad y calidad de chismes que nos permiten poner valores a lo que buscamos.

Hay que agradecer muchísimo a la UAPFE (Unión de arquitectos peritos y forenses de España) el esfuerzo realizado en esta recopilación; así como a la Fundación Arquia por la publicación de la misma.

José Luis de Miguel
Catedrático emérito por la Universidad Politécnica de Madrid
Pozuelo, octubre de 2018

Biografía



Débora Serrano García (Madrid, 1977) es doctora arquitecta por la Universidad de Sevilla. Ha realizado un Máster en Peritación y Rehabilitación de edificios que la califica en su labor como termógrafa y mediadora en el ámbito civil de la arquitectura.

Ya desde su etapa estudiantil surge su interés en conocer cómo funcionan los edificios y sobre todo por qué surgen las patologías. Esto la lleva a fundar la empresa ARQUIGÉS, Arquitectura y Patología de la Construcción, en 2012 que se dedica al diagnóstico de la edificación como "médicos de edificios" y cuyo lema es "todo lo que no es medir es opinar".

En el ámbito colegial este interés por la patología la hizo inscribirse en la Agrupación de Arquitectos Peritos y Forenses del COAS el mimo día de su colegiación asumiendo posteriormente su Secretaría entre 2007 y 2013 y su Presidencia entre 2013 y 2016.

Su inquietud por esta materia la conduce a la especialización en este ámbito y para ello buscó formaciones específicas a la par que se empleaban las nuevas tecnologías para el diagnóstico de la edificación, es decir, se inició el camino en la compra, estudio y aplicación de equipos de medida aplicados a la edificación para obtener una información más objetiva del elemento de estudio. Actualmente sigue inmersa en este apasionante mundo cada vez más cambiante y en constante evolución.

Preámbulo

Desde el inicio de mi trayectoria profesional, he sentido inclinación por la edificación ya construida y especialmente por sus patologías. Durante los años en que he tenido el honor de pertenecer a la Junta Directiva de la agrupación de arquitectos peritos y forenses del Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla, he tomado mayor conciencia de las circunstancias en las que se desenvuelve el perito arquitecto como profesional en lo relativo a su formación y experiencia, los medios para el desarrollo de su actividad y su ulterior defensa ante un tribunal. Todo ello es fundamental para el desarrollo completo de nuestro trabajo y requiere un cierto grado de especialización.

En el campo de la toma de datos, ha sido fascinante ir descubriendo gran cantidad de herramientas que nos permiten pasar de una inspección organoléptica a un valor irrefutable y contrastable con repercusión directa en la calidad de un dictamen, la proporcionalidad de una propuesta de reparación y los argumentos a defender ante un juez.

De esta forma, se ha ido introduciendo en mi práctica profesional la frase de lord Kelvin «todo lo que no es medir es opinar», que ha abierto un amplio campo de recursos ante mí. Pero, al mismo tiempo, me ha exigido disciplina, estudio y dedicación (e inversión).

Esta guía pretende mostrar el abanico de posibilidades que los peritos tenemos a nuestro alcance. Nos muestra las herramientas y las técnicas que están a nuestra disposición para llevar a cabo el trabajo de arquitectos peritos sobre la base de datos objetivos.

Pero la labor que aquí se desarrolla es solo la primera piedra de otro mucho más ambicioso, que ha de incluir muchos más equipos, opiniones de los usuarios, vídeos sobre su manejo, informes que plasmen los resultados obtenidos e incluso sentencias judiciales que avalen el uso de estas tecnologías.

Se trata, por tanto, de un trabajo vivo que acaba de dar su primer paso. Aún le queda un largo camino para crecer y desarrollarse como una herramienta útil para aquellos que nos consideramos médicos de edificios.

Quiero agradecer a Pere González Nebreda que haya creído en mí y me haya brindado la oportunidad de hacer este trabajo; a Ricardo Huete por enseñarme el oficio de perito en el más amplio sentido de la palabra y por permitirme desarrollarme y crecer; a Israel Brioso, con quien he transitado durante los últimos años por la senda del aprendizaje mediante la investigación y el estudio de los edificios. Mi sincero agradecimiento a los muchos compañeros y amigos (que no nombro por motivos de espacio) que me han brindado su apoyo.

Débora Serrano García
Málaga, abril de 2018

Introducción

El objetivo con el que se escribe este libro es que pueda usarse a modo de manual y no como un libro de lectura al uso. En el mercado existen muchos equipos de diagnóstico que permiten evaluar el estado de las edificaciones; de todos ellos, se ha puesto especial hincapié en los equipos no destructivos o semidestructivos. Como criterio de selección, también se ha buscado identificar equipos que estén al alcance de todos los peritos, sin renunciar a incluir otros que requieren mayor especialización o son más costosos, pero que ofrecen una mayor precisión.

El contenido se ha estructurado en seis capítulos, según el elemento del edificio que se estudie, aunque todos están interrelacionados. Así, los equipos se han distribuido en los siguientes temas: deformaciones, estructuras, terrenos, envolventes, instalaciones y ambiente.

El capítulo **1. DEFORMACIONES** incluye los equipos que ayudan a medir las cualidades superficiales de los elementos, especialmente sus cualidades dimensionales y de posición.

En muchos casos, las deformaciones indican la existencia de problemas más profundos. Estos se abordan en el capítulo **2. ESTRUCTURAS**. Aquí se explica cómo medir y cuantificar las alteraciones en las estructuras, desde los casos más sencillos de medidas *in situ* hasta situaciones más complejas como la monitorización de estructuras patrimoniales, pasando por pruebas y ensayos para conocer las propiedades intrínsecas de las estructuras y poder valorar su capacidad para soportar las acciones a las que están sometidas.

Pero muchas veces encontramos deformaciones que tienen una relación directa con el comportamiento del subsuelo. Por este motivo, en el capítulo titulado **3. TERRENOS** se abordan las técnicas que proporcionan un conocimiento más preciso del único elemento cuyas características no podemos decidir, pues depende de su ubicación. Suele tratarse de técnicas y equipos más complejos que requieren mayores medios y conocimientos.

El capítulo **4. ENVOLVENTE** se centra en el análisis y la comprobación de las cualidades de los materiales de la envolvente, y se identifican sus propiedades y valores característicos, independientemente de que ello suponga o no una lesión.

Una parte fundamental de los edificios son las **5. INSTALACIONES**, a las que se les exige satisfacer necesidades cada vez más complejas. Ellas, más que otras partes de los edificios, requieren de equipos de medida para comprobar su correcto funcionamiento.

Por último, en el capítulo **6. AMBIENTE** se abordan aquellos aspectos no relacionados con un área concreta del edificio que aseguran las condiciones de confort y de calidad de vida. Aunque estas suelen recogerse en la documentación técnica o normativa, no son fácilmente justificables sin el aval de una prueba pericial que lo demuestre. Así, por ejemplo, es fácil identificar una mancha de humedad o una fisura, pero no es posible documentar con una foto si un recinto está excesivamente ventilado o es ruidoso.

Una vez identificado el ámbito de estudio dentro del edificio, debemos plantearnos qué equipo es el más adecuado para realizar el diagnóstico. Es habitual necesitar más de uno. Entonces hay que consultar varios capítulos, ya que se deberá, por un lado, parametrizar y cuantificar la lesión evidente, motivo por el que se han requerido nuestros servicios, y por otro lado, diagnosticar el origen de dicha lesión.

Al inicio de cada capítulo, se aborda su contenido más específico relacionado con el alcance de los equipos a emplear y la casuística en la que son recomendables. Se exponen también otros tipos de ensayos, como los de laboratorios, y tablas de referencia para ayudar a interpretar los resultados.

La exposición de cada uno de los equipos sigue el mismo esquema de análisis para que el manual sea fácil de interpretar. Vemos a continuación el esquema de la ficha tipo:

6.2. HIGRÓMETRO

●○○

Identificación del equipo

Grado de dificultad





Fotografía del equipo

APLICACIONES	Mide el grado de humedad del aire.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de medición: 0-100 % Precisión: ± 2,5 % Temperatura de trabajo: 4-46 ºC Registro de valores: máximo y mínimo
CALIBRACIÓN	Requiere calibración periódica.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 20 €
NORMATIVA	Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios. Tabla 1.4.4.4. Condiciones interiores de diseño.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Termómetro Anemómetro Barómetro Estación meteorológica Termohigrómetro con funciones psicrométricas. A partir de 650 € Cámara termográfica
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Es suficiente con encenderlo para que comience a registrar los parámetros de humedad ambiente.
UNIDADES	%
OTRAS CONSIDERACIONES	Conviene escoger un equipo que realice lecturas instantáneas y que no tarde en encontrar el equilibrio. Normalmente estos equipos no se venden con esta única función, sino que incorporan más valores ambientales.
APP	**Hygrometer**

Definición del equipo, usos, normativa, etc.

GRADO DE DIFICULTAD	●○○	Equipo básico. Las instrucciones de uso son sencillas y cualquier técnico puede emplearlo.
	●●○	Equipo avanzado. Su uso requiere un conocimiento más profundo tanto para manejarlo como para interpretar los resultados posteriormente.
	●●●	Equipo de experto. Se requiere una formación específica tanto para emplearlo como para elaborar e interpretar los datos resultantes.
APLICACIONES	Indica para qué se usa el instrumento, cuál es su utilidad, qué podemos medir con él.	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	En este apartado se especifican las características técnicas básicas a tener en cuenta al comprar un equipo, ya que existen muchos modelos en el mercado y no todos son de utilidad, unos por exceso y otros por defecto.	
CALIBRACIÓN	Los equipos deben estar calibrados al comprarlos, pero con el tiempo suelen necesitar una revisión. Algunos no necesitan calibrarse nunca, como la galga. Otros llevan integrados dispositivos de autocalibrado, como el inclinómetro digital. También hay equipos que requieren la calibración periódica de un laboratorio acreditado para poder emplear sus resultados de forma oficial, como el sonómetro.	
RANGO DE PRECIOS	Como el mercado es amplísimo, se consideran las características técnicas mínimas que debe tener un equipo y se dan referencias de las casas comerciales suministradoras para alcanzar un valor de referencia objetivo entre un precio competitivo y unas prestaciones mínimas.	
NORMATIVA	En este apartado se consideran las normativas que contemplan el uso de los equipos o que marcan los límites de los valores resultantes. Por ejemplo, los luxes mínimos necesarios en el plano de trabajo. Se han tenido en cuenta el Código Técnico de la Edificación, las Normas Tecnológicas de la Edificación, las Normas UNE, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, manuales, etc.	

EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Se exponen los equipos que complementan a otro para abrir el campo de estudio, que aportan más información o incluso que facilitan el trabajo con el equipo del que se trata.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Exposición práctica de cómo se usa el equipo para obtener un valor. También se considera si se requiere algún preparativo previo a la medición. Se siguen los pasos básicos para utilizar todos los equipos y se ofrecen recomendaciones prácticas a tener en cuenta antes de iniciar la medición, durante el proceso y después. Todo ello se expone en un lenguaje coloquial, al menos en el caso de los equipos básicos.
UNIDADES	Todos los equipos expresan un resultado, aunque sea adimensional. Muchos de ellos realizan múltiples lecturas que deben expresarse en las unidades correspondientes. Esta información también es útil cuando se busca un equipo que mida un determinado valor, pues permite verificar de forma rápida si un equipo es el adecuado.
OTRAS CONSIDERACIONES	Se recogen recomendaciones a las que se ha llegado a partir de la práctica, que pueden evitar errores o permitir alcanzar mejores resultados.
APP	Muchos equipos que se incluyen en este manual tienen su reflejo en aplicaciones que se pueden instalar en el móvil. Una buena parte de ellas resultan tan válidas como un equipo específico; por ejemplo, la aplicación del endoscopio, que graba fotos y vídeos. Otras son simples *gadgets* para tomar una medida informal que permita decidir si conviene realizar pruebas más específicas; es el caso del sonómetro.

No todos los equipos requieren información relativa a cada uno de los apartados, por lo que no se incluyen los que no resultan pertinentes. Tal es el caso de los equipos más simples, como, por ejemplo, la bola de acero.

Como consideraciones generales para todos los equipos, se indican las siguientes rutinas:

- Comprobar el funcionamiento de los equipos en el despacho antes de su uso: baterías, buen estado de todas las piezas y equipos complementarios, tarjeta de memoria, etc.

- Aunque la calibración no sea obligatoria, periódicamente se deben comprobar los valores de medición del equipo por contraste con un valor conocido, como mínimo.

- Hay que planificar la inspección: qué elementos se van a medir y en qué orden.

- De regreso en el despacho, se debe descargar toda la información, escanear la documentación en soporte papel y recargar baterías si es necesario.

1. DEFORMACIONES

En este capítulo se van a abordar cuestiones muy básicas relativas a la posición de los diferentes elementos constructivos, desde un elemento estructural hasta un revestimiento.

Los instrumentos aquí presentados permiten tanto llevar a cabo un sencillo plan de control de calidad de materiales como identificar elementos que incumplen la normativa, al margen de que haya o no una lesión.

Se incluyen equipos que ayudan a medir distancias, superficies y volúmenes. A partir de la lectura de múltiples puntos, es posible obtener planos topográficos, identificar líneas de máxima pendiente y cuantificar su valor.

Incluso se pueden hacer restituciones fotogramétricas de superficies (trasladar una imagen fotográfica a un plano ortogonal con proporciones reales X,Y) y medir valores reales sobre una imagen.

Al final de capítulo, también se incluyen unas tablas con los límites de deformación, que indican, para el caso de revestimientos y cerramientos, si los valores medidos son aceptables, y así proporcionan un marco y ayudan a interpretar los resultados.

Estos son algunos ejemplos del empleo de los equipos en el caso de las deformaciones:

- Abombamientos en el pavimento de una vivienda unifamiliar.

  Con una bola de acero, se obtienen las líneas de máxima pendiente; con el inclinómetro, se aprecia si esa inclinación es significativa de acuerdo con los límites de deformación admisibles. Hay que determinar si existen fisuras, humedades u otras lesiones o si es solo una cuestión estética. Si existe una afección estructural, conviene realizar un plano de nivelación de la planta que indique los movimientos y cruzarlos con los datos obtenidos en el levantamiento de fisuras. En el caso expuesto, el resultado fue una red de saneamiento oculta que vertía agua al terreno y provocaba asientos, con un punto de máximo hundimiento en la arqueta.

- Progresiva abertura de una junta estructural en un edificio de oficinas.

  Una vez identificadas las características constructivas de la edificación, se tomaron medidas a un lado y otro de la junta con el inclinómetro. Se apreció que una parte estaba horizontal, pero la otra sufría una inclinación mayor que una deformación admisible. El edificio no tenía fisuras, pero la losa de cimentación compartida se estaba agrietando. Se comprobó la fachada y se detectó un desplome hacia el exterior. La losa se estaba deformando en la zona que soportaba más carga.

- Anomalías detectadas por los propietarios de un piso en proceso de reforma.

  Con la regla y la galga, se comprobó la falta de planeidad de los enlucidos en las paredes; con el pie de rey, se midieron espesores diferentes a los contratados. La nivelación permitió apreciar una inclinación del pavimento.

  Todas las deformaciones superaban las tolerancias admisibles. Los propietarios decidieron acudir al asesor jurídico con esta información.

- Levantamiento de un inmueble patrimonial.

  Con la cinta láser, se realizó un levantamiento por triangulación. Se restituyeron los alzados a través de fotogrametría. Así se consiguió dibujar un elemento muy heterogéneo y con muchos detalles midiendo a una escala 1:1 y con una posición inequívoca.

1.1. CINTA LÁSER

APLICACIONES	Mide la distancia entre dos puntos, superficies (áreas) y alturas (ángulos y volúmenes). Se utiliza para realizar levantamientos y replanteos, comprobar documentación gráfica y medir alturas.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Alimentación: baterías (25.000 lecturas) Medición: hasta 100 m Precisión: ± 1,5 mm Tiempo de medición: ≈1s Memoria: 50 lecturas Transmisión de datos: Bluetooth / micro-USB
RANGO DE PRECIOS	A partir de 150 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Nivel láser Inclinómetro
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Una vez encendido el equipo, se debe seleccionar si se quiere medir distancias, áreas, volúmenes o alturas. Los equipos disponen de un rayo láser para identificar con claridad el punto que se mide. También suelen disponer de memoria de las últimas medidas tomadas. Si lo que se necesita es replantear un elemento que se repite siempre a la misma distancia, se debe seleccionar la opción en el equipo e introducir el valor requerido. En pantalla se muestra el desfase real en relación con el valor establecido. Entonces se decide si la desviación es tolerable o no.
UNIDADES	El resultado se expresa en metros con una precisión de milímetros para el caso de las distancias, en metros cuadrados para las superficies y en metros cúbicos en el caso de las áreas.
OTRAS CONSIDERACIONES	Hay que tener en cuenta desde dónde está midiendo el equipo, así como su tamaño y si es posible medir desde su base. Existen modelos con una patilla que ayuda a ajustar el equipo a las esquinas para medir diagonales incluyendo su distancia.
APP	**Telémetro.** Mide de forma aproximada distancias y alturas mediante la cámara y los sensores del móvil.



1.2. NIVELES LÁSER DE INTERIOR Y EXTERIOR ●○○

APLICACIONES	Establece haces de luz láser horizontal y vertical que permite medir distancias desde el nivel del haz hasta el plano de apoyo, ya sean suelos, techos o paramentos verticales. Se pueden medir desplomes en muros o cerramientos, y comprobar si están a nivel las estructuras, los planos de solería, etc. El uso en exteriores incorpora una señal acústica y un receptor que se acopla a la regla para comprobar acerados y otros elementos. Es importante tener en cuenta que la deformación no implica que exista movimiento (véase el apartado «Otras consideraciones».
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Alimentación: baterías El equipo incorpora un sistema autonivelante. Haz láser horizontal (fijo por tramos o rotativo 360º) y vertical Precisión: ± 3 mm Alcance: 300 m
RANGO DE PRECIOS	Nivel láser de interiores: a partir de 150 € Nivel láser de exteriores: a partir de 900 € Mira telescópica graduada: a partir de 80 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Trípode con patas antideslizantes Mira telescópica graduada Gafas de infrarrojos
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	**Deformaciones sobre el plano de apoyo en interiores:** Se deben ajustar las patas del trípode y colocarlas correctamente con ayuda de la burbuja de nivelación. El nivel láser cuenta con un nivel de burbuja para realizar una nivelación manual, pero la mayor parte de ellos incorpora un sistema autonivelante siempre y cuando el equipo se coloque con menos de un cinco por ciento de pendiente (puede variar según el modelo). Si el equipo no está nivelado, el rayo láser parpadea.





PROTOCOLO DE MEDICIÓN

Hay que determinar la cantidad de puntos a medir y su posición para decidir dónde situar el punto base del nivel láser que proyectará un haz de luz horizontal. Es importante tener en cuenta los obstáculos, como pilares y coches en los garajes o la tabiquería. El punto donde se sitúe el nivel láser se marca como ±0,0 en la regla. Una vez empezada la medición, se toman las medidas que marque el láser sobre la regla según su apoyo en el suelo, con su signo + o –, y se va anotando su posición en el plano. Si es necesario mover el nivel láser para seguir la medición, se deben marcar líneas de referencia sobre los paramentos. Estas servirán para colocar el equipo a la misma altura al situarlo en su nueva posición. De esta forma, el nivel ±0,0 se mantiene para todo el plano.

Si el desnivel en el plano de medición es muy acusado (también puede ocurrir en exteriores), quizás no sea posible mantener el nivel ±0,0 para toda la superficie y haya que establecer saltos entre un punto base y otro. Ello requerirá un posterior ajuste en el volcado de datos.

El equipo también emite un láser vertical útil para medir desplomes desde cualquier altura.

Deformaciones sobre el plano de apoyo en exteriores:

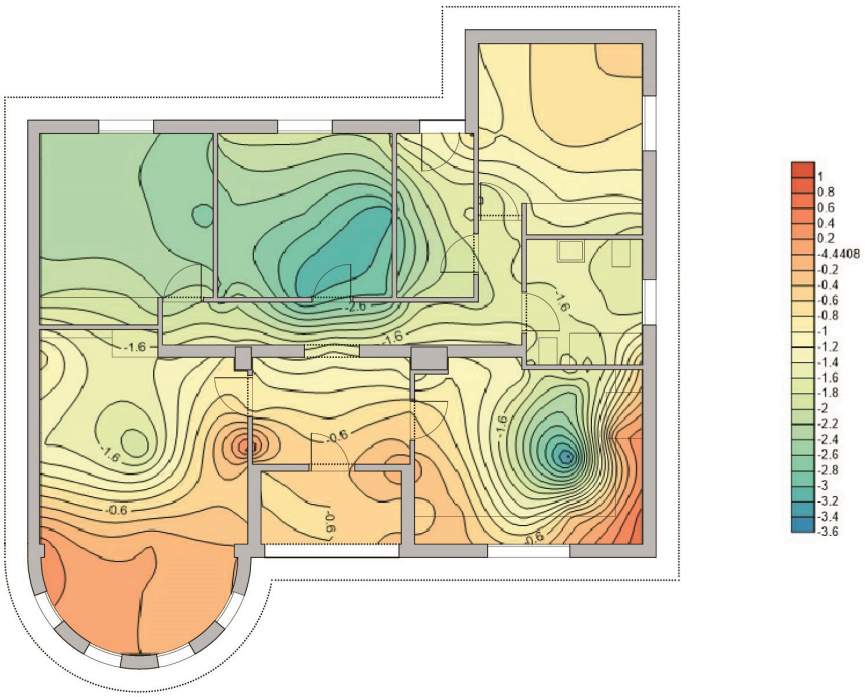
En exteriores, hay que usar gafas para poder identificar el rayo láser. Los equipos láser de exteriores suelen incorporar un haz de 360º y un emisor que se conecta a un receptor acoplado a la regla. Este identifica digital y acústicamente el láser para facilitar la medición.

Desplomes:

Para medir desplomes, se usa el láser vertical. Se deben identificar el valor 0 donde el láser y el paramento se cruzan y la atura donde se va a medir la separación del paramento. Estos son los dos parámetros fundamentales.

