



END

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

revista • nº 44 • 2º trimestre de 2008



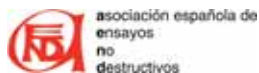
ARTE Y PATRIMONIO

metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido: un estado del arte (parte 2)

ARTÍCULOS TÉCNICOS

validación de probetas para examen práctico

una técnica novedosa en END: ACFM (alternating current field measurement)



Comisión de Dirección:
Presidente

José Manuel Corrales Llavona

Vicepresidentes:

Emilio Romero Ros

Jesús Sanz Yrazu

Jesús Serrano Sánchez

Antonio Soto Agüera

Secretario General

Fermin Gómez Fraile

Director de la Revista:

Jesús Serrano Sánchez

Consejo de Redacción:

Gabriel Delojo Morcillo

Antonio Fuente Souvirón

Elena Gómez Sánchez

Agustín Marín Ruiz

Diego Martínez del Valle

Marta L. Martínez Germán

Publicidad:

e.gomez@aend.org

Teléfono: 913 612 585

Redacción y Coordinación:

Ana Romero Jiménez

Editora

AEND

C/ Bocángel, 28 -2º izda.

28028 Madrid

Teléfono: 913 612 585

Fax: 913 614 761

e-mail: informacion@aend.org

www.aend.org

Diseño, Maquetación y

Producción

PRINTERALIA, Arte & Grafismo.

Ctra. de Fuencarral, 78

28108 Alcobendas (Madrid)

Dep. Legal: M-11.157.1989

sumario



Proceso de validación de probetas



Carta a los lectores 2



Noticias 3

Arte y Patrimonio



Metodologías No Destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido: un estado del arte (parte 2) 12

Artículos técnicos



Validación de probetas para examen práctico 22



Una Técnica novedosa en END:ACFM (Alternating Current Field Measurement) 30

Bases 36

CERTIAEND 44

Formación 50

Pasatiempos 52



arte y patrimonio

Metodologías No Destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido: un estado del arte (parte 2)

I. Lombillo(1), L. Villegas(1), GTED-UC(2)

(1)Departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica, Universidad de Cantabria, Avda. Los Castros s/n, Santander, 39005 España.

Teléfono: 942201743, Fax: 942201747, e-mail: luis.villegas@unican.es, ignacio.lombillo@unican.es

(2)Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria

Avda. Los Castros s/n, Santander, 39005 España.

Teléfono: 942201743, Fax: 942201747, e-mail: gted@unican.es, web: <http://grupos.unican.es/gted/>

Resumen

El propósito del artículo es aportar una visión actualizada de algunas de las metodologías no destructivas aplicadas, de forma general, a la rehabilitación estructural del patrimonio construido.

A este respecto se va a aportar una descripción de las últimas tecnologías