Trabajo de gabinete: ● ● ○

Ya en el estudio, se vuelcan los datos en el ordenador. Primero en AutoCad para establecer una polilínea que recorra todos los puntos de medición e identifique uno de ellos como 0.00,0.00. Se exportan a Excel las coordenadas X-Y y se completa la información de la tabla con la coordenada Z, valor obtenido en la medición de campo. Esta base de datos se exporta al programa Surfer, que transforma la tabla en un plano topográfico. En él se marcan la escala y la separación entre las curvas de nivel. También es posible obtener la volumetría marcando una escala diferente para el eje Z o distintas secciones representativas.



UNIDADES	En interiores y desplomes, se mide en 0,0 mm; en exteriores, en centímetros.
OTRAS CONSIDERACIONES	Al medir, hay que tener en cuenta que se ignora cómo se construyó. Puede servir como referencia para futuras mediciones, por ejemplo, para apoyar el diagnóstico sobre el posible origen (flecha, asiento) de fisuras, grietas, etc. Se desconoce la nivelación inicial. En la construcción, las diferencias de cota suelan ser de ±1 cm. Téngase en cuenta que flecha no es la forma de un forjado, sino el cambio de forma ante un incremento de carga. Si no se mide lo que pasa al añadir carga, no se puede hablar de flecha.
APP	**Bosch Toolbox.** Colección de herramientas digitales profesionales.

1.3. INCLINÓMETRO DIGITAL



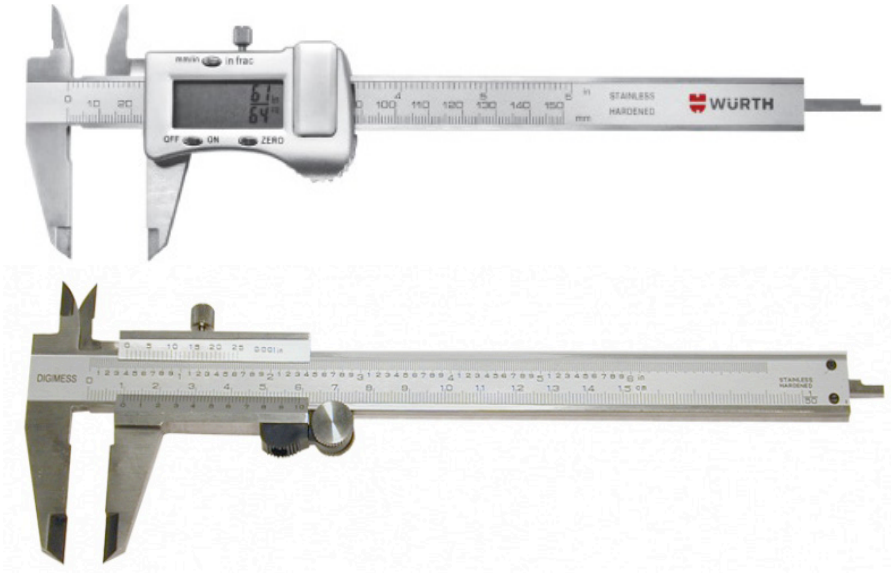
APLICACIONES	Mide la verticalidad de pilares metálicos u otros elementos verticales y la horizontalidad de elementos horizontales en general; por ejemplo, pavimentos.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Medición: de 0 a 90º Plano de calibración a 0 (entre 0º y 33º) Carcasa magnética y adaptador para colocar en el trípode Rayo láser visible para ampliar el rango de trabajo Iluminación de pantalla y congelación de la medición
CALIBRACIÓN	El equipo incorpora un protocolo de autocalibración.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 30 € (los más básicos)
NORMATIVA	Normas tecnológicas; control de ejecución
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Reglas de 1, 2 y 3 m **Clinómetro.** Equipo que se mantiene fijo en el punto de medición para monitorizar la inclinación de los muros u otros elementos. Puede estar enterrado o sumergido.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Para medir elementos metálicos, basta colocar el inclinómetro sobre el perfil. Si lo que se pretende es identificar la planeidad de un paramento, como un suelo o una pared, hay que utilizar una regla para absorber las posibles irregularidades y conseguir una línea de medición significativa. El resultado es inmediato; también se detecta hacia qué lado se produce la inclinación.
UNIDADES	Grados (º) y porcentajes (%) Precisión: 0,00
OTRAS CONSIDERACIONES	Si fallan las pilas o da error de medición, es posible obtener la pendiente con un nivel de burbuja tradicional, una regla de 1 m como mínimo y una galga. La inclinación de un soporte de acero u hormigón aislado no reviste ninguna relevancia. Pero sí puede tenerla la del conjunto de ellos, el promedio. Y casi siempre es importante en el caso de muros de carga.
APP	**Inclinometer.** Mide pendientes respecto a la vertical y la horizontal.

1.4. GALGA



APLICACIONES	Mide la concavidad y la convexidad de los paramentos, así como la holgura de las puertas.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Cuña de acero inoxidable con graduación grabada en láser en su cara Rango de medición: de 1 a 15 mm Precisión: 0,1 mm
RANGO DE PRECIOS	A partir de 20 €
NORMATIVA	Normas tecnológicas; control de ejecución
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Reglas de 1, 2 y 3 m Galga de espesores de abanico para procesos industriales
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Junto con una regla apoyada en el paramento, mide el espacio entre ambos. Por ejemplo, sobre una superficie enlucida, se pasa la regla por una superficie para comprobar su planeidad. Si la regla no se adapta al plano, se coloca la galga en el punto de máxima separación entre la regla y el plano para determinar la deformación. La graduación de la galga indica el valor de la deformación.
UNIDADES	0,0 mm
OTRAS CONSIDERACIONES	Se pueden medir paramentos cóncavos en el centro de la regla y paramentos convexos en su extremo.

1.5. PIE DE REY MANUAL Y DIGITAL



APLICACIONES	Mide testigos de fisuras y espesores tanto interiores (tuberías, juntas, etc.) como exteriores (armaduras, vidrios, etc.) de diversos elementos. La barra de profundidad permite medir la profundidad de una fisura o grieta.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de medición: de 0 a 200 mm (depende del modelo) Pie de rey digital: Precisión de la medición: ± 0,03 mm Pantalla LCD
CALIBRACIÓN	Normalizada según la DIN 862
RANGO DE PRECIOS	Pie de rey manual: a partir de 25 € Pie de rey digital: a partir de 45 € Pie de rey digital de instalación fija: a partir de 500 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Tacos con tornillos y tubos de metacrilato para hacer testigos. Martillo percutor para taladrar el paramento.
APP	**Smart Rule.** Muestra una pequeña regla en la pantalla; se coloca el objeto a medir y una guía permite conocer la medida exacta.

PROTOCOLO DE MEDICIÓN	**Colocación y medición de testigos** En primer lugar, hay que identificar una o varias grietas significativas. Se sitúan los tornillos sobre una parte sana del paramento a ambos lados de la grieta sobre la que se desee colocar el testigo. Es importante comprobar que los tornillos no se ubiquen a una distancia que supere la capacidad de apertura del pie de rey. Se taladra el paramento con el percutor, se introduce el taco, se pasa el tornillo por el tubo de metacrilato y, por último, se lo atornilla a la pared. Se ponen dos tornillos a un lado de la grieta y uno al otro formando un triángulo. En una tabla, se indican la fecha de medición, la distancia entre los tornillos y, a partir de la segunda medición, las medidas relativas en caso de que se haya producido movimiento. Se procede a medir ajustando el pie de rey entre dos tornillos. Es conveniente que la misma persona realice todas las mediciones para que no varíe la fuerza al apretar. 
UNIDADES	0,00 cm
OTRAS CONSIDERACIONES	Su nivel de precisión habitual es el nonio (n-1), con una mínima desviación de décimas de milímetro (0,00 cm). El nonio (la subescala de diez elementos ubicada en la parte inferior del pie de rey) no es un elemento estándar; cada calibre puede variar. Por ese motivo el nonio no tiene un valor fijo, a pesar del valor de precisión que ofrece.

1.6. PLOMADA





APLICACIONES	Mide desplomes y controla la verticalidad de los elementos.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Pesa de plomo (o de otro metal, como aluminio, acero o latón) de forma cilíndrica o cónica. Carrete (llamado nuez) de madera, metal o metal imantado, del mismo espesor que la pesa y con un orificio en el centro. Cuerda de nailon que pasa por el orificio de la nuez para unir la pesa.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 5 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Cinta métrica Inclinómetro digital Nivel láser
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Para comprobar la verticalidad de un muro o un pilar, por ejemplo, se fija la nuez al soporte y se deja libre la plomada que pende de la cuerda hasta que encuentre su equilibrio. Hay que conocer la longitud de la cuerda, ya que este valor es tan importante como la separación del paramento. Se mide desde el paramento hasta la cuerda que sujeta la plomada, no hasta la punta de la pieza. Cuanto mayor sea la longitud de la cuerda, menores son las posibilidades de error. Para medir el desplome, se descuenta el radio de la pesa y se pone en relación con la altura de la cuerda.
UNIDADES	0,0 cm/m y porcentajes (%). El desplome se expresa con una precisión de milímetros en horizontal respecto a una altura total de la medición en metros.
OTRAS CONSIDERACIONES	El peso de la plomada debe estar relacionado con la altura a medir. A mayor altura, mayor peso, ya que el viento puede mover la plomada. Hay que tomar la precaución de no tocar la cuerda que une las piezas para no alterar la medición.
APP	**Plomada +.** Comprueba alineaciones verticales y horizontales.

1.7. BOLA DE ACERO



APLICACIONES	Comprueba inclinaciones en el pavimento e identifica las líneas de máxima pendiente.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Bola metálica o canica de cristal con Ø>20 mm
RANGO DE PRECIOS	A partir de 2 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Inclinómetro
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se colocan en varios puntos del recinto en los que se aprecie una mayor altura y se dejan correr para identificar los puntos más bajos y las líneas de máxima pendiente.

1.8. TOPÓMETRO

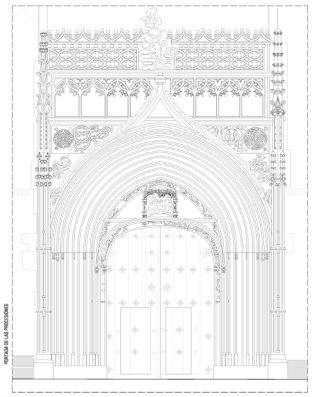


APLICACIONES	Mide distancias en superficies planas.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de medición: 9.999,99 m Precisión: ± 0,1 % Rueda: circunferencia de 1 m Material de la rueda: plástico Altura: 1,40 m Pantalla de lectura con contador de puesta a 0
RANGO DE PRECIOS	A partir de 30 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Telémetro. Mide las distancias sobre superficies inclinadas.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se pone el lector a 0 en el punto de inicio de la medición y se recorre la distancia a medir sin levantar el equipo del suelo.
UNIDADES	0,00 m
APP	**Google maps.** Calcula la distancia a pie entre dos puntos.

1.9. FOTOGRAMETRÍA

APLICACIONES	Convierte las fotografías con perspectiva en planos ortogonales a escala. Permite medir sobre la foto o copiar detalles.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Cámara de fotos con buena resolución **Programa ASRix.** Descargable en https://es.freedownloadmanager.org/Windows-PC/ASRix.html
CALIBRACIÓN	Se toma una imagen de una cuadrícula calibrada de dimensiones conocidas y se la introduce en el *software* junto con los datos de la cámara. Luego se transforma la perspectiva en un plano de dos dimensiones (solo es necesario hacerlo la primera vez).
RANGO DE PRECIOS	La cámara del móvil es apta. El *software* ASRix es de descarga gratuita; otros son de pago.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**PhotoModeller.** http://www.photomodeler.com/index.htm **Trimble.** Captura de características SIG para replanteos de construcción; fotogrametría en dos y tres dimensiones a través de nubes de puntos. Cinta láser
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Para garantizar una correcta conversión de la imagen, es conveniente calibrar la cámara que se va a emplear. El elemento a restituir debe estar en un único plano, y hay que tomar al menos cuatro medidas lo más alejadas posible; mejor en los extremos. Se debe conocer la posición X,Y real de esos cuatro puntos e identificarlos claramente en la foto (una esquina, una señal, una marca que se coloque, etc.). Se introduce la imagen en el *software* y se identifican los cuatro puntos con sus coordinadas reales X,Y. S e indica «restituir» y el plano seleccionado se presenta ortogonal. Se guarda la imagen. Se la puede insertar en Cad u otros programas. Se la escala y es posible dibujar directamente sobre ella.
UNIDADES	0,00 m
OTRAS CONSIDERACIONES	Campo en expansión; no hay límites.
APP	**Pix4D mapper capture** y **DroneDeploy.** Necesitan conectarse a un dron para capturar la imagen.





1.10. LÍMITES DE DEFORMACIÓN EN LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Se toma la distancia en centímetros del elemento al punto de referencia para las tolerancias de posición, y la longitud en metros de la regla de comprobación para las tolerancias de planeidad y verticalidad. Las tolerancias se expresan en milímetros.

DIMENSIONES DE LA REGLA	
Enlucidos y enfoscados en paramentos y techos	1 m
Alicatados	2 m
Revestimientos de suelos y escaleras	2 m

REVESTIMIENTOS			
PARAMENTOS VERTICALES			
ALICATADOS Y CHAPADOS	Paralelismo de las juntas	+- 0,1 % L	
	Planeidad	+- 0,1 % L	
	Desplome	+- 0,1 % L	
ENFOSCADOS Y ENLUCIDOS	Planeidad	Maestreados	+- 0,3 % L
		Sin maestrear	+- 0,5 % L
SUELOS			
TERRAZOS Y BALDOSAS	Planeidad	+- 0,2 % L	
INDUSTRIALES	Planeidad	+- 0,15 % L	
LAMINADOS Y MOQUETAS	Planeidad	+- 0,2 % L	
ENTARIMADOS	Posición de los rastreles	+- 10 mm	
	Juntas entre las tablas	+- 5 mm	
	Planeidad	+- 0,1 % L	
TECHOS			
CONTINUOS	Planeidad	+- 0,3 % L	
PLACAS	Planeidad	+- 0,2 % L	
	Nivelación del techo	+- 0,5 % L	

CERRAMIENTOS			
FÁBRICAS			
BLOQUES	Posición	+- 0,1 % L No >+- 5 mm	
	Horizontalidad	+- 0,2 % L	
	Desplome	+- 10 mm por planta	
	Planeidad	+- 0,5 % L	
LADRILLO	Posición	+- 10 mm entre ejes parciales	
		+- 20 mm entre ejes extremos	
	Horizontalidad	+- 0,2 % L	
	Desplome	+- 10 mm por planta	
	Planeidad	+- 0,5 % L con revestimiento	
		+- 0,2 % L sin revestimiento	
PARTICIONES			
LADRILLO	Posición	+- 20 mm	
	Desplome	+- 10 mm por planta	
	Planeidad	+- 0,5 % L	
PANELES Y PLACAS	Posición	+- 20 mm	
	Desplome	+- 5 mm por planta	
	Planeidad	+- 0,2 % L	
MAMPARAS	Posición	+- 20 mm	
	Desplome	+- 5 mm por planta	
CARPINTERÍA			
EXTERIOR	Posición	+- 2 mm	
	Desplome	Carpintería metálica	+- 0,2 % L
		Carpintería de madera	+- 0,4 % L
INTERIOR	Desplome	+- 2 mm	
	Holgura con solado	Abatible	- 2 mm + 4 mm
		Corredera	- 8 mm + 12 mm

2. ESTRUCTURAS

Parametrizar las lesiones en un elemento estructural puede tener diferentes alcances, desde una lectura somera hasta ensayos semidestructivos, pasando por una monitorización de los movimientos o excitación de los elementos para obtener una respuesta.

Según la gravedad de las lesiones y la importancia del edificio, se emplean unas u otras técnicas.

En los casos más habituales, lo primero es comprobar la posición y el tamaño de las fisuras. Luego puede ser necesario realizar un control y seguimiento de estas a través de testigos o incluso de galgas extensiométricas, si se trata de un edificio de alto valor patrimonial.

Para comprobar la resistencia de los hormigones, se saca un testigo (o varios). Pero si es preciso extender el estudio, es posible apoyarse en el esclerómetro, que no es destructivo y permite relacionar el resultado de la probeta en el laboratorio con el muestreo obtenido *in situ*. Si además se lo complementa con el pachómetro, se pueden identificar las armaduras y extraer testigos sin romperlas. El pachómetro sirve para detectar todos los elementos metálicos ocultos. Conviene aprovechar la probeta extraída para hacer una prueba con la timolftaleína, y comprobar el pH del hormigón y el alcance de la carbonatación.

Pero las estructuras no son solo de hormigón; es posible comprobar la calidad de las soldaduras metálicas con líquidos penetrantes y la resistencia de la madera con el resistógrafo.

Los ultrasonidos y los acelerómetros son equipos muy versátiles para muchos tipos estructurales, aunque requieren un mayor grado de conocimientos y no son económicos. Los acelerómetros pueden parametrizar edificios completos y, a través de *software*, identifican anomalías y futuras lesiones; incluso simulan los modos de vibración ante un sismo.

Este capítulo incluye una clasificación de grietas y fisuras para evaluar el alcance del daño, desde los inapreciables hasta los muy severos que entrañan riesgo de colapso.

A continuación se presentan algunos ejemplos del empleo de los equipos en las estructuras:

- Vivienda con fisuras horizontales en los pilares.

  El edificio presentaba graves grietas en la tabiquería y se detectaron fisuras horizontales en los pilares, pero la situación de entremedianeras de la casa eliminaba, en este caso concreto, el riesgo de colapso. Tras realizar un levantamiento exhaustivo de las grietas y fisuras, se colocaron testigos de tornillo que se medían periódicamente con el pie de rey.

- Edificio patrimonial con grietas verticales en las columnas.

  Tras apuntalar el pilar afectado, los testigos extraídos revelaron que la carga que soportaban estaba en el límite de resistencia del material. Para sustituir las piezas del pilar, se insertaron galgas extensiométricas que permitieron medir la deformación de las diferentes piezas en tiempo real.

- Edificio residencial en la costa con fisuras verticales y horizontales.

  La visita de inspección determinó que las fisuras se correspondían con las armaduras de las vigas y pilares en su cara expuesta a fachada, en las que había empezado un proceso de corrosión. Se planteó una campaña de reconocimiento: se extrajeron testigos, se leyó la totalidad de la estructura del edificio con pachómetro y esclerómetro y se contrastaron todos los datos. Con la timolftaleína, se comprobó el grado de carbonatación de los testigos extraídos. A partir de todos esos datos, se plantearon un proyecto de reparación ajustado a la realidad y un plan de mantenimiento.

2.1. TARJETA DE FISURAS

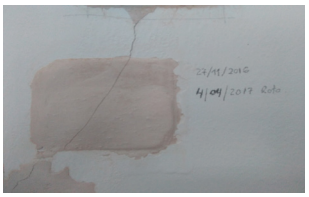


APLICACIONES	Mide el espesor de fisuras y grietas, así como la falta de planeidad entre los labios de la abertura. También indica la existencia de giros.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Tarjeta plástica rígida con el borde transparente y graduada
RANGO DE PRECIOS	A partir de 6 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Pie de rey
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se coloca la tarjeta sobre la fisura o grieta a medir hasta que una de las marcas del contorno se corresponda. Para elaborar un mapa de fisuras, es preciso reflejar en los planos y en perspectivas esquemáticas la posición de las fisuras y grietas, su espesor máximo y mínimo, su longitud, si los labios son coplanarios o no, la profundidad e incluso el aspecto de antigüedad, así como cualquier otro elemento significativo que se identifque.
UNIDADES	0,05 mm – 5 cm
OTRAS CONSIDERACIONES	Comparar con las tablas de Little John y Burland. Los testigos deben ser fechados.

2.2. TIPOS DE TESTIGOS

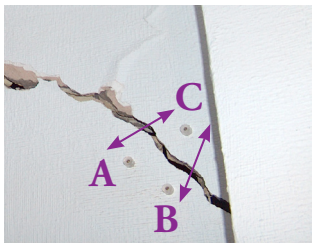
TESTIGO DE YESO

COLOCACIÓN	Sobre una fisura o grieta identificada como significativa, se coloca una fina capa de yeso y se anota la fecha de colocación.
LECTURA	Una vez roto el testigo, se anota la fecha de rotura.



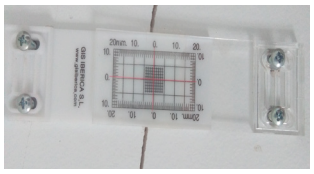
TESTIGO DE TORNILLOS

COLOCACIÓN	Se colocan tres tornillos, dos a un lado de la grieta y uno al otro, en forma de triángulo. Se deben poner con tacos y en una zona sana del paramento. La parte superior del tornillo debe ser lisa o protegerse con un cilindro liso.
LECTURA	Se miden las distancias AC y BC con un pie de rey.



TESTIGO FISURÓMETRO

COLOCACIÓN	Para la lectura inicial, el testigo, formado por dos piezas, debe quedar colocado en los ejes 0.
LECTURA	Se realiza la lectura sobre los ejes para detectar si ha habido movimiento.



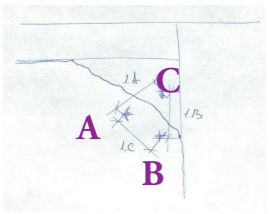
Las lecturas deben ser periódicas, según el origen y la gravedad de los daños, y deben recogerse en una ficha de control.

FICHA DE CONTROL DE TESTIGOS

Testigo 1

Recinto 3

Salón con escalera





Fecha de control		Valores de referencia		Movimiento		
		AC	BC	Relativo AC	Relativo BC	Real
1	22/10/2014	11,25 cm	11,00 cm	-	-	-
2	11/11/2014	11,25 cm	11,06 cm	0,00 cm	0,06 cm	No
3	30/12/2014	11,26 cm	11,00 cm	0,01 cm	0,00 cm	No
4	06/07/2015	11,36 cm	11,22 cm	0, 11 cm	0,22 cm	Sí
5	16/12/2015	11,39 cm	11,28 cm	0,14 cm	0,28 cm	Sí
6	24/10/2016	11,46 cm	11,40 cm	0,21 cm	0,40 cm	Sí
7	27/09/2017	11,46 cm	11,44 cm	0,21 cm	0,44 cm	Sí

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN EDIFICIOS SEGÚN BURLAND

CATEGORÍA DE LOS DAÑOS	CLASES DE DAÑOS	DESCRIPCION DE LOS DAÑOS	ANCHURA DE LAS GRIETAS (mm)*
0	Inapreciables	Fisuras casi imperceptibles.	< 0,1
1	Muy leves	Grietas finas fácilmente reparables con pintura y decoración normal; ocasionalmente, grietas mayores. Grietas en fachadas o muros de carga visibles en una inspección cuidadosa.	< 1,0
2	Leves	Grietas que se pueden rellenar sin problemas. Grietas recurrentes que pueden taparse con tratamientos específicos. Fracturas ligeras en el interior de los edificios y visibles en el exterior. Las puertas y ventanas cierran con dificultad.	< 5,0
3	Moderados	La reparación de las grietas supone trabajos importantes; se deben picar y rellenar con mortero, tanto en el interior como en el exterior. Las puertas y ventanas cierran con dificultad. La utilización del edificio debe interrumpirse hasta la reparación.	5 a 15 (muchas grietas con abertura superior a 3 mm)
4	Severos	Intensas reparaciones en los tabiques. Distorsión en los marcos, por lo que las puertas y las ventanas no cierran y los suelos tienen apreciables inclinaciones. En algunos casos, pérdida de la resistencia de las vigas. El edificio debe ser desalojado.	15 a 25
5	Muy severos	La reparación puede suponer la reconstrucción parcial o completa del edificio. Las grietas afectan la estructura; las vigas han perdido carga; las paredes inclinadas requieren apeos; se rompen los marcos de las ventanas. Riesgo de inestabilidades. Peligro de colapso.	25.0

* El ancho de las grietas solo es un factor para asignar la categoría del daño; no debe usarse como una medida directa de este. Se deben tener en cuenta otros factores y condicionantes para establecer su alcance.

RELACIÓN DE LAS CATEGORÍAS CON EL GRADO DE AFECCIÓN	
0, 1 y 2	Daños que afectan el componente estético del edificio.
3 y 4	Daños que afectan la funcionalidad y el estado de servicio del edificio.
5	Daños que representan una amenaza inminente para la estabilidad del edificio.

2.4. FLEXÍMETRO DE PRUEBA DE CARGA



APLICACIONES	Mide puntualmente los desplazamientos de una estructura al someterla a una prueba de carga. El micrómetro de alta sensibilidad permite medir la deformación de una estructura sometida a flexión.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Reloj micrométrico montado sobre soportes y con ganchos Precisión: ± 1/100 mm Extensión: 30 mm
CALIBRACIÓN	Requiere calibración anual
NORMATIVA	EHE 08, art. 50. Estado límite de la deformación CTE DB SE 4.3.3. Deformaciones
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Nivel láser
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	El flexímetro se conecta a la estructura por medio de un cable anclado al suelo, al techo o a un andamio con un hilo de invar y una plomada de contrapeso de 200 g. El flexímetro se pone en carga y, una vez iniciada la prueba de carga, se van registrando las variaciones de deformación en función de la carga aplicada.
UNIDADES	0,00 mm
OTRAS CONSIDERACIONES	Se recomienda realizar la prueba a través de un laboratorio acreditado.

2.5. CONSIDERACIONES GENERALES DE LAS FLECHAS

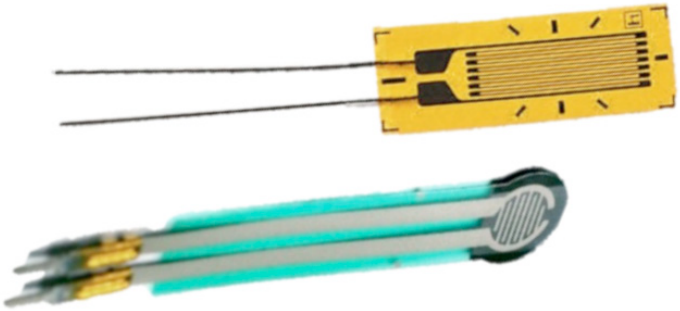
El estado límite de deformación es un estado de servicio que se satisface si los movimientos (flechas o giros) en la estructura son menores que unos valores límites máximos. El estudio de las deformaciones debe realizarse para las condiciones de servicio que correspondan, en función del problema a tratar, de acuerdo con los criterios de combinación de acciones indicadas en EHE (art. 13.3).

Debe distinguirse entre la **fecha total** a plazo infinito (la flecha instantánea producida por todas las cargas más la flecha diferida debida a las cargas permanentes y cuasipermanentes) y la **flecha activa** respecto a un elemento dañable (la flecha total menos la que ya se ha producido en el instante en el que se construye el elemento).

Consideraciones	**Flecha**	**EHE, art. 50** Valores máximos admisibles	**CTE DB SE 4.3.3** Valores máximos admisibles
General	Total	≤ L/250 y L/500 + 1 cm	
General	Activa	≤ L/400	≤ 1/500 tabiques frágiles ≤ 1/400 tabiques ordinarios y pavimentos sin juntas ≤ 1/300 en el resto de los casos
Forjados unidireccionales que sustenten tabiques o muros	Total	≤ L/250 y L/500 + 1 cm (*)	
Forjados unidireccionales que sustenten tabiques o muros	Activa	≤ L/500 y L/1000 + 0,5 cm (*)	

L es la longitud del elemento que se comprueba.
En voladizos de forjados unidireccionales, se toma L = 1,6 $L_{voladizo}$

2.6. BANDA O GALGA EXTENSIOMÉTRICA



APLICACIONES	Controla deformaciones en grietas de elementos estructurales. Controla asientos generales y diferenciales en la cimentación. Sobre la base del efecto piezorresistivo, realiza una lectura directa de las deformaciones longitudinales puntuales del material que se analiza.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Tamaño: a partir de 7 mm Resistencia nominal: 350 Ω Máxima tensión: 5,5-23 VRMS Terminación: conductores planos o zapatas soldadas Compensación de la temperatura: acero o aluminio
CALIBRACIÓN	Equipos no reutilizables
RANGO DE PRECIOS	A partir de 40 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Módulo medidor de resistencia para puentes de Wheatstone Panel de entrada de célula o puente de carga
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Al instalar la galga, es fundamental lograr una adherencia y posición perfectas sobre la superficie a estudiar para que la medición sea lo más precisa posible. La instalación consiste en alinear la galga sobre las almohadillas y pegarla sobre la superficie de prueba. Se sueldan los terminales a un medidor de resistencia y este se conecta a un ordenador para obtener los datos, ya que el sistema de medición es continuo.
UNIDADES	La unidad que lo representa es el épsilon, que es adimensional y expresa el cambio de longitud en el tiempo sobre la longitud inicial.
OTRAS CONSIDERACIONES	Las galgas son muy sensibles a los factores ambientales y las vibraciones, por lo que deben protegerse las conexiones eléctricas. Con el tiempo, la galga puede perder adhesión a la muestra.

2.7. EXTENSÓMETRO DE CUERDA VIBRANTE



APLICACIONES	Comprueba deformaciones en elementos de hormigón y acero estructurales de edificios, puentes 0 y estructuras singulares. Se usa en la supervisión de apuntalamientos en muros de contención. Se emplea para monitorizar deformaciones en túneles, cerchas y ensayos de resistencia.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Longitud del extensómetro: 150 mm Precisión: ± 0,1 %
CALIBRACIÓN	A través de módulos de calibración de Shunt, un proceso de derivación por comparación con el valor 0 del extensómetro.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Unidad de lectura de sensores de cuerda vibrante
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Las cabezas de los extensómetros se unen a la estructura a través de soldaduras o adhesivos específicos. En el caso de hormigones, pueden ir embebidos en su interior. Para monitorizar la deformación, el cableado debe protegerse y conectarse al equipo de registro de datos, y este, a su vez, al ordenador.
UNIDADES	Rango de medida: με (adimensional) Frecuencias en Hz Tiempo μs (microsegundos)
OTRAS CONSIDERACIONES	Se emplea en obras de ingeniería o edificios muy singulares.

2.8. ESCLERÓMETRO O IMPACTÓMETRO

APLICACIONES	Determina la resistencia a la compresión superficial de las estructuras de hormigón.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Energía de impacto: 2,207 nm Uso: espesores de piezas de hormigón mayores a 100 mm Según la norma ASTM C-805 Memoria: hasta 1000 lecturas
CALIBRACIÓN	Se comprueba con el banco de acero. Tras una serie de golpes (> 10), la media de los índices de rebote es 80 ± 2. El yunque de calibración del esclerómetro es un sistema portátil de autocalibrado. No es válido como calibración oficial, solo para uso interno.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 360 € el modelo manual A partir de 1600 € el modelo digital
NORMATIVA	EHE 08
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Rotura de probetas en el laboratorio Timolftaleína
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Lo primero que debe hacerse es seleccionar la zona que va a ser objeto de ensayo. Debe cumplir las siguientes características: • Se debe evitar la zona en la que estén las armaduras. • No hay que escoger zonas con exfoliaciones u otras porosidades. • La zona de prueba deber medir 300 x 300 mm. • Se deben tomar al menos nueve medidas de la superficie a examinar. • La distancia entre dos puntos de impacto no puede ser inferior a 25 mm. • La distancia al borde de la muestra tiene que superar los 25 mm. • La superficie de la prueba se prepara con piedra pómez en carbono de silicio. • Se eliminan los restos de agua en el hormigón. Una vez preparada la muestra, el funcionamiento del esclerómetro se comprueba varias veces en otra superficie. Se ensaya en tantas muestras como exija el control estadístico establecido.
UNIDADES	kg/cm² o su conversión a N/mm² En el esclerómetro, la energía cinética de rebote inicial viene dada como una medida de la dureza del hormigón, de la presión sobre la superficie o de la resistencia a la presión.





OTRAS CONSIDERACIONES	La resistencia superficial del hormigón puede presentar diferencias con la resistencia a la compresión obtenida de una probeta. El esclerómetro (técnica no destructiva) resulta muy útil para realizar una campaña estadística de muestreo que permita decidir el lugar más idóneo para tomar testigos (técnica destructiva). Posteriormente se puede establecer una relación entre los datos obtenidos con el esclerómetro y los resultados de los testigos rotos en el laboratorio; así se obtiene una información más amplia con un mínimo daño de la estructura. Según la dirección de la medición (vertical arriba o abajo y horizontal), se debe usar una tabla de correspondencia u otra. Durante las obras de ejecución, es útil como prueba complementaria a las probetas de hormigón, si se precisa controlar más elementos.

2.9. PACHÓMETRO



APLICACIONES	Es un escáner o sonda electromagnética para detectar elementos metálicos. Localiza armaduras en el interior de elementos de hormigón. Permite medir el recubrimiento de las armaduras, estimar su diámetro y la separación entre barras. Es útil en las inspecciones de aceptación de obra y control de calidad. Determina la posición de taladros, refuerzos o la extracción de testigos sin dañar las armaduras.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Exactitud de medición del recorrido en una superficie lisa: 0,5-1 % Exactitud de medición del recubrimiento: ± 1-4 mm (según el material) Rango de medición de diámetro: 63 mm Precisión de medición de diámetro: ± 1 tamaño de la barra
CALIBRACIÓN	Requiere calibración periódica. Se debe reiniciar varias veces durante la inspección.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 2400 € Unidad de ensayo con pachómetro: a partir de 25 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Escáner electromagnético.** Sistema de detección portátil para visualizar la posición y el diámetro de las armaduras en el hormigón, así como la profundidad del recubrimiento mediante campo magnético. Consta de escáner, monitor y *software.* **Georradar.** Identificación de armaduras.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Una vez encendido el pachómetro, se lo desplaza sobre la superficie del paramento a inspeccionar. El pachómetro es un detector de metales que envía una señal electromagnética de intensidad variable con un período fijo que penetra en el material analizado más o menos profundamente, en función del diámetro de la armadura y de la potencia del detector. Cuando esta señal encuentra a su paso cualquier conductor metálico, se genera una contracorriente o campo secundario que capta el detector. Cuanto mayor sea el elemento metálico encontrado, más intenso es el campo magnético. También depende de la orientación del objeto, de su forma, de su superficie y de la velocidad con que se atraviesa el material.

	Influye, además, si los elementos metálicos están en una sola dirección o en ambas, formando una cuadrícula. En general, los resultados varían según las profundidades a las que se encuentren las barras, sus diámetros y las interferencias que generen las barras próximas a la que se analiza. En condiciones óptimas, es posible reconocer barras individuales con un diámetro suficiente hasta a 30 cm de profundidad. Cuanto mayor sea la profundidad, más posibilidades hay de que el aparato no las detecte, y a partir de unos 65 mm muestra un mensaje de «recubrimiento demasiado grande».
UNIDADES	La precisión para medir el diámetro depende de su tamaño. Con un diámetro de 25 mm y un recubrimiento de 3 cm, la precisión es de ± 1 mm, y aumenta a medida que crece el diámetro y disminuye el recubrimiento.
OTRAS CONSIDERACIONES	No se debe utilizar con anillos, relojes o cualquier elemento metálico en las manos. Hay que tener en cuenta que sobre todo localiza armaduras cerca de la superficie. Cuando se usaba el recurso de las barras levantadas, la regla de oro era disponerlas lo más dentro posible para que no reventaran la viga. El pachómero no las localiza, por lo que se puede concluir que a la pieza le falta resistencia, cuando en realidad le sobra. Aquí la cuestión no es lo que se mide, sino lo que no se mide. El pachómetro no localiza todas las armaduras, por lo que pueden existir más. Puede pasar en armado en dos capas. Si no se sabe cómo se ha construido, se está perdido.
APP	**Detector de metales.** Mide el campo magnético con un sensor magnético incorporado en el móvil. Facilita encontrar cables eléctricos en las paredes (como un detector de estudios) o tubos de hierro en el suelo.

2.10. TIMOLFTALEÍNA

APLICACIONES	Identifica el alcance de la carbonatación de las estructuras de hormigón. Permite comprobar si se ha llegado hasta la armadura.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Indicador orgánico para la valoración ácido-base Formulación química: $C_{28}H_{30}O_4$
RANGO DE PRECIOS	A partir de 20 €
NORMATIVA	UNE 112-011-94. Ensayo de tinción mediante fenoftaleína para conocer la profundidad de carbonatación del hormigón. UNE 13396:2005. Productos y sistemas para proteger y reparar estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Medición de la penetración de los iones de cloruro.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Barrena o martillo y cincel
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se rompe un pedazo de hormigón, unos 2 cm (preferentemente cerca de un borde) en donde se sospeche que hay carbonatación. Después de quitar todo el polvo residual, se pulveriza una solución de timolftaleína sobre el hormigón. Si el hormigón se tiñe de azul, el pH del hormigón es aún suficientemente bajo y la armadura está protegida. Si por el contrario el resultado es transparente, el pH es alcalino y se detecta la presencia de iones cloruros.
UNIDADES	Si la solución aplicada sobre el hormigón es transparente, indica un pH inferior a 9,3-10,5. Si el pH es superior, la solución es azul.
OTRAS CONSIDERACIONES	Se trata de un producto químico. No hay que tocarlo, ingerirlo ni inhalarlo. Se recomienda usar guantes, gafas y mascarilla para su aplicación. Es un producto combustible.



2.11. ENSAYOS DE LABORATORIO



ENSAYO	NORMA
Contenido de cloruros	UNE 112-010-94
Contenido de sulfatos en hormigones	UNE 83.120
Porosimetría	
Densidad del hormigón	
Contenido en cemento del hormigón	
Caracterización de la calidad del acero	UNE 10.002-1
Análisis DRX. Difracción de rayos X	
Revisión mediante lupa de grandes aumentos para determinar la posible existencia de arena de playa en el hormigón	
Ensayos a compresión en probetas de hormigón	UNE 12.504-1 UNE 12.390
Permeabilidad al agua	UNE 83.310
Estudios petrográficos	
Método *pull out* para determinar la resistencia a arrancamiento de una placa, disco o barra introducidos previamente en el hormigón	UNE 12.504-3

2.12. LÍQUIDOS PENETRANTES



APLICACIONES	Detecta e identifica discontinuidades o capilares en la superficie de las soldaduras.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Líquido penetrante, líquido limpiador y líquido revelador.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 20 €
NORMATIVA	UNE 60.512-12. Conectores para equipos electrónicos. Ensayos y mediciones. Parte 12: Ensayos de soldadura.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se prepara el soporte eliminando la suciedad, pinturas, óxidos, etc. Cuando la superficie se seca, se aplica el penetrante (líquido coloreado) a una distancia de 30 cm. Se deja pasar entre 5 y 10 minutos para la correcta penetración. Se elimina el exceso de la superficie con un paño limpio y seco o papel absorbente tipo toalla (no utilizar estopa). Se aplica enseguida el líquido revelador a unos 30 cm de la superficie en una película fina y uniforme. Se espera de 3 a 10 minutos antes de iniciar la inspección del área y detectar las discontinuidades.
OTRAS CONSIDERACIONES	Solo es aplicable a defectos superficiales. Es importante definir las características de las discontinuidades y el nivel de sensibilidad con que se las quiere detectar. Si son relativamente grandes o se quiere una sensibilidad entre baja y normal, es mejor emplear penetrantes visibles. En cambio, si la discontinuidad es muy fina y delgada o se busca una sensibilidad alta o muy alta, es preferible usar penetrantes fluorescentes.

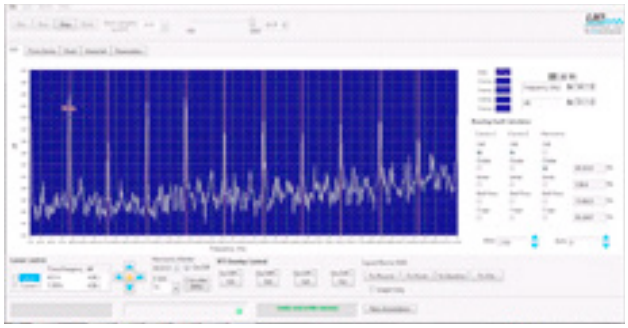
2.13. ULTRASONIDOS

APLICACIONES	Esta técnica se fundamenta en la medida y la determinación de la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas longitudinales a través de los materiales. Detecta discontinuidades en los elementos constructivos y, por tanto, defectos, además de estimar resistencias.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	**Frecuencia.** 0,5-15 MHz. A mayor frecuencia del palpador, mayor poder de resolución, menor divergencia y menor penetrabilidad de ondas. **Resolución.** Permite diferenciar los ecos procedentes de defectos próximos a la superficie de los situados en profundidad. Existen dos clases: resolución de campo lejano y resolución de campo próximo. **Sensibilidad.** Determina la capacidad de un palpador para transformar energía eléctrica en mecánica, y viceversa. Depende fundamentalmente de la naturaleza del cristal. **Punto y ángulo reales de salida.** Los marca el fabricante, pero no siempre coinciden debido al desgaste de la zapata. Si esta se desgasta más en su parte trasera, el ángulo de entrada es ligeramente mayor, y si está más desgastada en la parte delantera, el ángulo de entrada es menor.
CALIBRACIÓN	UNE 12.668-2. Ensayos no destructivos. Caracterización y verificación del equipo de examen por ultrasonido. Parte 2: Palpadores.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 3500 €
NORMATIVA	UNE 14.127. Ensayos no destructivos. Medición del espesor mediante ultrasonidos. UNE 16.810. Ensayos no destructivos. Ensayos por ultrasonidos. Control no destructivo de la calidad de los materiales estructurales. UNE 16.823. Ensayos no destructivos. Ensayos por ultrasonidos. Técnica de transmisión. Detección de discontinuidades; determinación de la atenuación.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Spectralizer.** *Software* para análisis espectral de ultrasonidos. **Tomografía sónica.** Detección de elementos estructurales ocultos y de huecos y defectos en las fábricas; realización de mapas de heterogeneidad; evaluación de la extensión de daños mecánicos, del contenido de humedad, de los tratamientos de mejora, etc.





UNIDADES	Frecuencia (ν): Hz Amplitud de onda (A): m Longitud de onda (λ): m Módulo elástico (E) Coeficiente de Poisson Módulo dinámico de cizalladura o de Coulomb (G) Densidad: kg/m^3 Presión acústica (P): μPa





PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Según el elemento a medir, la colocación de los palpadores es de transmisión directa (palpadores enfrentados), semidirecta (a 90º) o indirecta (a 180º). La superficie debe estar lisa para que los palpadores se acoplen bien sobre el material. Con los impulsos eléctricos generados, se miden la longitud de trayectoria y la velocidad de propagación. Por medio de la velocidad, se determina la calidad del material según unas tablas de materiales ya establecidas, y también la existencia de grietas, coqueras, armaduras, nudos, etc. El funcionamiento de un equipo de ensayos por ultrasonidos se basa en el efecto piezoeléctrico que observaron los hermanos Jacques y Pierre Curie. Los impulsos eléctricos generados por el equipo son aplicados al palpador, que los transforma en impulsos mecánicos de duración muy breve. Estos se transmiten a la pieza a examinar, donde se propagan, y se reflejan en la superficie opuesta o en los defectos que hay en su trayectoria. Estos estímulos reflejados son recogidos por otro palpador y, por efecto piezoeléctrico inverso, transformados en impulsos eléctricos de la misma frecuencia. El amplificador los analiza y registra en el equipo, y recoge la información necesaria para conocer las incidencias de los impulsos ultrasónicos a través del material. Así se cierra el ciclo de emisión-recepción.

2.14. ACELERÓMETRO



APLICACIONES	Mide la aceleración y la vibración. Con él se estudia el comportamiento de los edificios en comparación con sus modelos teóricos. De esta forma se analiza la existencia de anomalías en sus diferentes modos de vibración y se predice el comportamiento de un edificio en caso de sismo.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Acondicionadores de señal ICP Convertidor de carga remoto Acondicionador de carga e IEPE Acondicionador IEPE y monitorización de ocho canales Módulo de conversión analógico-digital
CALIBRACIÓN	Se calibra en el laboratorio o con equipos portátiles. La calibración se realiza ajustando la frecuencia de referencia (según modelos). Con la calibración también se puede obtener la sensibilidad del acelerómetro.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 6000 €
NORMATIVA	NCSE-02
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Programa VibronMulti2n.** El análisis modal operacional se basa en la medida de la respuesta de la estructura usando solo el ambiente y las fuerzas de servicio que actúan sobre dicha respuesta. Se emplea para obtener una descripción modal de la estructura bajo sus condiciones de operación. En vez de cargar la estructura artificialmente y tratar la excitación ambiental como una fuente de ruido no deseado, la excitación natural se usa como fuente de excitación. Tomografía sísmica



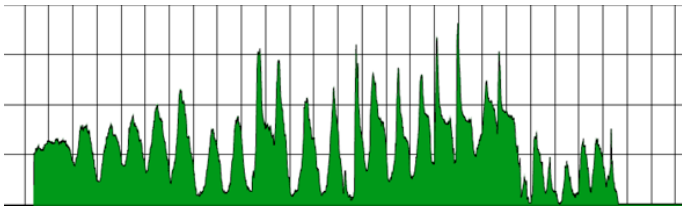


PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Para determinar el modo de vibración de un elemento estructural, se puede estudiar desde una viga hasta un edificio completo. Se instalan los acelerómetros en los puntos representativos para el estudio que se lleva a cabo, sin olvidar la disposición de los ejes XYZ. Los acelerómetros deben conectarse con el amplificador, el acondicionador y el módulo de conversión, y todo ello al ordenador. A través de un *software* (por ejemplo, el capturador2 de LabView 6i), se ven las señales captadas por el acelerómetro en tiempo real. El acelerómetro recibe dos tipos de señales: las que le llegan de forma natural (tráfico, uso del edificio, etc.) y las que se le provocan (por golpeo en piezas de estudio más pequeñas). Los datos se exportan a MATLAB para luego procesarlos. Si se comparan los resultados obtenidos con un modelo realizado, por ejemplo, en ANSYS (*software* para analizar estructuras por elementos finitos), es posible descubrir, por comparación, una determinada lesión y su origen. También se puede comprobar la deformación real que sufriría un elemento ante un sismo en sus diferentes modos de vibración.
UNIDADES	Hz
OTRAS CONSIDERACIONES	El equipo debe ser utilizado por un experto en la materia.

2.15. RESISTÓGRAFO



APLICACIONES	Se trata de una técnica levemente destructiva para evaluar el estado de conservación de elementos estructurales de madera. Permite conocer la densidad de la madera y, a partir de esto, identificar su especie. Inspecciona entramados de madera de construcciones históricas o de maderas sometidas a mucha humedad, como techos de madera en gimnasios y piscinas cubiertas.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Profundidad de perforación: 50 cm Broca: 1,5 mm de diámetro en la punta y 3 mm en el vástago Batería recargable: entre 50 y 100 perforaciones Empuje/velocidad: < 0,5 cm por segundo / 1500 r.p.m. Correlación precisión: desviación <10% (densidad de la madera) Memoria interna: 10.000 x 50 cm/perforación
CALIBRACIÓN	Cada resistógrafo tiene su propio patrón de referencia.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 3200 €
NORMATIVA	CTE DB SE-M
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Software DECOM.** Los perfiles pueden mostrarse en una tabla gráfica. Esclerómetro/penetrómetro para madera



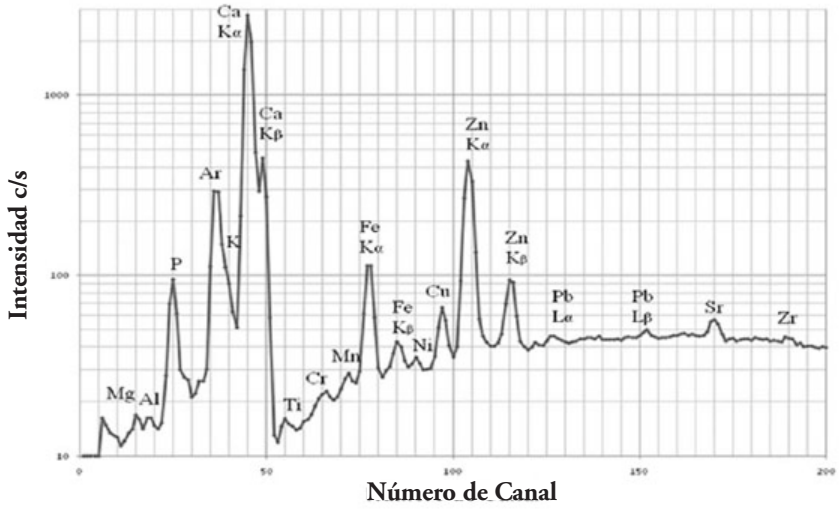


PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Con el resistógrafo, se taladra la madera con una broca muy fina, de 1,5 mm. Se registra la resistencia del material a la penetración de la broca a velocidad constante mediante un potenciómetro conectado al motor eléctrico. La aguja gira mientras se introduce en la madera, y el valor de la resistencia a la penetración se mide como porcentaje de consumo de energía del motor que mueve el taladro. La resistencia se puede relacionar con la densidad de la pieza. A mayor densidad, mayor oposición al paso de la aguja. Los resultados se obtienen a través de un resistograma, que representa gráficamente la energía necesaria para que la aguja penetre a velocidad constante. En el resistograma aparecen una serie de discontinuidades que se corresponden con la albura, el duramen, fendas, galerías, nudos, etc.
UNIDADES	Valor medio (Vmed): consumo medio del equipo por centímetro penetrado. Variabilidad (VDES - VCV): valor sensiblemente constante para cada especie o para especies afines. Media de máximos (Mmax): valor medio del consumo de energía de la madera de otoño (más densa). Media de mínimos (Mmin): valor medio del consumo de energía de la madera de primavera (menos densa). Valor máximo (Vmax): puede indicar la presencia de algún nudo interno u otra anomalía con densidad extremadamente alta. Valor mínimo (Vmin): puede indicar la presencia de fendas internas, galerías, etc. Variación inicial del consumo de energía (A1000 - A1500): evalúa la mayor o menor dificultad de la aguja para penetrar en la madera en su zona más externa hasta alcanzar 1 cm o 1,5 cm. Esta variable es útil para detectar pudriciones o ataques superficiales.
OTRAS CONSIDERACIONES	Es conveniente contrastar la medición del elemento a estudiar con la de otro de similares características que esté sano.

2.16. FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XRF)



APLICACIONES	Cuantifica o cualifica los materiales. Identifica materiales en juntas de soldadura, tuberías, materiales de residuo y contaminación de suelos. Se usa en arqueología, trabajos de arte, restauración y autentificación.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Elemento de medición: en el laboratorio, se detectan todos; en cuanto a los equipos portátiles, cada uno está diseñado para detectar uno o varios elementos singulares. Tiempo de detección: hasta 60 segundos
CALIBRACIÓN	El equipo debe estar calibrado para los materiales a medir.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 15.000 €
NORMATIVA	Decreto 18/2015, que aprueba el reglamento regulador del régimen aplicable a los suelos contaminados en Andalucía.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Difracción por rayos X (DRX).** Analiza la composición de materiales sólidos en estado cristalino. Representa los átomos y moléculas del material estudiado. **Microscopía electrónica de barrido (SEM).** Identifica la estructura interna de los materiales.



PROTOCOLO DE MEDICIÓN	La punta de la pistola debe estar en contacto con el material que se desea medir durante unos 10 segundos. A continuación, la pantalla presenta todos los elementos detectados en la muestra, siempre que estén en la configuración del equipo. El *software* basado en PC permite controlar la corriente y el voltaje del tubo de rayos X.
UNIDADES	0,00 % en partes por millón (PPM) Densidad de la muestra Energía de rayos X Homogeneidad de la muestra
OTRAS CONSIDERACIONES	El empleo de este equipo requiere un permiso del Departamento de Industria del CSN (Consejo de Seguridad Nacional), ya que se considera equipamiento radioactivo y nuclear. El usuario debe tener formación específica.

3. TERRENOS

Este es, sin duda, el capítulo que aborda el tema en el que se suele necesitar más ayuda externa, por ejemplo, de empresas geotécnicas, geofísicas u operarios para abrir una cata. Cuando existen patologías relacionadas con el terreno, el conocimiento de dicho medio físico es fundamental para diagnosticar el problema primero y plantear más tarde una solución adecuada y proporcional al daño.

Los ensayos en terrenos aportan información puntual que no garantiza la homogeneidad de la parcela de estudio. Además, es importante recordar que, una vez que el edificio está construido, las limitaciones para su estudio son mayores, ya que no todas las máquinas pueden operar en su interior. Por ejemplo, el georradar da información de un plano, pero muy superficial. La tomografía, en cambio, sí ofrece información en 2D y 3D, pero su empleo es caro y la interpretación de sus resultados requiere conocimientos especializados.

Como en el caso de las estructuras, se emplea un equipo de diagnóstico u otro en función de la gravedad del problema y de la importancia del edificio.

En terrenos, se debe tener en cuenta que las arenas son de asiento rápido y las arcillas, de asiento lento, y que, cuando una edificación tiene una cierta edad y empieza a presentar problemas en la cimentación, eso suele ser un síntoma y no el origen del problema.

Una vez descartados otros posibles inconvenientes que estén afectando a la cimentación, hay que determinar qué clase de información se necesita, no solo para el diagnóstico, sino también para la reparación. Si hace falta información de las capas más profundas, se deben realizar un sondeo y un penetrómetro. Las muestras obtenidas permitirán completar la información en el laboratorio. Además, si el nivel freático es un valor a tener en cuenta, se puede dejar instalado un tubo piezométrico para su control periódico, o bien una sonda inclinométrica si se trata de un caso de deslizamiento.

Pero, si se está ante algo más somero y se ha abierto una cata junto a la cimentación, un penetrómetro de bolsillo puede comprobar la resistencia del terreno, solo como dato orientativo.

Si se busca una pérdida en una tubería, el geófono es un método sencillo y resolutivo. Más información ofrece el georradar, que permite detectar discontinuidades, aunque interpretar dichas variaciones en el radargrama requiere una preparación específica.

A continuación se presentan algunos ejemplos del empleo de los equipos en los terrenos:

- Edificio de viviendas nuevo con asientos diferenciales.

  Tras estudiar el edificio con su correspondiente mapa de lesiones, se realizan sondeos, penetrómetros y estudios de los niveles freáticos. La rotura del edificio se debe al asiento de la cimentación por apoyo en diferentes estratos resistentes (uno de ellos en una capa activa de arcillas expansivas) y a un descenso brusco del nivel freático.

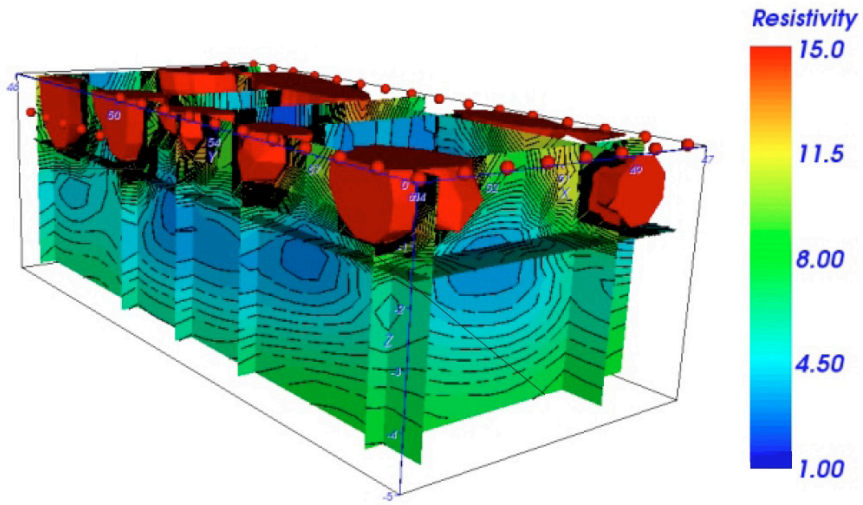
- Edificio patrimonial resultado de diferentes épocas históricas.

  Ante la sospecha de que hay restos de cimentación bajo el crucero de épocas anteriores y la imposibilidad de realizar obras de excavación, se decidió emplear un georradar por su carácter no invasivo. En tiempo real, este equipo determinó la posición de unos restos constructivos que corroboraron la hipótesis planteada.

- Vivienda unifamiliar con graves grietas.

  Las grietas se iniciaron desde el primer momento y crecían progresivamente. No existían factores externos que agravaran las lesiones. A través de varios ensayos de penetración y sondeos, se determinó que la casa, realizada en bancadas, estaba asentada una parte en terreno resistente y otra en zonas de relleno que se estaban asentando. La reparación implicó la ejecución de micropilotes.

3.1. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA



APLICACIONES	La tomografía es la técnica que estudia el terreno a través de impulsos eléctricos. Sus aplicaciones son: • Detectar zonas susceptibles de focos de filtración de agua, así como delimitarlos geométricamente. • Caracterizar terrenos de elevada complejidad estructural por estar formados por varias capas diferentes organizadas de forma heterogénea. • Identificar las zonas de interés para realizar pruebas físicas, como sondeos, piezómetros o SPT.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	El equipo que se precisa para el empleo de la tomografía consta de: • Electrodos: son unas barras metálicas cuyo número varía en función del campo de estudio. • Cable: de gran longitud; tiene conexiones cada cierto intervalo para conectar los electrodos. • Conectores: son unos cables de cobre con pinzas en los extremos que conectan los electrodos al cable. • Ordenador portátil: con el *software* de trabajo. • Unidad central (resistivímetro): es el componente más importante. Ejecuta de forma automática toda la secuencia de medidas predeterminadas, verifica el buen estado de las conexiones y almacena digitalmente todos los resultados de campo. • Una batería: es la fuente de alimentación.



CALIBRACIÓN	Se necesita una calibración específica para cada tipo de suelo. La calibración se realiza por comparación con datos reales y conocidos del terreno.
RANGO DE PRECIOS	El estudio tomográfico de un terreno tiene un coste mínimo orientativo de 5000 €.
NORMATIVA	CTE DB SE C. Cimientos. Anejo C. Técnicas de prospección. G4 Geofísica, b) Resistividad eléctrica.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Programa Sycal Pro.** Para gestionar los datos. **Método de sísmica pasiva (MASW).** Técnica que define zonas de vulnerabilidad sísmica a partir de la velocidad de transmisión de las ondas de cizalla. **Metodología sísmica CSW.** Es similar al método MASW, pero con señales de frecuencia variable. **Gravimetría.** Es un método para detectar grandes cavidades en el subsuelo. Se usa junto con la tomografía. **Sísmica de refracción.** Estudia la propagación de ondas sísmicas artificiales en el terreno y la relaciona con la configuración geológica del subsuelo. **Sondeos eléctricos verticales (S.E.V.).** Determinan las capas de terreno existentes bajo el punto de medida a partir de su resistencia; localizan niveles freáticos, niveles de alteración de roca y diferencia de litologías.

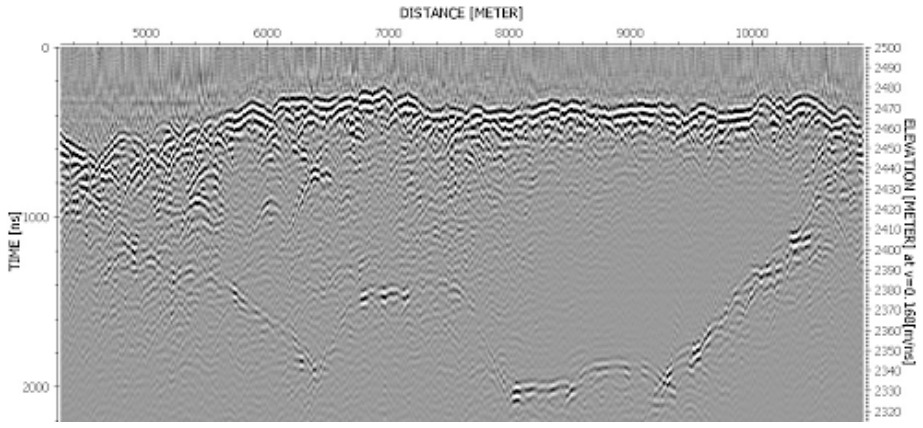
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	En primer lugar, es necesario planificar la **campaña de reconocimiento:** • Delimitar los objetivos del estudio. • Decidir el número de perfiles a realizar y su ubicación. • Establecer la profundidad máxima de estudio. • Preparar el dispositivo electródico; decidir el número y la separación de los electrodos. • Adoptar medidas preventivas para asegurar la calidad de los datos. Una vez identificada la zona de estudio, se coloca el cable sobre el terreno. Luego se clavan en él los electrodos verticalmente con la ayuda de un martillo y se acopla el cable a través de los conectores. Se recomienda que la separación de las picas no supere los 50 cm. Con las picas y el cableado ya instalados, se conecta al equipo. Se pueden conectar varios circuitos de hasta 24 picas. El circuito se conecta al equipo a través de un adaptador. Se enciende el equipo y se inicia la medición. Hay que elegir la frecuencia de onda. Una vez realizada la medición, se conecta el equipo al ordenador para descargar los datos y crear los modelos tomográficos en 2D y 3D. **Procesado de los datos de campo.** El objetivo es obtener un modelo 2D de resistividades reales a partir de la pseudosección de resistividades aparentes obtenida del terreno. Para ello, se precisa un programa de inversión. Las técnicas de inversión se clasifican en dos grupos: • **Block inversion method.** Para terrenos con grandes contrastes de resistividades. • **Smoothness-constrained inversion method.** Para terrenos con variaciones graduales de resistividad (filtraciones de agua o vertidos contaminantes).
UNIDADES	La unidad de resistividad en el sistema internacional es el ohm por metro (Ω×m). La conductividad se define como el inverso de la resistividad.
OTRAS CONSIDERACIONES	Este método no es aplicable si hay micropilotes de acero hincados en el terreno. Requiere formación específica en geotecnia, en el uso del equipo y en la interpretación de los resultados.

3.2. GEORRADAR. GROUND PENETRATING RADAR (GPR)

●●●

APLICACIONES	Localiza canalizaciones de agua potable, colectores de saneamiento, gasoductos, tendidos eléctricos, etc. Detecta cavidades, fisuras del terreno, diferentes estratos, nivel freático, etc. Se emplea para evaluar infraestructuras de hormigón y localizar armaduras, vacíos en su interior y profundidad de zapatas. Se usa para evaluar yacimientos arqueológicos.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	El equipo de georradar consta de una unidad central de control y adquisición, una antena receptora, otra emisora y equipamiento complementario. Resolución horizontal: es la capacidad para diferenciar dos elementos adyacentes en la dirección de desplazamiento de la antena. Resolución vertical: es la capacidad para detectar las distintas reflexiones producidas por dos discontinuidades electromagnéticas del medio consecutivas en el tiempo de propagación.
CALIBRACIÓN	Los resultados del ensayo se calibran con la información sobre los testigos extraídos en el tramo de estudio.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 5000 € con todos los accesorios. El estudio con georradar de un terreno tiene un coste mínimo orientativo de 2000 €.
NORMATIVA	CTE DB SE C. Cimientos. Anejo C. Técnicas de prospección. G4. Goefísica, c) Otras técnicas geofísicas tales como el georradar. ASTM D 4748-98. *Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar.* ASTM 6432-99. *Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation.*
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	*Software* de adquisición de datos Mala GPR GroundVision 2. *Software* de procesamiento de datos GPR analyzer.





PROTOCOLO DE MEDICIÓN	El equipo con la antena emisora va montado sobre un carrito que permite desplazarlo sobre el terreno a analizar. El estudio se realiza siguiendo un recorrido ordenado y previamente planificado. El transmisor emite ondas electromagnéticas de determinada frecuencia que reflejan parte de su energía al atravesar las diferentes capas del pavimento. El receptor capta esas reflexiones y las registra en un gráfico de profundidad-distancia. La profundidad está dada por el tiempo que tarda la onda en salir del transmisor y llegar al receptor. La señal se adquiere mediante un *software;* se genera un archivo RD3 que se analiza con un *software* adecuado. Mediante distintos filtros, se distinguen y marcan las interfaces entre materiales. La profundidad en metros correspondiente al cambio de capa se obtiene a través de las velocidades de onda de los materiales atravesados, la cual varía con diversos factores, principalmente con la humedad. El registro generado por un georradar, llamado radargrama, está definido por los siguientes parámetros: rango, muestra, escaneo/unidad, ganancia, posición y filtros secuenciales.
UNIDADES	Resistividad: Ω (Wm); la conductividad es su inverso. Antenas: de bajas frecuencias (500 MHz) a altas frecuencias (2300 MHz).
OTRAS CONSIDERACIONES	El uso del georradar requiere una formación especializada y experiencia en el campo de la interpretación. Aporta mucha información en terrenos ácidos, pero es menos resolutivo en terrenos básicos o con restos de materia orgánica.

3.3. PENETRÓMETRO ESTÁTICO



APLICACIONES	En calicatas y zanjas, mide de forma aproximada la resistencia a compresión simple en suelos cohesivos y la presión admisible del terreno ante rotura. Se usa en arcillas o suelos mixtos con matriz arcillosa.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Existen dos tipos de penetrómetros estáticos: • De punta mecánica (uso manual). De 0 a 3 kg/m^2, según el modelo. Diámetro de la punta: 8-11 mm. • De punta eléctrica (maquinaria de uso geotécnico).
RANGO DE PRECIOS	A partir de 250 €
NORMATIVA	CTE DB SE C. Cimientos. 4. Cimentaciones directas. 4.2. Análisis y dimensionado. 4.2.3. Variables básicas y parámetros del terreno. Relación entre el ángulo de rozamiento y la resistencia por punta del penetrómetro estático. CTE DB SE C. Cimientos. Anejo D. Criterios de clasificación, correlaciones y valores orientativos de referencia. Tabla D.6. Utilización de las pruebas de penetración. CTE DB SE C. Cimientos. Anejo F. Modelos de referencia para el cálculo de elementos de contención. F2. Cimentaciones profundas. F.2.2. Determinación de la resistencia de hundimiento mediante ensayos de penetración *in situ.* F.2.2.1. Métodos basados en el ensayo SPT. F.2.2.3. Método basado en ensayos penetrométricos estáticos. UNE 103804. 1993 Geotecnia. Procedimiento internacional de referencia para el ensayo de penetración con el cono.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Campaña geotécnica

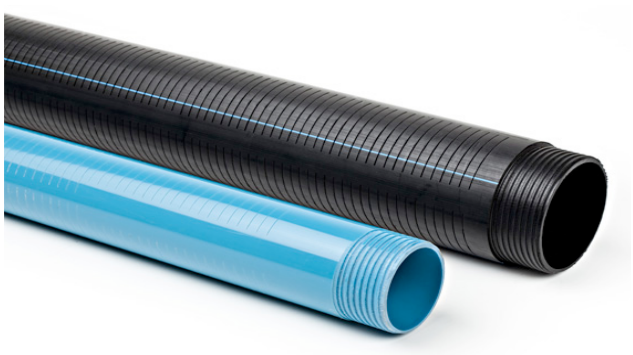
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Antes de iniciar la medición, el equipo debe marcar presión 0. Se hunde la punta en el terreno. En función de la resistencia del terreno al penetrómetro, la aguja marca un valor numérico, expresado en kp/cm^2, que se corresponde con el valor de resistencia a la compresión simple del terreno (q_u). En el caso de catas excavadas, la punción con el penetrómetro debe realizarse en horizontal para obtener una medida realista, ya que el fondo de la cata está más compactado por efecto de la excavación. En función de las características de la cata realizada para inspeccionar el terreno y de su profundidad, se puede elaborar un diagrama de resistencia/ profundidad, muy útil para predimensionar y tomar decisiones. El valor que interesa obtener es la cohesión no drenada (C_u), con el conocimiento de que el coeficiente de rozamiento interno es ø = 0. $C_u = q_u / 2$
	
UNIDADES	Valores resistentes admisibles a partir de 1-1,5 kg/cm^2.
OTRAS CONSIDERACIONES	Medir sobre una superficie sin desbrozar no aporta datos relevantes. Es conveniente medir a la profundidad en que se va a ejecutar la cimentación, ya que el penetrómetro da lecturas puntuales. El penetrómetro aporta valores orientativos de control; en ningún caso puede sustituir una campaña geotécnica.

3.4. SONDA INCLINOMÉTRICA



APLICACIONES	El inclinómetro se utiliza para seguir deslizamientos, taludes, presas, muros de contención, etc. • Se puede utilizar en el interior de una tubería inclinométrica. • Es biaxial; en el interior se aloja un servoacelerómetro inercial con la deriva térmica baja.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Sonda: • Diámetro de la sonda: 30 mm; del tubo inclinométrico: 45-75 mm • Deriva térmica: < 100 ppm Cº • Presión máxima: 15 bar con tensión de rotura 650 KN Microprocesador: • 12 horas de monitorización, 400 lecturas
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Inclinómetro fijo.** Se emplea en la monitorización continua del terreno en zonas de deslizamiento (estabilidad de muros o deslizamiento de terraplenes). Puede ir asociado a un registrador de datos automático o de lectura manual. El punto de colocación debe seleccionarse con un inclinómetro tradicional.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	La lectura se realiza a través de un *datalogger* y los datos se procesan con un *software*. Se precisa una máquina de sondeos para instalarlo. Una empresa de geotecnia se encarga de su instalación, seguimiento y control.
UNIDADES	Milímetros
OTRAS CONSIDERACIONES	Se instala en el interior de un pozo de sondeo.

3.5. TUBO PIEZOMÉTRICO



APLICACIONES	Mide el nivel freático de un terreno. Mide la presión de filtración para determinar el factor de seguridad en excavaciones y pozos, la estabilidad de taludes o el efecto de los sistemas de evacuación.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Diámetro mínimo del sondeo: 98 mm La tubería contiene perforaciones de 0,25 y 0,50 mm y tramos ciegos.
NORMATIVA	CTE DB S. Cimientos. 2. Bases de cálculo. 2.3. Variables básicas. CTE DB S. Cimientos. 6. Elementos de contención. 6.3. Análisis y dimensionado. 6.3.2. Pantallas. CTE DB S. Cimiento. Anejo C. Técnicas de prospección.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Forma parte de un estudio geotécnico completo.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se precisa una máquina de sondeos para instalarlo. Una empresa de geotecnia se encarga de su instalación, seguimiento y control.
UNIDADES	La altura piezométrica se mide en centímetros.
OTRAS CONSDERACIONES	Se instala en el interior de un pozo de sondeo.

3.6. GEÓFONO DE SUELO



APLICACIONES	Localiza tuberías y fugas de agua en terrenos.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Análisis de frecuencia Histograma Función de registro de sonido Protección al ruido (< 85 dB)
RANGO DE PRECIOS	A partir de 3700 € Servicios de localización de fugas, a partir de 150 €.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Equipos detectores de fugas con gases trazadores.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	El equipo se compone de varias partes: *software* con pantalla, auriculares y un bastón al que se le acoplan diferentes piezas para medir sobre los puntos de registro de las tuberías y sobre el pavimento. Una vez sincronizadas todas las partes del equipo, se selecciona la acción a realizar en la pantalla. Primero se deben controlar los puntos de registro de la red. Se identifican y registran los puntos donde la intensidad sonora es mayor. La medición se acciona a través del bastón. Una vez identificados los dos puntos de registro con mayor sonoridad, se sustituye la punta del bastón por una pieza de campana que permite hacer lecturas superficiales sobre el pavimento. La fuga se encuentra en el punto donde la sonoridad es mayor. La intensidad sonora también se representa gráficamente en la pantalla, lo que facilita su identificación.
UNIDADES	Frecuencia: Hz

3.7. MEDIDOR DE PH

APLICACIONES	Mide las características de acidez o basicidad (pH) de los terrenos.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Para hacer una primera aproximación y decidir si es preciso encargar la medición a un laboratorio, es válido un medidor de pH para jardines. Además, incorpora un medidor de humedad y también suele registrar la intensidad lumínica. Los valores se muestran en la pantalla, que dispone de varias curvas, y la aguja marca el valor.
CALIBRACIÓN	A través de tres disoluciones de referencia.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 10 € Medidor de pH digital: a partir de 180 € Ensayo de laboratorio: a partir de 12 €
NORMATIVA	CTE DB SE C. Cimientos. Anejo D. Criterios de clasificación, correlaciones y valores orientativos de referencia. Tabla D.22. Clasificación de la agresividad química de suelos, rocas y aguas (EHE).
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Penetrómetro estático Higrómetro
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Las varillas deben estar limpias y secas antes de introducirlas en el terreno. El medidor da tres posiciones para tres lecturas distintas a través de su único botón (pH, humedad y luminosidad). El valor pH se refleja en la curva correspondiente.
UNIDADES	0-14 pH A valores más ácidos (pH < 7), mayor presencia de arcilla; si los valores son más básicos o alcalinos (pH > 7), se trata de arenas.
OTRAS CONSIDERACIONES	Solo sirve para obtener valores orientativos antes de encargar ensayos de laboratorio.



3.8. ENSAYOS DE LABORATORIO



ENSAYO	NORMA
Coliformes. Método para detectar bacterias coliformes, coliforme-fecales y *Escherichia coli.* Permite determinar si las aguas que afectan a un terreno tienen su origen en una rotura de la red de saneamiento. Ensayo: a partir de 50 €	UNE-EN ISO 22475-1
Contenido en sulfatos: SO_4^{2} Los sulfatos se encuentran en la naturaleza en forma de yesos. La instrucción EHE establece el empleo de cementos con resistencia adicional a los sulfatos siempre que el contenido en sulfatos del terreno sea igual o mayor a 3000 mg/kg y 600 mg/kg en el agua freática. Ensayo: a partir de 25 €	CTE DB SE C. Cimientos • 3. Estudio geotécnico. Tabla 3.5. Categoría de las muestras de suelos y rocas para ensayos de laboratorio. • 5. Cimentaciones profundas. 5.4.1.1.1. Materias primas. • Anejo D. Tabla D.18. Ensayos de laboratorios. UNE 103.202 UNE 80.303-1
Expansividad La expansividad es la capacidad de un suelo arcilloso de aumentar y disminuir su volumen frente a cambios de humedad. Esto puede dar lugar a movimientos en la cimentación con aparición de grietas y fisuras de diferente consideración. Ensayo a partir de 50 €	CTE DB SE C. Cimientos. Anejo D. Tabla D.18. Ensayos de laboratorio. UNE 103.600

4. ENVOLVENTE

La envolvente es esa parte tan importante del edificio que lo separa del exterior, lo protege de las inclemencias del tiempo y lo dota de un aislamiento mínimo, impermeabilidad y ventilación. Las cualidades de la envolvente se pueden determinar con los equipos de este capítulo: desde medir el espesor de los vidrios de una carpintería hasta determinar cuánto aire se filtra a través de la envolvente de forma incontrolada.

Es posible conocer el espesor de todas las capas de un cerramiento con un simple taladro y la introducción de un endoscopio por el orificio. Así se sabe también si el cerramiento tiene todas las capas necesarias y en qué estado se encuentran. Y con el termoflujómetro se puede determinar el valor U del paquete de cerramiento completo; su transmitancia térmica real, no la teórica calculada.

Con el multidetector, se establece la posición de conductos y cableados, lo que resulta muy útil cuando se tienen que identificar las instalaciones.

Los revestimientos deben estar bien adheridos. El ensayo de adherencia comprueba los aplacados, y el ensayo de pipeta, si son suficientemente impermeables al agua. Además, en el caso de que sean pinturas, determina que el espesor sea el que se ha prescrito.

Un ensayo de *blower door* en la envolvente de un recinto permite determinar su impermeabilidad al aire (n50) o si es como tener una ventana de una determinada superficie siempre abierta. Si este equipo se acompaña de una cámara termográfica, se descubre por dónde se está filtrando el aire (siempre y cuando haya suficiente salto térmico interior-exterior). La termografía indica si existen anomalías en la envolvente, ya sea por humedades, falta de aislamiento, puentes térmicos, revestimientos desprendidos, estructuras, etc. Como apoyo a la termografía o independientemente de esta, un humidímetro mide la humedad de los paramentos y descarta otras posibles patologías. Tanto la termografía como el *blower door* requieren formación especializada.

A continuación se presentan algunos ejemplos del empleo de estos equipos en el caso de la envolvente:

- Vivienda en un bloque con humedad de condensación.

  Era la única vivienda de la comunidad que sufría severas humedades de condensación en todos los paramentos en contacto con el exterior. Se procedió a realizar un taladro en los paramentos afectados para inspeccionarlos con el endoscopio y se descubrió que la hoja exterior de la cámara no tenía embarrado. Tampoco había rastro de aislamiento alguno.

- Hotel con problemas de infiltraciones de aire.

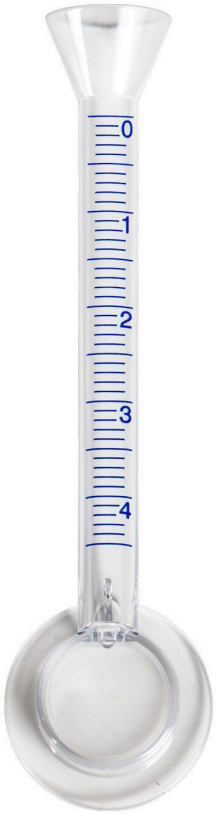
  A través de un muestreo estadístico, se evaluó con *blower door* la permeabilidad de una serie de habitaciones. Con la termografía, se averiguó que la mayor parte de las infiltraciones provenían del encuentro de la carpintería con el cerramiento. A partir del volumen de aire exterior que entraba en el recinto de forma incontrolada, se calculó el exceso de consumo energético de las habitaciones.

- Reparación de un local comercial.

  Se había diagnosticado una rotura en la red de saneamiento. Durante la reparación, se usó un humidímetro para comprobar la humedad del soporte antes de colocar un pavimento de madera. También se recurrió a un medidor de espesor de pinturas y se detectaron los conductos de las instalaciones con un multidetector de materiales.

4.1. PIPETA

APLICACIONES	El ensayo con un tubo en L o tubo RILEM comprueba la permeabilidad de las fachadas. También se puede usar para establecer la efectividad de los hidrofugantes.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Tubo en forma de L de 1 cm^2 de sección con graduación en milímetros en la vertical. Masilla impermeable para adherir el tubo a la pared.
RANGO DE PRECIOS	Tubo: a partir de 12 € Kit completo: a partir de 120 €
NORMATIVA	UNE-EN 16302. Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición de absorción de agua por el método de la pipeta.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Ensayo *in situ* de estanqueidad al agua sobre fachadas ligeras (UNE 13.051).
UNIDADES	La altura en milímetros se relaciona con el grado de permeabilidad del paramento.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se seleccionan varios puntos representativos del paramento para realizar el ensayo. Si se trata de una superficie de ladrillo visto, se deben llevar a cabo ensayos en la zona de juntas de mortero y en el ladrillo para comparar los resultados. Las superficies deben estar limpias y secas. Con la masilla impermeable, se adhieren los tubos al paramento para garantizar la impermeabilidad del contorno. Los tubos se llenan de agua destilada (pueden usarse colorantes) hasta el valor marcado como 0. Si hace mucho calor o corre viento, se debe tapar la parte superior del tubo. Tras el llenado, se mide el agua absorbida en los siguientes intervalos: 5, 10, 20, 30 y 60 minutos. Se confecciona una gráfica de absorción/tiempo con los datos obtenidos. El profesor Ortega Andrade propone un grado de permeabilidad en función del agua que penetra en 10 minutos. La fuerza que ejerce la columna de agua se traduce en una presión agua-viento sobre el paramento, de tal forma que 12 cm en la columna de agua simula una velocidad de 157,6 km/h.



RELACIÓN ENTRE LAS MARCAS DE GRADUACIÓN Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO		RELACIÓN ENTRE EL GRADO DE PERMEABILIDAD Y EL AGUA QUE HA PENETRADO EN 10 MINUTOS	
Graduación: ml	**Velocidad teórica del viento: km/h**	**Penetración: cm^3**	**Velocidad teórica del viento: km/h**
0	157,87	Más de 3,0	Permeabilidad muy alta
0,5	151,44	De 2,4 a 3,0	Permeabilidad alta
1	145,48	De 1,0 a 2,4	Permeabilidad media
1,5	137,92	De 0,4 a 1,0	Baja permeabilidad
2	130,52	De 0,2 a 0,4	Impermeabilidad relativa
2,5	120,70	De 0,1 a 0,2	Impermeable
3	114,42	Menos de 0,1	Sin actividad capilar
3,5	105,41		
4	95,60		
4,5	84,97		
5	72,10		

4.2. ENDOSCOPIO



APLICACIONES	Visualiza cavidades, como cámaras de cerramientos y de saneamiento, conductos de ventilación o redes de saneamiento.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Endoscopios rígidos: boroscopios Endoscopios flexibles: flexoscopios Cámara: captura de foto y vídeo, 640 x 480 píxeles Diámetro de la punta: 9 mm Hidrófugo: punta y cable Iluminación: 2, 4 o 6 puntos led con alcance de 10 a 20 cm Punta: fija o rotativa
RANGO DE PRECIOS	A partir de 300 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Percutor con broca de 12 mm. Cámara termográfica para determinar el punto a inspeccionar.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	El equipo suele guardarse desmontado en su maletín, por lo que lo primero que hay que hacer es montarlo. El cuello de ganso se conecta al soporte y las pilas. En muchos modelos, la cámara va conectada al equipo, pero puede ser independiente, lo que facilita la visualización. En el caso de cámaras de cerramiento, lo primero es elegir dónde se va a inspeccionar, pues hay que practicar una perforación de 12 mm. Al girar el cuello de ganso, no solo se ve de frente, sino también a lo largo de la cámara. Esto no siempre es fácil, ya que, si el espesor de la cámara es escaso, falta espacio para girar la pieza. Una vez que se visualiza el elemento que interesa, se fotografía o se graba en vídeo. Las cámaras de saneamiento se pueden inspeccionar a través de las rejillas de ventilación; los conductos de ventilación, a través de las rejillas de ventilación o del falso techo en su encuentro en el forjado, y también a través de las salidas del *shunt* en la cubierta, sin son accesibles.







OTRAS CONSIDERACIONES	Según el elemento que se vaya a inspeccionar, se necesita un equipo de mayor o menor tamaño. En general, un equipo pequeño es suficiente. Pero, para inspeccionar redes de saneamiento (conductos, arquetas, pozos de registro, etc.), es conveniente contar con una empresa especializada.
APP	**Android endoscopio.** Requiere comprar la lente con el cable. Esta se conecta al móvil por una clavija micro USB. Se descarga la aplicación Endoscope en el móvil, que así se convierte en un endoscopio para tomar fotos, grabar vídeos y editar imágenes.

4.3. TERMÓMETRO DE INFRARROJOS

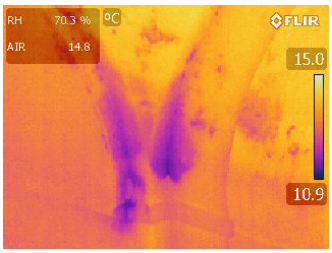


APLICACIONES	Mide la temperatura superficial de paramentos en sectores localizados. Valora puentes térmicos para elaborar mapas de temperaturas a lo largo de un paramento. Junto a una carta psicrométrica y un medidor de humedad ambiente, aporta las temperaturas de rocío que dan lugar a las condensaciones.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Precisión: 0,1 ºC Rango: -30 ºC + 260 ºC Nivel de emisividad: 0,95 Cono de proyección: 1/8
CALIBRACIÓN	Requiere una calibración anual.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 40 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Higrómetro Carta psicrométrica
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Al disparar el pulsador, se obtiene la temperatura media del área de influencia. El termómetro no realiza lecturas en el punto donde se ve reflejado el puntero láser, sino que establece la media de un área superficial. Dicha área es mayor cuanto más se aleja el medidor de la superficie a leer y, por tanto, aumenta la imprecisión. La medición se realiza a través de un área de influencia 1/8, de forma que 1 m sobre el paramento a medir implica una separación del termómetro de 8 m.
UNIDADES	Grados Celsius (ºC) o Fahrenheit (F)
OTRAS CONSIDERACIONES	Hay que evitar realizar las mediciones cerca de los focos de calor o frío. Las mediciones sobre superficies reflectantes, como vidrios, pueden dar lecturas poco fiables. Se deben tomar áreas homogéneas para realizar las lecturas. La distancia recomendable entre la superficie de estudio y el medidor es de 2,40 m; da una lectura de un área de 30 cm.

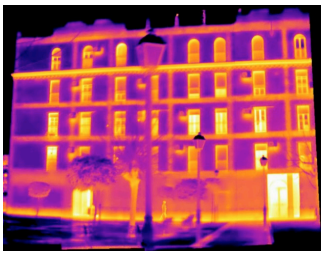
4.4. CÁMARA TERMOGRÁFICA



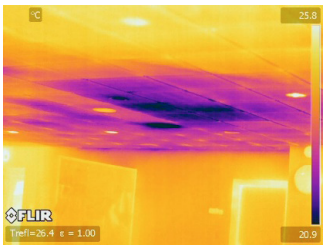
APLICACIONES	La termografía es una técnica no invasiva ni destructiva. No requiere acercarse a los objetos. Recoge los valores de intensidad de radiación del entorno. Permite detectar fallos de construcción, estructuras ocultas, estanqueidad, filtraciones de aire y de agua en cubiertas, puentes térmicos, defectos de aislamiento, humedades, condensaciones y formación de mohos. Se emplea en el control de suelos radiantes, tuberías, conductos e instalaciones eléctricas, así como en el control de calidad en la entrega de obras.
NORMATIVA	UNE 92316. Criterios de medición y cuantificación para trabajos de aislamiento térmico mediante relleno de cámaras en edificación. UNE-EN 13187. Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Flir Tools.** *Software* para procesar los termogramas. Se conecta con el termohigrómetro vía wifi. Trípode
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	La cámara termográfica capta el flujo de energía emitido desde una superficie y lo transforma en una señal eléctrica primero y en imágenes después. Capta la radiación a través de una lente de germanio y todos los objetos emiten radiación por encima del 0K (-273 ºC). Intervalo de temperatura: -20 ºC a 350 ºC *Zoom* continuo de 4X Imagen dinámica multiespectral (MSX) Valores predeterminados: punto caliente y punto frío máximos Frecuencia de imagen: 60 Hz



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Campo de visión focal mínima del campo de visión: 25°x 9°/0,4 m Enfoque manual y automático Sensibilidad térmica (NETD): < 0,045 °C a 30 °C Resolución: 320 x 240 píxeles Rango espectral: de 7,5 a 13 µm Pantalla LCD a color integrada y táctil de 3,5” Almacenamiento de imágenes: 1000 imágenes JPEG radiométricas Alarmas: humedad, condensación y aislamiento
CALIBRACIÓN	Requiere una calibración anual.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 4000 € para su uso en edificación.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	**Lectura cualitativa** Una vez encendida la cámara, lo primero es enfocar la lente. Se puede poner el campo en modo automático. Así se identifica todo el espectro radiante en la escala gráfica, del valor mayor al menor. En cambio, si se usa en modo manual, marca el campo que interesa con una temperatura máxima y otra mínima (la diferencia mínima entre ambos valores es de 2 °C). Esto es muy útil para identificar el elemento que se pretende analizar, ya que, con el campo completamente abierto, puede pasar desapercibido. Se debe tener en cuenta que los materiales como el yeso y los morteros tienen emisividades altas (cercanas a 1) y temperaturas aparentes próximas a los valores reales; mientras que las superficies brillantes o pulidas, como los cristales, presentan emisividades más bajas. Esto puede generar confusión, ya que su lectura aparente ofrece valores de temperatura bastante inferiores a los valores reales.







PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Cuando se detecta un elemento que parece una sombra o un reflejo, hay que moverse, y si este también se mueve, se debe comprobar que no sea una lesión. Hay que tomar las mediciones sobre un plano con una inclinación entre 25º y 65º con respecto a la perpendicular para evitar verse reflejado en el termograma. Una vez enfocada la lente y marcado el campo, es posible establecer otros muchos parámetros, como la escala gráfica, alertas de condensación, humedad, etc., lectura de puntos y de áreas, identificación del punto más frío, el más caliente etc. La cámara termográfica captura la imagen real y la termográfica. Este equipo incorpora Ultramax, que permite superponer el contorno de los elementos reales. Si el equipo se sincroniza con el termohigrómetro, cada termograma capturado incluye la lectura de temperatura y humedad registrada en ese momento. **Lectura cuantitativa** Para realizar lecturas de temperaturas reales, existe un procedimiento que requiere conocer la emisividad de los objetos a medir, la temperatura reflejada y la distancia al objeto.
UNIDADES	ºC de temperatura aparente Isotermas de valores máximos y mínimos Alarmas de humedad, de condensación y de aislamiento
OTRAS CONSIDERACIONES	Para obtener los mejores resultados de una captura termográfica e interpretarlos mejor, es necesario aprobar un curso de termógrafo acreditado, que incluye tres niveles de formación. Las lecturas que ofrece la cámara termográfica son aparentes, equivalentes a una lectura cualitativa. Para obtener valores reales, se debe realizar un análisis cuantitativo que considere parámetros como la emisividad (cualidad superficial de los objetos), la temperatura reflejada y la distancia al objeto. Se debe estar prevenido para no confundir las sombras con lesiones. Diferentes elementos a la misma temperatura real, pero con valores de emisividad distintos, dan diferentes valores cualitativos de temperatura. No hay que apuntar nunca con la lente hacia el Sol.
APP	**Flir One.** A partir de 240 €. **Flir C3.** A partir de 650 €.

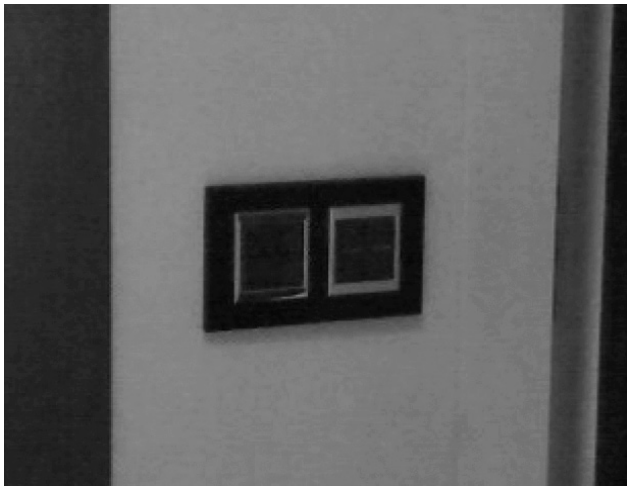
4.5. BLOWER DOOR. TEST DE INFILTRACIONES DE AIRE

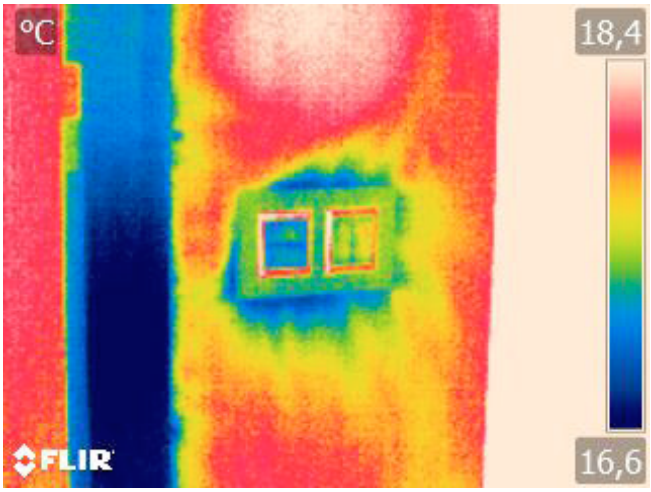
●●●

APLICACIONES	El test *blower door* es un ensayo no destructivo que consiste en generar una diferencia de presión en un recinto respecto al ambiente exterior. A través de este ensayo se obtienen los siguientes datos: • Determinación del número de renovaciones del aire por hora • Localización de infiltraciones de aire • Localización de entrada de olores y humos • Comprobación de la estanqueidad de los recintos • Localización de puntos de fuga energética
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Ventilador: • Caudal máximo (en aire libre): 10.874 m^3/h (a 60 Hz) • Caudal mínimo (a 10 Pa): 14 m^3/h Manómetro Puerta/panel: • Panel de tela con marco de aluminio • Ancho (min./max.): 75-109 cm • Alto (min./max.): 135-246 cm



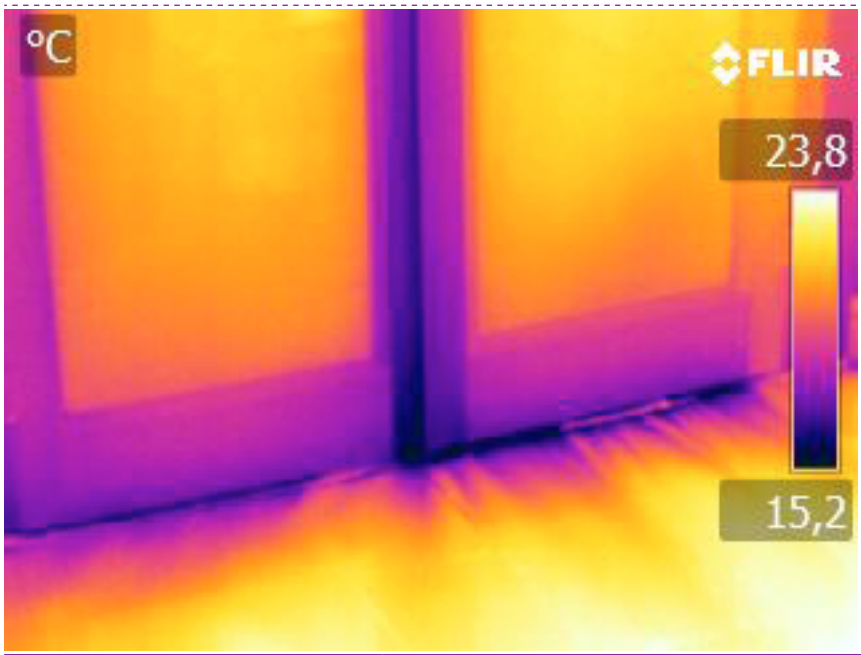






CALIBRACIÓN	Requiere una calibración anual en un laboratorio acreditado.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 4000 € Ensayo *blower door:* a partir de 450 €
NORMATIVA	UNE 13.829. Aislamiento térmico. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador. PNE-EN ISO 9.972. Comportamiento térmico de edificios. Determinación de la permeabilidad al aire de los edificios. Método de presurización por ventilador. UNE 16.211. Ventilación en los edificios. Medición del flujo de aire *in situ*. Métodos.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Ordenador portátil con *software* FanTestic Anemómetro de hilo caliente Cámara termográfica Humos técnicos Blower equipos clima. UNE 100705. UNE 13403. UNE 12237. UNE 1507.

PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Método de ensayo B Antes de la medición, hay que reconocer el entorno del recinto a estudiar y tomar los datos de volumen y superficie de la envolvente, así como la altura, la velocidad del viento y la orientación. También hay que asegurarse de que todas las puertas y ventanas estén cerradas, así como los *shunts* de ventilación y las campanas extractoras. A continuación se procede a instalar el sistema. La puerta se forma a medida del hueco de paso del recinto con unos bastidores ajustables y una lona impermeable, de tal manera que no pueda filtrarse aire por este punto. Una vez colocada la puerta, se instala el ventilador y se lo conecta con las diferentes sondas que permiten medir la presión interior-exterior y con el manómetro, y este al ordenador. La colocación del ventilador es importante porque, si se lo sitúa en un sentido, extrae aire (despresurización), y si se lo sitúa en el contrario, lo introduce (presurización). El programa FanTestic permite realizar la medición según la norma UNE 13829 y registra todas las variables del proceso. Se debe adecuar la sección libre del ventilador al volumen de aire que se está trasladado, y el ventilador va variando de velocidad para alcanzar los niveles de presión interior-exterior de 100 Pa. Hay que tomar lectura al menos en cinco escalones. Durante este proceso, se emplean la cámara termográfica y el anemómetro de hilo caliente para detectar las infiltraciones de aire del exterior. Cuanto mayor es el contraste térmico interior-exterior, más fácil resulta detectarlas. Las entradas de aire habituales se producen por los puntos de la envolvente con discontinuidades: cajones de persianas, encuentros con las carpinterías, enchufes, cuadros eléctricos, encuentro de los paramentos con los falsos techos, etc.

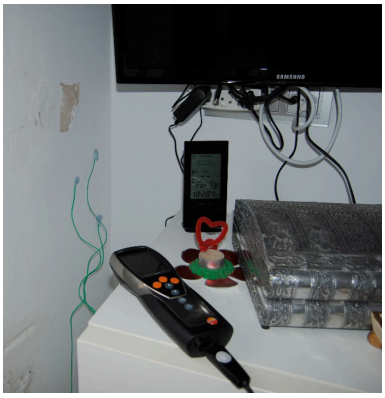


UNIDADES	n_{50} renovaciones de aire por hora a 50 Pa cm^2 de superficie de área equivalente de apertura
OTRAS CONSIDERACIONES	Para realizar el test *blower door* se requieren dos personas. El técnico que maneje el equipo debe tener formación específica.

4.6. TERMOFLUJÓMETRO. SONDA VALOR U

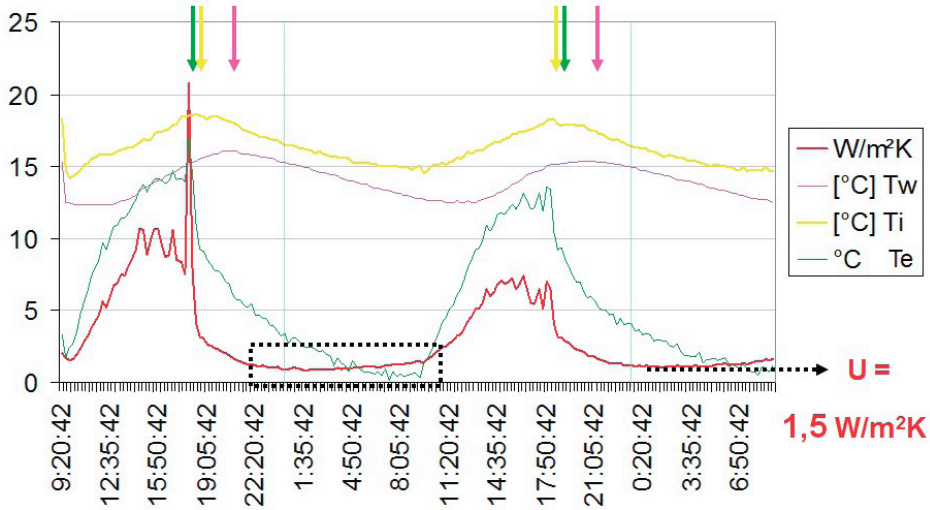






APLICACIONES	Calcular en valor de transmitancia real de los cerramientos. Mide la temperatura superficial de la pared y la temperatura ambiente interior y exterior.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de temperatura: -50 / 150 ºC Precisión: ± 0,2 ºC En la pantalla se muestran las lecturas instantáneas. Monitorización: almacena 10.000 lecturas. Conexión externa con PC a través de USB. Sonda exterior conectada por radio.
CALIBRACIÓN	Requiere una calibración cada dos años.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 1000 €
NORMATIVA	CTE DB HE. Ahorro de energía. 2. Caracterización y cuantificación de las exigencias. 2.1. Demanda energética. Tabla 2.1. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones de la envolvente térmica U en W/m²K. CTE DB HE. Ahorro de energía. Apéndice G. Condensaciones. G2. Comprobación de las condensaciones. UNE-EN ISO 6946:1997. Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo. UNE-EN ISO 13789:2001. Prestaciones térmicas de los edificios. Coeficiente de pérdida por transmisión de calor. Método de cálculo.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Cámara termográfica para determinar el punto a monitorizar. A este equipo se le pueden añadir múltiples sondas: anemómetro, punto de rocío, CO2, higrómetro, etc. **Datalogger.** Almacena hasta 16.000 lecturas de temperatura y humedad (a partir de 70 €).

PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Las sondas deben conectarse al equipo antes de su puesta en marcha para que pueda reconocerlas. La sonda para la temperatura ambiente exterior se conecta por radio y la de temperatura superficial, a través de la clavija. El proceso de medición debe realizarse durante 72 horas. Antes de empezar, se elige en qué parte del paramento se va a adherir la sonda con masilla para medir su temperatura superficial. La sonda exterior debe estar separada unos 20 cm de la fachada y hay que protegerla de la lluvia. El intervalo de medición se puede programar cada 15 minutos. El valor de medición de U en W/m^2K se ve reflejado en la pantalla como valores instantáneos al mismo tiempo que los valores de las temperaturas interior, exterior y del paramento interior. Los datos óptimos de lectura se obtienen cuando el salto térmico interior-exterior es mayor o igual a 20 ºC. Una vez completada la medición, se descarga la información en el ordenador, y una gráfica muestra todos los valores obtenidos. Los valores a tener en cuenta son aquellos en los que el salto térmico es de al menos 15 ºC con la curva en un momento estacionario, es decir, con la recta horizontal.



UNIDADES	Transmitancia térmica: W/m^2K Temperatura: ºC
OTRAS CONSIDERACIONES	Hay que tener cuidado de colocarlo en un lugar del que no pueda ser sustraído, especialmente la sonda exterior, y que no esté sometido a la radiación directa del Sol ni al agua.

4.7. MEDIDOR DE ESPESOR DE PINTURAS





APLICACIONES	Se emplea para inspeccionar y medir el espesor de uno o varios recubrimientos en prácticamente cualquier sustrato, incluidos maderas, plásticos, metales, etc. Se puede medir tanto el espesor de la pintura húmeda como el espesor seco. También se usa para observar y medir los defectos del sustrato y de la película.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Existen muchos tipos de medidores de espesores de pinturas. Sobre pintura seca, en función del tipo de soporte (no destructivos/digitales y destructivos porque se requiere una pequeña muestra del material): • Metales no férricos • Metales férricos • Yesos, morteros, maderas, plásticos, etc. Sobre pintura húmeda (no destructivos): • Chapa de acero inoxidable con perforaciones calibradas en el contorno • Rueda formada por dos círculos excéntricos Para un medidor de espesores en seco sobre varios soportes: • Cuchillas de varios tamaños de corte y posición • Fuente luminosa led • Rango: 2 a 1800 micras / 0,1 a 70 milésimas • Microscopio: aumento 50x • Rango de escala: 0,00 - 1,8 mm (cálculo rectilíneo) • Variación: la precisión depende del ángulo de corte de la cuchilla y de la lectura del usuario.

RANGO DE PRECIOS	A partir de 60 €
NORMATIVA	CTE DB SE-A. Acero. 1. Generalidades. 1.2. Condiciones particulares para el cumplimiento del DB-SE-A. Apartado 2. La documentación del proyecto incluirá además: b) las características mecánicas de las pinturas. CTE DB SE-A. Acero. 3. Durabilidad. Apartado 2. Definición de las especificaciones a cumplir por las pinturas. Apartado 7. Métodos de recubrimiento. CTE DB SU 4. Señalización. UNE-ENV 1090-1:1997. Ejecución de estructuras de acero. Parte 1. Reglas generales y reglas para edificación. UNE-EN ISO 2808:2007. Pinturas y barnices. Determinación del espesor de película.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Colorímetro.** Herramienta que identifica el color y el matiz para conseguir una medida más objetiva del color. Cartulinas de opacidad con áreas blancas y negras para instrumentos de medida de reflectancia, observaciones visuales de opacidad y color.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Sobre pintura seca: Se efectúa una pequeña incisión en la capa de pintura y se mide su anchura con un microscopio integrado con una escala de medición que determina el espesor en milésimas o micras. Se debe usar la luz interna y ajustar el enfoque para observar la muestra. Sobre pintura húmeda: En el caso de la chapa de acero, es suficiente con arrastrarla por la superficie y ver qué perforación se ha colmatado de pintura para identificar el espesor de la muestra. Si se trata de un modelo de ruedas para medir, también hay que hacerlo rodar sobre la superficie. El espesor resultante se marca donde la rueda interior se queda impregnada de pintura.
UNIDADES	Micras y milímetros

4.8. MULTIDETECTOR DE MATERIALES



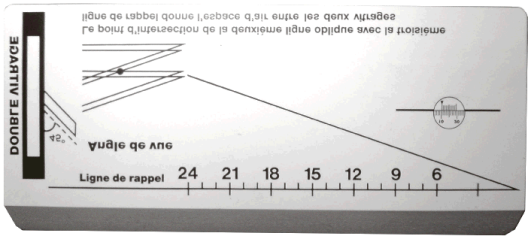
APLICACIONES	Detecta los siguientes elementos ocultos bajo los revestimientos secos: • Metales férricos y no férricos • Cables conductores de tensión • Vigas de madera
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Profundidad de detección en el acero: máxima de 100 mm Profundidad de detección del cobre: máxima de 80 mm Profundidad de detección de cables conductores de corriente en carga (110-230 V): máxima de 50 mm Profundidad de detección de la madera: máxima de 25 mm Temperatura de trabajo: –10 °C, +50 °C
CALIBRACIÓN	Este equipo cuenta con una opción de recalibración.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 100 €
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	El equipo de medición se coloca sobre la superficie a explorar y se desplaza sobre ella en los dos ejes. Antes hay que elegir el tipo de material que se pretende localizar. Al aproximarse al elemento detectado, aumenta la señal luminosa. Si se está sobre él, también emite una señal acústica. Si el elemento es muy profundo, puede iluminarse el sensor pero no llegar a producir la señal acústica. En los objetos anchos, no se identifican el principio y el fin, pero las señales acústica y luminosa son más duraderas. Es fundamental seleccionar bien la modalidad para conseguir buenos resultados. La profundidad de detección máxima para objetos metálicos se consigue en la modalidad «Metal» y la de objetos no metálicos, en la modalidad «Tabiquería ligera». Los conductores bajo tensión se detectan en todas las modalidades. En la modalidad «Tabiquería ligera», se detectan objetos de todo tipo. «Metal» es apropiada para detectar objetos magnéticos y no magnéticos. Los conductores eléctricos pueden localizarse más fácilmente si se enchufa un aparato al conductor que se desea detectar.
UNIDADES	Es adimensional
OTRAS CONSIDERACIONES	La humedad del aire o la proximidad de otros aparatos eléctricos puede afectar a la precisión del equipo. La naturaleza y el estado de las paredes, así como la cantidad, el tipo y la posición de los objetos, pueden desvirtuar los resultados en las mediciones. Hay que comprobar que la cara de medición del aparato esté limpia para no alterar resultados.

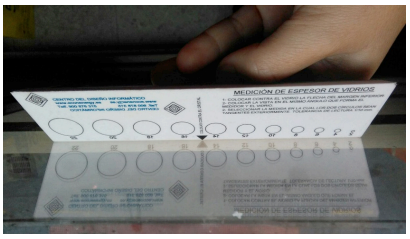
4.9. HUMIDÍMETRO



APLICACIONES	Se emplea para realizar una inspección superficial de los paramentos. Permite obtener los valores de humedad superficial en yesos, morteros, hormigones y maderas.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Profundidad de medición: aproximadamente 50 mm Precisión: ± 1 % Resolución: 0,1 % Funciones: *hold,* mínimo, máximo
CALIBRACIÓN	Este equipo se puede autocalibrar. Hay que colocarlo sobre una superficie seca y que no transmita humedad. Se presiona el medidor sobre la superficie y se pulsa durante varios segundos. El equipo compara el valor con los patrones de referencia, según el modelo.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 240 €
NORMATIVA	UNE 13788:2002. Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo. UNE 56530:1977. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del contenido de humedad mediante higrómetro de resistencia
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Cámara termográfica
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Para obtener un valor con el medidor de humedad, solo es necesario seleccionar el tipo de madera o de material de construcción y situar los electrodos sobre la superficie. El valor de humedad superficial aparece en la pantalla. El humidímetro realiza la lectura mientras está en contacto directo. Al desaparecer el contacto, el valor de humedad es 0. El método de medición se basa en una constante dieléctrica y una alta frecuencia. Las ondas electromagnéticas penetran unos 50 mm desde la superficie. El valor del resultado es un promedio de una profundad de 50 mm. Algunos equipos incluyen la función de higrómetro y miden la humedad relativa 0-100 %.
UNIDADES	0-60 % en maderas 0-10 % en materiales de construcción
OTRAS CONSIDERACIONES	Se debe aplicar una imprimación sobre la superficie antes de emplearlo.

4.10. VITRÓMETRO





APLICACIONES	Mide el espesor de los vidrios. Mide la separación entre dos vidrios.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de medición del espesor: 2-22 mm Rango de medición de la separación: 3-28 mm
CALIBRACIÓN	No requiere.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 10 € Muchas casas comerciales los regalan como publicidad.
NORMATIVA	UNE-EN 673:1998. Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica, U. Método de cálculo. UNE-EN 410:1998. Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Medidor de espesor de vidrios por ultrasonido: a partir de 300 € Calibrador métrico para vidrios: a partir de 40 €
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Para medir el espesor de un vidrio simple, se coloca el vitrómetro contra el vidrio, con el que el equipo formará un ángulo de 45º. La observación se hace en la prolongación del plano del vitrómetro y se selecciona la medida en la cual los dos círculos forman tangente exteriormente. Para medir el espesor de la cámara de aire entre dos vidrios, el vitrómetro se coloca contra la cara opuesta del vidrio, y formará un ángulo de 45º. La observación se hace en la prolongación del plano del vitrómetro. El espesor de la separación entre los dos vidrios es la cifra que coincide con la intersección de la segunda línea oblicua y la tercera línea, según el esquema que viene impreso.
UNIDADES	La correspondencia entre la imagen reflejada y la de la tarjeta da el valor del espesor buscado en milímetros.
OTRAS CONSIDERACIONES	Hay que medir sobre vidrios situados a la sombra, no bajo la radiación directa del Sol.
APP	Medidor de vidrio **Control Glass**

4.11. ENSAYO DE ADHERENCIA



APLICACIONES	Esta prueba determina la adherencia del revestimiento mediante la medición de la fuerza de arranque necesaria para retirar la sufridera del revestimiento. Se aplica para comprobar la adherencia de pinturas y revestimientos de fachadas, enlucidos de interiores, baldosas y tratamientos pétreos. Detecta posibles desperfectos del revestimiento. También se emplea para controlar la calidad en un trabajo de recubrimiento o definir si un sistema de revestimiento existente debe eliminarse antes de aplicar pintura nueva.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Medidor de adherencia Sufrideras: 20 y 50 mm de diámetro Herramientas para corte Rótula/perno de tracción Fuerza: 5-1000 kgf (0,05-10 kN)
CALIBRACIÓN	Cuenta con calibración y escalado automáticos mediante microprocesador.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 1800 €
NORMATIVA	CTE DB HS. Salubridad. 2. Diseño. 2.3. Fachadas. 2.3.2. Condiciones de las soluciones constructivas. Punto 2. Adherencia al soporte suficiente para garantizar su estabilidad. UNE 24624. Pinturas y barnices. Ensayo de adherencia. Método de tracción. UNE 1015-12. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12. Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros de revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Cámara termográfica.** Ayuda a determinar los puntos adecuados para realizar el ensayo de adherencia.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se adhiere una sufridera a la superficie a estudiar y se hace un corte en la capa que la rodea para aislarla. Se coloca el instrumento sobre ella y se gira una rueda para ejercer mayor fuerza de arranque de manera progresiva. Cuando se produce el desprendimiento, el *display* electrónico muestra en la pantalla la fuerza ejercida en el momento de despegue.
UNIDADES	kgf - kg/cm^2 - kN
OTRAS CONSIDERACIONES	La adherencia de un recubrimiento a una superficie depende en gran medida de la calidad del proceso de preparación de esta. También es importante que el recubrimiento y el sustrato sean compatibles. Se recomienda encargar el ensayo a un laboratorio que entregue un acta acreditada. El coste orientativo es de 35 €, más el coste del informe y de los desplazamientos.

5. INSTALACIONES

Las instalaciones son los elementos dinámicos de los edificios. Cuando estos presentan una disfunción, suelen provocar algún tipo de lesión.

Las instalaciones que provocan los daños más graves son las de saneamiento, ya que, si estas fallan en arquetas enterradas, se ve afectado todo el edificio a través de la cimentación. Pero también son importantes las lesiones provocadas por pérdidas en las redes de fontanería, ventilación o electricidad.

Uno de los fallos más habituales se produce cuando el sistema de ventilación a través de *shunts* no es estanco en su paso por los forjados y los falsos techos, lo que da lugar a olores. Los botes de humo sirven para controlar tanto esta red de ventilación con la ventilación y estanqueidad de las redes de saneamiento. Una red que funciona bien mantiene o evacua el humo por los canales adecuados sin producir interferencias. En cambio, una red no estanca permite fugas fácilmente visibles e identificables.

Otra queja común suele ser la falta de presión en la red. Esta se puede comprobar con manómetros y por el caudal que pasa por las tuberías, para lo que se aconseja contar con el apoyo de un fontanero.

También conviene contar con un electricista para manipular cuadros eléctricos o identificar un esquema unifilar, una puesta a tierra o la tensión de un cable.

A continuación se presenta un ejemplo del empleo de los equipos en las instalaciones:

- Edificio residencial con problemas de olores.

  Con los botes de humo, se comprobó que no existían fugas en la instalación de *shunt* del edificio ni otros factores condicionantes. Se comparó el cálculo de la instalación de ventilación en el proyecto con lo realmente instalado y se pudo determinar que el motor ejercía un esfuerzo excesivo al succionar el aire (y los olores) de los conductos de extracción de las campanas de las cocinas. Se solucionó con un regulador de potencia del motor.

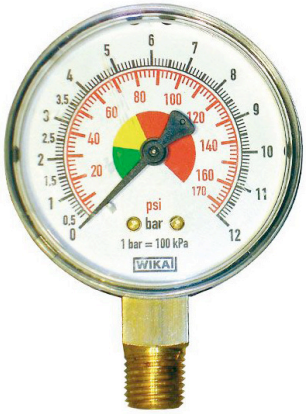
5.1. BOTES DE HUMO



APLICACIONES	Verifica la estanqueidad de los conductos de las instalaciones de ventilación o de saneamiento, de los conductos de chimeneas tradicionales o de instalaciones de gas y de instalaciones contra incendios: detectores de humo, estanqueidad de recintos.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Existe una gran variedad de productos de pirotecnia para usar en edificaciones. Se debe elegir el más adecuado en función del uso que se le va a dar. Las características del humo que hay que considerar son: el color, la duración, el volumen y el olor.
CALIBRACIÓN	No precisan, pues son elementos de un solo uso.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 5 €
NORMATIVA	CTE DB HS. Salubridad. 5. Construcción. 5.6. Pruebas. 5.6.5. Prueba con humo. CTE DB SI. Seguridad en caso de incendio. SI3. Evacuación de ocupantes. 3.8. Control del humo de incendio. UNE-EN 12101-3:2002. Sistemas de control de humos y calor. Parte 3. Especificaciones para aireadores, extractores de humos y calor mecánicos. UNE-EN 13501-4:2007+A1:2010. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 4. Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de resistencia al fuego de componentes de sistemas de control de humo. UNE-EN 1366-8:2005. Ensayos de resistencia al fuego de instalaciones de servicio. Parte 8. Conductos para extracción de humo.

NORMATIVA	UNE-EN 1366-9:2009. Ensayos de resistencia al fuego de instalaciones de servicio. Parte 9. Conductos de extracción de humos de un solo compartimento. UNE-EN 1366-10:2016. Ensayos de resistencia al fuego de instalaciones de servicio. Parte 10. Compuertas de control de humos. UNE-EN 1634-3:2006. Ensayos de resistencia al fuego y de control de humo de puertas y elementos de cerramiento de huecos, ventanas practicables y herrajes para la edificación. Parte 3. Ensayos de control de humo para puertas y elementos de cerramiento. UNE-EN 12101. Sistemas para el control del humo y el calor.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Lápiz de humo **Blower door**
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Para medir conductos, ya sean de ventilación o de saneamiento, hay que asegurar el bote en la posición de prueba, encenderlo y tapar el conducto rápidamente para que el humo discurra según el estado de servicio de la instalación. A continuación se comprueba el tiempo que ha tardado en salir, si es una instalación de ventilación. En todos los casos, se verifica que no haya fugas a lo largo de todo el recorrido de la instalación inspeccionada.
OTRAS CONSIDERACIONES	Al tratarse de objetos de pirotecnia, hay que extremar las precauciones en su almacenamiento y su uso. No se deben encender junto a materiales inflamables, pues hay riesgo de incendio. Si se inspeccionan varios conductos de un mismo inmueble, se deben usar humos de diferentes colores para identificar su procedencia en cada caso.

5.2. MANÓMETRO



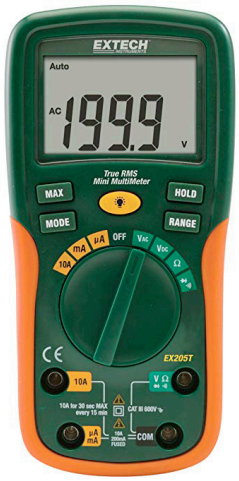
APLICACIONES	Mide la presión de los fluidos (líquidos y gases) en circuitos cerrados y la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, valor al que se llama presión manométrica. A este tipo de manómetros también se los conoce como manómetros de presión.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rangos de presión diferencial: a partir de 0 a 16 mbar Presión de servicio (presión estática): hasta 40 bar Seguridad de sobrecarga: hasta 40 bar Cámara de medición completamente soldada
CALIBRACIÓN	Requiere calibración cuando el manómetro falla al marcar 0.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 16 €; depende del diámetro y la escala de medición.
NORMATIVA	CTE DB HS. Salubridad. 5. Construcción. 5.2. Puesta en servicio. 5.2.1 Pruebas y ensayos de las instalaciones. CTE DB HS. Salubridad. 4. Dimensionado. 4.2. Dimensionado de las redes de distribución. 4.2.2. Comprobación de la presión.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Accesorios para el manómetro: limitador de presión, obturador ajustable, grifo de cierre, sifón circular, pieza intermedia para soporte, válvula de cierre, sifón en forma de U, válvula de cierre con conexión de test de cierre separado, soporte triangular, tuerca loca. Manómetros digitales**.** Dirigidos por un microprocesador, garantizan alta precisión y fiabilidad. Un *display* marca directamente la presión del fluido en la pantalla. A partir de 400 €. Termómetro para tuberías con sujeción mediante muelle. A partir de 11 €.
PROTOCOLO E MEDICIÓN	En primer lugar, hay que seleccionar el manómetro adecuado para cada tipo de instalación. El óptimo es aquel cuya presión de trabajo se encuentra en el tercio medio de la capacidad del equipo. La instalación debe hacerse sin vibraciones, junto a una llave de corte, y tiene que ser estanca. Hay que abrir la llave de paso con suavidad para evitar impulsos de presión que puedan dañar el manómetro. El valor de presión viene marcado por la posición de la aguja en la pantalla. Para controlar el valor de presión 0, hay que cerrar la llave de paso y relajar el muelle. Si el manómetro indica presión, significa que el muelle está deformado y hay que calibrarlo.
UNIDADES	kg/cm^2, bares, pascales o psi (fuerza por pulgada cuad.).
OTRAS CONSIDERACIONES	Se recomienda contar con la ayuda de un fontanero.

5.3. CAUDALÍMETRO

APLICACIONES	El caudalímetro por ultrasonidos se usa en mediciones de control o para detectar de forma rápida el caudal en una tubería.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de medición: 0,01-30 m/s Resolución: 0,0001 m/s Tamaño del tubo: 20-100 mm Precisión en conductos ≥ DN50: ± 1,5 % del valor Precisión en conductos < DN50: ± 1,5 % del valor Reproducibilidad: 1 % del valor Tiempo de respuesta: 0-999 segundos Medio: cualquier líquido con una impureza inferior al 5 % y un caudal superior a 0,3 m^3/h Métodos de instalación del sensor: V, N, Wen función de la posición de los sensores sobre la tubería
RANGO DE PRECIOS	A partir de 1100 €
NORMATIVA	CTE DB HS. Salubridad. 2. Caracterización y cuantificación de las exigencias. 2.1. Propiedades de la instalación. 2.1.3. Condiciones mínimas de suministro. CTE DB HS. Salubridad. 5. Construcción. 5.2. Puesta en servicio. 5.2.1. Pruebas y ensayos de las instalaciones. 5.2.1.2. Pruebas particulares de las instalaciones de ACS.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Termómetro para tuberías. A partir de 11 €. Manómetro
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Los sensores se colocan sobre el tubo, a ambos lados del tubo a medir, y se fijan con una brida, por ejemplo. En poco tiempo, la pantalla indica la velocidad del flujo. El caudalímetro por ultrasonidos se puede usar en tubos metálicos, de plástico y de goma. Trabaja según el método de diferencia por tiempo de tránsito. La diferencia entre los tiempos de flujo en dirección de la corriente, o en contra de ella, depende de forma directa de la velocidad del flujo.
UNIDADES	m/s
OTRAS CONSIDERACIONES	Para medir la cantidad de agua que sale por un grifo de acuerdo a la norma, conviene usar un cronómetro y un matraz graduado. Se abre el grifo al máximo y se le coloca debajo el matraz al mismo tiempo que se pone en marcha el cronómetro. Hay que tener en cuenta que la norma mide en dm^3/s y realizar la prueba tanto para agua fría como para agua caliente. No hay coste.



5.4. POLÍMETRO O MULTÍMETRO



APLICACIONES	Se trata de un aparato de medidas eléctricas. Mide magnitudes directamente, como la tensión, la intensidad y la resistencia eléctrica.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Tensión máxima: 600 V Protección frente a subidas: 6 kV Temperatura de trabajo: -10 ºC a +50 ºC Precisión: ± 1 %
RANGO DE PRECIOS	A partir de 200 €
NORMATIVA	UNE 21319. Aparatos de medidas eléctricas registradores de acción directa y sus accesorios. UNE 62754. Cálculo de las incertidumbres de los paramentos de las formas de onda.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Pinzas amperimétricas.** A partir de 460 €. **Osciloscopio.** A partir de 250 €. **Registrador trifásico.** A partir de 2000 €.
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	En primer lugar, se selecciona el campo de medida (A, V, Ω, etc.) y se coloca el aparato en la posición de lectura máxima para evitar que se estropee. Si se comprueba que la escala es muy grande, se la va bajando hasta que sea la apropiada. Una vez hecho esto, se ponen las pinzas, con su cable, en las hembrillas de conexión. La negra siempre va en el agujero que pone «COM» (común) y la roja, en el rojo. Para medir intensidades en corriente alterna, la roja se inserta en la de la izquierda, donde pone «20Amáx». Para todos los demás casos, en al agujero rojo. Para medir resistencias, una pinza se coloca en «COM» y la otra en el agujero rojo. Es importante medir la resistencia siempre con el circuito desconectado, sin tensión. Basta tocar los extremos de la resistencia para que salga el valor en la pantalla digital. En cuanto a la tensión entre dos puntos de un circuito, siempre se debe medir en paralelo. La intensidad que atraviesa un receptor siempre se debe medir en serie.
UNIDADES	Intensidad: amperios (A) Tensión: voltios (V) Resistencia: ohmios (Ω) Frecuencia: hercios (Hz)

6. AMBIENTE

Los equipos que miden las condiciones ambientales son los que más se relacionan con las capacidades sensitivas: frío, calor, humedad, iluminación, sonidos, ruidos, ambientes cargados o con olores, etc. Indudablemente, están muy vinculados a los presentados en los dos capítulos anteriores: «Envolvente» e «Instalaciones».

Abre este capítulo la carta psicrométrica, ya que es necesario entenderla para comprender los procesos intrínsecos entre humedad y temperatura cuya disfuncionalidad provoca falta de confort o lesiones. Por lo tanto, se requiere un termohigrómetro para medir de manera puntual o para recoger medidas secuenciales y analizar patrones.

Si hay un problema de ruido, ya sea por el emisor (bar, taller mecánico, etc.) o por falta de aislamiento del edificio, se debe recurrir al uso de un sonómetro manejado por un experto en su uso. El equipo debe estar bien calibrado para que los resultados puedan emplearse en la posterior reclamación.

En el ámbito de la prevención de riesgos laborales, el luxómetro comprueba la cantidad de luz en diferentes ambientes o espacios de trabajo. Además, de acuerdo con el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios), las concentraciones de CO_2 en el aire son un condicionante según el tipo de uso de las instalaciones proyectadas.

Los anemómetros informan sobre la velocidad del aire.
El de molinete se usa en ambientes exteriores y sus resultados complementan los obtenidos con otras técnicas, como el sonómetro o el *blower door* (el uso de estos equipos requiere una velocidad máxima del aire). En cambio, el de hilo caliente mide la velocidad del aire en las bocas de los equipos de climatización y detecta infiltraciones.

Por último, algo tan al alcance como una linterna de luz ultravioleta permite apreciar los residuos de hongos que proliferan en las humedades de condensación, y determinar si se trata de falta de ventilación por parte de los usuarios o de un puente térmico.

A continuación se presentan algunos ejemplos del empleo de estos equipos en el ambiente:

- Colegio con problemas de ventilación.

  Se instaló un sistema de monitorización de CO_2, se realizó una prueba de *blower door* en el aula y se emplearon botes de humo para comprobar las instalaciones de ventilación a través del shunt existente. A pesar de la alta ocupación del aula y las excesivas infiltraciones de aire a través de las carpinterías, había un problema de ventilación por la falta de estanqueidad de los *shunts*, sin efecto Venturi.

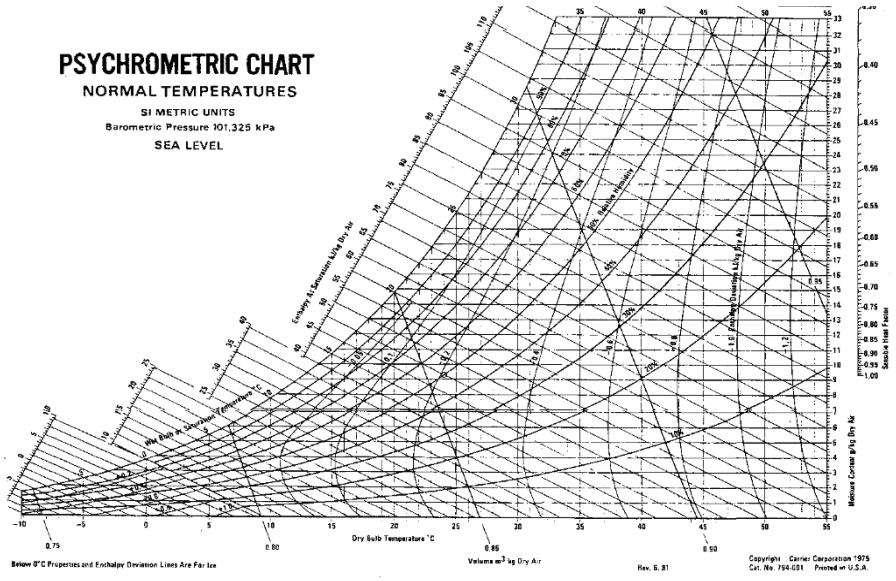
- Trasteros con humedades de condensación.

  Tras comprobar que existía un problema de ventilación, se usó una linterna de luz ultravioleta para determinar el alcance de los hongos, que era mucho mayor de lo que parecía a simple vista. La termografía permitió saber que el exceso de humedad en el ambiente provenía de unas filtraciones de agua a través de la junta de hormigonado y medir el alcance de la humedad activa.

- Vivienda con humedades de condensación.

  La vivienda estaba bien ventilada. Con un endoscopio, se determinó que la cámara de aire del cerramiento contaba con suficiente aislamiento. Pero, a pesar de ello, había condensación en todo el marco alrededor de la ventana. Se monitorizaron las condiciones de temperatura y humedad de la estancia; los valores eran los estándares. Se comprobó que el marco producía un puente térmico.

6.1. CARTA PSICROMÉTRICA



APLICACIONES	Se trata de una gráfica trazada con los valores de las tablas psicrométricas. Se utiliza para determinar las variaciones de las propiedades del aire (temperatura, humedad relativa, volumen, presión, etc.) cuando su humedad cambia.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Cada carta psicrométrica es específica para una presión atmosférica determinada; la presión a nivel del mar es de 760 mmHg, 1 atm o 1,01325 bar. Los parámetros que se miden en la tabla son: temperatura de bulbo seco (bs), de bulbo húmedo (bh) y de punto de rocío (pr); humedad relativa (hr) y absoluta (ha); entalpía (h), y volumen específico.
NORMATIVA	CTE DB HE. Ahorro de energía. Apéndice G. Condensaciones. G3. Relaciones psicrométricas.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Psicrómetro**
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Si se conocen dos propiedades del aire cualesquiera, las otras pueden determinarse a partir de la carta. **Temperatura de bulbo seco.** Este valor se obtiene en la abscisa (eje X) de la carta y está representado por las líneas verticales. **Temperatura de bulbo húmedo.** Es la temperatura resultante al evaporarse el agua de la mecha que cubre un termómetro ordinario. Su valor se representa a la derecha, en las ordenadas (eje Y). Las líneas de temperatura de bulbo húmedo constantes corren diagonalmente, en un ángulo de unos 30º con la horizontal. **Temperatura de punto de rocío.** Es la temperatura a la cual la humedad se condensa sobre una superficie. Su valor se mide en la escala de las temperaturas de bulbo seco, pero las líneas corren horizontalmente.

PROTOCOLO DE MEDICIÓN	**Humedad relativa.** las líneas de humedad relativa constante son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha. Se expresan siempre en porcentajes, y este valor se indica sobre cada línea. La línea curva exterior representa una condición de saturación, o del 100 % de humedad relativa. Allí se debe medir la temperatura de rocío. **Humedad absoluta.** Es el peso real del vapor de agua en el aire, también conocido como humedad específica. Su valor se representa a la derecha, en las ordenadas (eje Y). Las líneas de humedad absoluta corren horizontalmente de derecha a izquierda; son paralelas a las líneas de punto de rocío y coinciden con ellas. Así pues, la humedad del aire depende de su punto de rocío. **Entalpía. L**as líneas de entalpía constantes son extensiones de las de bulbo húmedo, puesto que de ello depende el calor total del aire. Este valor expresa la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno durante la transformación isobárica. **Volumen específico.** Las líneas del volumen específico constante están en un ángulo aproximado de 60º con la horizontal. Por lo general, el espacio entre cada línea representa un cambio de volumen específico de 0,05 m³/kg, y se debe estimar cualquier punto que caiga entre dos de estas líneas. Como la mayor parte de los cálculos en trabajos de aire acondicionado se basan en el peso del aire en lugar de en su volumen, se recomienda usar el volumen específico (m³/kg de aire) en vez de la densidad (kg/m³ de aire).
UNIDADES	Temperatura: ºC (grados centígrados) Volumen: m³/kg Humedad relativa: % Contenido de humedad: g/kg de aire seco Entalpía: kJ/Kg de aire seco Entropía: kJ/kg de aire seco Presión: mbar y mmHg
APP	**Air Lite Psychrometric Calcs**

6.2. HIGRÓMETRO





APLICACIONES	Mide el grado de humedad del aire.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de medición: 0-100 % Precisión: ± 2,5 % Temperatura de trabajo: 4-46 ºC Registro de valores: máximo y mínimo
CALIBRACIÓN	Requiere calibración periódica.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 20 €
NORMATIVA	Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios. Tabla 1.4.4.4. Condiciones interiores de diseño.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Termómetro Anemómetro Barómetro Estación meteorológica Termohigrómetro con funciones psicrométricas. A partir de 650 € Cámara termográfica
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Es suficiente con encenderlo para que comience a registrar los parámetros de humedad ambiente.
UNIDADES	%
OTRAS CONSIDERACIONES	Conviene escoger un equipo que realice lecturas instantáneas y que no tarde en encontrar el equilibrio. Normalmente estos equipos no se venden con esta única función, sino que incorporan más valores ambientales.
APP	**Hygrometer**

6.3. LUXÓMETRO



APLICACIONES	Mide la luminancia en los diferentes planos de trabajo sobre todo en interiores. También la luminancia exterior (alumbrado nocturno): calles y carreteras.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de medición: 0,1-150.000 lx / 0,01-13.940 fc Precisión: 1 % Temperatura de trabajo: de 0 a +50 ºC.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 70 €
NORMATIVA	CTE DB SU-4. Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada. UNE 12464-1. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I. Lugares de trabajo en interiores. RD 486/1997, 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. UNE 12193. Iluminación. Alumbrado de instalaciones deportivas. UNE 72112. Tareas visuales. Clasificación. UNE 72163. Niveles de iluminación. Asignación de tareas visuales. UNE 72011. Detectores y receptores de energía radiante. UNE 11664-1. Colorimetría. Parte 1. Observadores colorimétricos patrón CIE. UNE 15886. Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	**Colorímetro.** Herramienta que identifica el color y el matiz para medir el color con mayor objetividad. A partir de 430 €. Luxómetro para alumbrado público.

PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se pone en funcionamiento es a través de un botón *on/off*. En función de la mayor o menor luminancia de cada ambiente, se emplea una escala determinada: x1 lux, x10 lux o 100 lux. La célula fotoeléctrica capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos que se corresponden con una escala de luxes. Se debe medir exclusivamente la iluminación artificial, sin tener en cuenta la natural. El luxómetro debe colocarse en el plano de trabajo sin que haya proyección de sombras sobre él.
UNIDADES	Evaluación orientativa de las exigencias visuales E_m en lux (E_m: iluminancia media horizontal mantenida): • Muy bajas: vestíbulos, pasillos, corredores, garajes… 50-200 lux • Bajas: gimnasios, archivos, aulas, bares, tiendas… 200-500 lux • Medias: oficinas, zonas de lectura, laboratorios… 500-1000 lux • Altas: quirófanos, bancos dentales, grabados, pinturas… 1000-5000 lux
OTRAS CONSIDERACIONES	No se deben proyectar sombras sobre la célula que puedan alterar la medición. La célula fotoeléctrica siempre se debe colocar en horizontal sobre el plano de trabajo en estudio. La medición no debe verse alterada por otras fuentes lumínicas. Por ejemplo, el plano de una mesa de trabajo junto a una ventana tiene diferente iluminación de día que con luz artificial.
APP	**Light Meter** **Color Detector**

6.4. SONÓMETRO



APLICACIONES	Se utiliza para realizar ensayos de aislamiento de ruido aéreo frente al exterior, impactos, tiempo de reverberación e inmisión de ruido a recinto colindantes y al exterior.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	**Sonómetro y medidor de ruido:** • Uso interior o exterior • Conexión remota: wifi, 3G y GPS • Micrófono a prueba de agua • Medida en dirección de referencia: 0-90º de la fuente **Fuente omnidireccional:** • Nivel de potencia sonora: LW 122 dB (con ruido rosa, 1/3 de octava) • Altavoces con imanes • Amplificador integrado: 300 W RMS (600 W pico); disipación de calor muy baja • Generador de ruido rosa, blanco y sinusoidal integrado en el altavoz • Control remoto RF de la fuente **Máquina de impactos:** • Frecuencia de impacto: 10 Hz ± 0,01 % • Velocidad de impacto: 0,886 m/s ± 3 % **Calibrador.** Dispone de un sensor que detecta la presión atmosférica y corrige la amplitud de la señal de salida, de forma que el nivel sonoro sea constante.
CALIBRACIÓN	Requiere una calibración periódica en una entidad de control y una calibración antes de cada medición.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 4000 €

NORMATIVA	UNE 6926. Acústica. Requisitos de funcionamiento y calibración de fuentes acústicas de referencia empleadas para la determinación de los niveles de potencia acústica. UNE 16032. Acústica. Medición del nivel de presión sonora de los equipos técnicos en los edificios. Método de peritaje. Método para medir el nivel de presión sonora producido por los equipos técnicos de los edificios instalados en sus estructuras. UNE 18233. Acústica. Aplicación de nuevos métodos de medición en la acústica de los edificios y recintos. Medición de las propiedades acústicas de los edificios y los elementos de construcción. Mediciones tales como el aislamiento al ruido aéreo en recintos y fachadas, el tiempo de reverberación y otros parámetros acústicos de los recintos, la absorción acústica en un recinto reverberante y las diferencias de nivel de vibración y factor de pérdida. UNE 1996-1-2. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1. Magnitudes básicas y métodos de evaluación. Parte 2. Determinación de los niveles de ruido ambiental. UNE 12999-1. Acústica. Determinación y aplicación de las incertidumbres de medición en la acústica de edificios. Parte 1. Aislamiento acústico. UNE 17624. Acústica. Directrices para el control del ruido en oficinas y talleres mediante pantallas acústicas. UNE 3382-1-2-3. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1. Salas de espectáculos. Parte 2. Tiempo de reverberación en recintos ordinarios. Parte 3. Oficinas diáfanas. UNE 15186-2. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción utilizando intensidad sonora. Parte 2. Mediciones *in situ*. UNE 16283-1-2-3. Acústica. Medición *in situ* del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1. Aislamiento a ruido aéreo. Parte 2. Aislamiento a ruido de impactos. Parte 3. Aislamiento a ruido de fachada.

UNE 140-7. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 7. Medición *in situ* del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.

UNE 2631-2. Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 2. Vibración en edificios (1-80 Hz).

Laboratorio de ensayos in situ UNE 17015. Permite certificar que se reúnen los requisitos y la competencia técnica para elaborar informes de prevención acústica y hacer ensayos acústicos reglamentarios para autorizaciones ambientales o licencias de nuevas actividades comerciales y de ocio, o ampliación de las existentes.

Laboratorio de ensayos in situ UNE 17025. Permite certificar que se reúnen los requisitos y la competencia técnica para elaborar informes reglamentarios de acuerdo al CTE DB-HR.



PROTOCOLO DE MEDICIÓN

Existen tres horarios o períodos para realizar la medición:

- Diurno: de 7.00 a 19.00 horas
- Vespertino: de 19.00 a 23.00 horas
- Nocturno: de 23.00 a 7.00 horas

Medición de emisores en interiores. El sonómetro se debe situar lo más alejado posible del observador, a una distancia mayor o igual a 1,20 m del suelo, de techos y de paredes, a ≥ 1,50 m de cualquier puerta o ventana, o en el centro del recinto si no es posible respetar esas distancias; siempre con las ventanas y huecos cerrados.

PROTOCOLO DE MEDICIÓN	**Medición de emisores en ambientes exteriores.** El sonómetro se debe situar a una distancia mayor o igual a 1,50 m, a ≥ 1,50 m de la fachada, frente al elemento separador de aislamiento más débil, o a ≥ 1,50 m del límite de actividad, si se trata de actividades o instalaciones al aire libre. En exteriores, es preciso usar una pantalla antiviento. No se puede medir con velocidades superiores a 5 m/s; tampoco si llueve. En cambio, sí es posible medir en el interior con lluvia, pero su ruido se incluye como ruido de fondo. **Medición de vibraciones.** Se ha de medir en el punto y el momento en que la vibración sea máxima, durante un periodo de tiempo significativo. Se deben hacer tres mediciones; el resultado es el valor más alto obtenido. Antes y después de cada medición, se verifica la cadena de medición con un calibrador de vibraciones que garantice su buen funcionamiento. Hay que tener en cuenta la corrección de la medida por la vibración de fondo (vibración con el emisor parado). **Medición de impacto.** Se lleva a cabo en locales en los que se realizan actividad susceptibles de producir ruidos de impacto (discotecas, gimnasios, escuelas de baile, etc.). Como fuente generadora, se emplea una máquina de impactos normalizada (UNE 140.7). Se la sitúa en el local emisor al menos en dos posiciones diferentes y en cada una se mide el L_{Aeq} (nivel sonoro continuo equivalente ponderado en dBA) durante diez segundos con al menos dos posiciones de micrófono en la sala receptora. Antes y después de cada medición, es preceptivo comprobar la acústica de la cadena de medición mediante un calibrador de nivel para garantizar que la medición no difiere del patrón en ± 0,3 dB. El técnico debe hacer constar en el acta el resultado positivo de la comprobación. Se deben respetar las siguientes distancias mínimas: > 0,7 m entre posiciones de micrófono, > 0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes de la sala y > 1 m entre cualquier posición de micrófono y el suelo de la sala receptora.
UNIDADES	Decibelios: dB
OTRAS CONSIDERACIONES	Para realizar mediciones técnicas con sonómetro, es necesario tener formación específica y estar acreditado ante el organismo oficial correspondiente. Sociedad Española de Acústica (SEA): http://www.sea-acustica.es/
APP	**Sound Meter** SPL Meter

6.5. TERMOANEMÓMETRO DE MOLINETE



APLICACIONES	Mide la velocidad instantánea del viento. En ingeniería civil, se usa para la seguridad de la obra y de las condiciones de trabajo, la operación segura de grúas o la medición del esfuerzo del viento. Con el *blower door,* se usa para evaluar las condiciones exteriores previas a los trabajos.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de medición: 0,4-30,0 m/s Precisión: ± 4 %
CALIBRACIÓN	Requiere una calibración periódica en un túnel de viento.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 20 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Estación meteorológica
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Se enciende el equipo y se seleccionan las unidades en las que se desea medir. Se orienta el aspa del molinete en la dirección del viento y se espera a que el valor se estabilice. Hay que tener en cuenta que la velocidad del viento puede fluctuar ligeramente.
UNIDADES	mph: millas por hora km/h: kilómetro por hora Nudos: millas náuticas por hora m/s: metros por segundo ft/min: pies por minuto

Escala de velocidades del viento (a 10 m de altura)

m/s	Clasificación del viento
0,0-0,4	Calma
0,4-1,8	Ligero
1,8-3,6	
3,6-5,8	
5,8-8,5	Moderado
8,5-11	Fresco
11-14	Fuerte
14-17	
17-21	Temporal
21-25	
25-29	Fuerte temporal
29-34	

OTRAS CONSIDERACIONES	Estos equipos suelen venir acompañados de otras funciones, como termómetro, higrómetro, etc. No sirven para medir la velocidad del aire en conductos ni en infiltraciones de aire.
APP	**Anemometer** **Anemómetro Vaavud**

6.6. TERMOANEMÓMETRO DE HILO CALIENTE ●○○

APLICACIONES	Mide la velocidad y la temperatura de las infiltraciones de aire y de los conductos. En estos últimos, también verifica el caudal y el estado de los filtros.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Rango de medición: 0,4-25 m/s Precisión para la velocidad del aire: ± 5 % Resolución: 0,1 m/s Rango de medición de la temperatura ambiente: de 0 a +50 ºC Precisión para la temperatura: ± 0,8 ºC Caudal: 0-54 m^3/min Resolución para el caudal: 0,001
CALIBRACIÓN	Se calibra con el túnel de viento conforme a estándares trazables. El dispositivo o álabe se inserta en el túnel y se prueba con velocidades de aire uniformes de entre 0,13 y 45 m/s.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 140 €
NORMATIVA	UNE 13182. Ventilación de edificios. Requisitos de instrumentos para medición de velocidad de aire en espacios ventilados.
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	*Blower door* Cámara termográfica Lápices de humo
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Una vez encendido el equipo y extendida la antena hasta la longitud necesaria, el propio equipo realiza una prueba automática. Se deben seleccionar las unidades de medida deseadas y se pone el lector en valor 0. Se tapa el sensor y se lo lleva hasta la zona que se desee medir. Se deja allí durante un rato para que se adapte al ambiente y se vuelve a poner el lector en valor 0. Se quita la tapa y se coloca el sensor en la corriente de aire que se va a medir. El flujo de aire debe chocar con la cabeza del sensor. Los valores de velocidad y temperatura aparecen reflejados en la pantalla. Se pueden comprobar los valores máximos y mínimos de la medición.
UNIDADES	Velocidad: m/s Temperatura: ºC
OTRAS CONSIDERACIONES	No es válido para medir corrientes de aire exteriores. En estos casos, se debe usar el termoanemómetro de molinete.





6.7 MEDIDOR DE CO_2



APLICACIONES	Recoge la concentración de CO_2 en recintos como aulas, oficinas, salas de trabajo, casas pasivas, etc., en los que la producción de CO_2 se debe a la respiración y depende de la ocupación y la ventilación.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Escala: 0-9,999 ppm Resolución: 1 ppm Precisión: ± 5 % rdg, ± 50 ppm
CALIBRACIÓN	Requiere una calibración periódica. Los equipos suelen incorporar un sistema de autocalibrado.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 130 €
NORMATIVA	UNE 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición. UNE 50543:2011. Aparatos electrónicos portátiles y transportables diseñados para la detección y la medición de dióxido de carbono en el aire ambiental de interiores. Requisitos y métodos de ensayo. Interpretación IC 62-1989-3 *of Ashrae Standard* 62-1989. Ventilación para una calidad aceptable del aire interior. RITE 2010. Tabla 1.4.2.3. Concentración de CO_2 en los locales.

Calidad del aire según el uso del edificio o local	**Categoría**	**ppm**
Calidad óptima: hospitales, clínicas…	IDA 1	350
Buena calidad: oficinas, museos, residencias, aulas…	IDA 2	500
Calidad media: hoteles, bares…	IDA 3	800
Calidad baja	IDA 4	1200

EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Botes de humo y lápices de humo Detector de gases con base CFC o HFC. Localiza todas las fugas de los sistemas refrigerantes aun en ambientes contaminados por otros tipos de gases; con alarma acústica y óptica. Detector de gases inflamables. Metano (CH_4), propano (C_3H_8), butano (C_4H_{10}), pentano (C_5H_{12}), hidrógeno (H_2) y etileno (C_2H_4).

PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Comienza a medir al encenderlo y actualiza l as lecturas cada segundo. Si cambia el ámbito de operación (por ejemplo, de temperatura alta a baja), el sensor de CO_2 demora 30 segundos en responder.
UNIDADES	Partes por millón (ppm)
OTRAS CONSIDERACIONES	No se debe medir cerca de la boca o de cualquier otra fuente de CO_2. Niveles de referencia no obligatorios: • 250-350 ppm: nivel del aire en el ambiente (normal) exterior. • 350-1000 ppm: nivel típico en espacios ocupados con buen intercambio de aire. • 1000-2000 ppm: nivel asociado con quejas de somnolencia y aire viciado. • 2000-5000 ppm: nivel asociado con neuralgias; somnolencia; aire estancado, viciado o enrarecido; mala concentración, y pérdida de atención. Puede provocar un aumento de la frecuencia cardiaca y náuseas ligeras. • > 5000 ppm: puede producir una privación excesiva de oxígeno y causar daño cerebral, coma y hasta la muerte.
APP	NODE CO_2**.** Accesorio que se conecta con un iPhone vía Bluetooth y permite medir los niveles de CO_2 del aire.

6.8. LUZ ULTRAVIOLETA



APLICACIONES	Detecta los mohos producidos por diferentes tipos de humedad en los paramentos. La radiación ultravioleta o UV es una radiación electromagnética con una longitud de onda situada entre 400 nm ($4x10^{-7}$ m) y 15 nm ($1,5x10^{-8}$ m), por encima del espectro visible para el ojo humano.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	UV, luz, lámpara ultravioleta de 395 nm, led, linterna.
RANGO DE PRECIOS	A partir de 20 €
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Gafas protectoras
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	En primer lugar, hay que ponerse las gafas protectoras. Es más fácil detectar los mohos si el recinto a inspeccionar está a oscuras. Hay que apuntar con la linterna para identificar las áreas afectadas, después se las marca en el paramento con un lápiz. Las partes afectadas por el moho se ven brillantes.
APP	**UV Light**

6.9. OLFATÓMETRO DINÁMICO



APLICACIONES	Es un instrumento nasal organoléptico, de campo, para cuantificar los olores ambientales y calcular la emisión de olor de los focos. Se emplea en el ámbito de las actividades industriales y de todas las producidas en un edificio que emiten sustancias olorosas y generan molestias en el entorno; también en estudios urbanos y de impacto ambiental.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	La olfatometría de campo define cada nivel discreto de dilución como el cociente «dilución hasta el umbral»; la dilución necesaria para que el olor ambiental no se detecte. • Modos de ensayo: selección forzada triangular, selección forzada binaria, presentación directa, tono hedónico, GB Source, GB Boundry • Paneles: seis estaciones de panelistas y una estación de administrador • Principio de dilución: bomba de vacío de acero inoxidable Venturi • Mecanismo de control: controladores de flujo másico (kg/s) en la entrada de aire inodoro y medidor de flujo másico para la toma de la muestra • Rango de dilución: 22-214 • Pasos de dilución: variables • Secuencia de dilución: aumento o reducción en serie de la dilución • Precisión: error inferior al 5 % • Caudal de presentación: 5-30 lpm • Velocidad de presentación: 0,25 m/s-20 lpm • Tiempo de análisis de la muestra: siete minutos para tres rondas con cinco pasos de dilución por ronda y diez segundos para el olfateo • Consumo de la muestra: menos de 10 l para tres rondas con cinco pasos de dilución y quince segundos para el olfateo

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	• Procesamientos de datos: el PLC procesa los datos de ensayo incluso con criterios y estadísticas. Los datos recogidos se pueden utilizar en hojas de cálculo u otro *software* de procesamiento de datos • Presentación de la muestra: tres puertos de olfateo en acero inoxidable por estación • Materiales en contacto: acero inoxidable en todas las superficies sensibles al olor
CALIBRACIÓN	Requiere calibración.
RANGO DE PRECIOS	Se recomienda encargarlo a un laboratorio. Precio orientativo: 1500 €, más el coste del desplazamiento y el informe.
NORMATIVA	UNE-EN 13725:2004 ERRATUM:2011. Calidad del aire. Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica. UNE 13301:2007. Análisis sensorial. Metodología. Guía general para la medición del olor, de la sensación olfatogustativa y del gusto mediante el procedimiento de elección forzosa de una entre tres alternativas (EFA-3).
PROTOCOLO DE MEDICIÓN	Para las inspecciones de campo, los miembros del panel se desplazan hasta el lugar para medir los olores *in situ*. Se mide el olor en inmisión. En la olfatometría tradicional, los panelistas se desplazan a un laboratorio y evalúan las muestras tomadas en bolsas especiales con un olfatómetro. Se mide el olor en emisión. La gestión de los resultados se realiza a través de un *software* como Ortelium.
UNIDADES	uo_E/m^3 (concentración del olor)
OTRAS CONSIDERACIONES	Un grupo de personas especialmente entrenadas debe llevar a cabo la medición organoléptica.


arquia/e-temas
Guía tecnológica
del arquitecto perito
Todo lo que no es medir es opinar
FQ
Débora Serrano García
6

La **Fundación arquia** es una entidad cultural privada sin ánimo de lucro creada por Arquia Bank en 1990, con el objetivo de promover fines de carácter cultural, social, asistencial, profesional y formativo en el campo de la arquitectura, la construcción, el diseño, el urbanismo y, en general, de todo aquello relacionado con la profesión de los arquitectos.

La colección arquia/e-temas es una publicación en formato digital que permite la visualización, interacción (formato web App) o descarga directa gratuita para los usuarios acreditados. Este formato, más ágil e intuitivo, presenta características y funcionalidades adaptadas a la temática y contenidos, aportando nuevas herramientas para el profesional de la arquitectura. Por tanto, ofrece al colectivo un soporte instrumental para la formación en el ejercicio de la profesión, en sus diferentes perfiles, e incluye procedimientos, información técnica, así como buenas prácticas arquitectónicas.

TÍTULOS PUBLICADOS

arquia/e-temas

01 *Eficiencia energética de la envolvente de los edificios: su definición y cálculo* (2014), María del Carmen Giménez

02 *Seguir siendo arquitecto* (2015), Mónica Bonafonte y Ana Puig-Pey

03 *Cliente y arquitecto: modelos de negocio* (2016), José Javier Quintana Saldise

04 *Técnicas de Inspección en edificios deficientes. Evaluación del estado de conservación de los edificios* (2016), Ignacio García Casas

05 *Patología y recalce de las cimentaciones* (2018), Juan F. Navarro Campos

06 *Guía tecnológica del arquitecto perito* (2019), Débora Serrano García

Fundación Arquia, 2019
fundacion.arquia.es

Este libro está pensado como un manual práctico de consulta y no como un libro de lectura al uso. Tampoco se trata de una edición que esté ya terminada, sino que es un elemento vivo que puede sufrir incorporaciones y ampliaciones, ¿y esto por qué? Pues porque hablamos de equipos tecnológicos y su avance es espectacular; porque cada vez los equipos de diagnóstico pueden ser más pequeños, más versátiles y económicos; porque cada vez hay más equipos distintos que nos permiten analizar nuevas necesidades a las que se enfrenta la arquitectura hoy en día; y porque este libro puede ser más ambicioso y llegar a presentar campañas de inspección y diagnóstico completas que sirvan de una mayor orientación para la aplicación práctica en el quehacer del arquitecto perito.

Débora Serrano García

fundación **arquia**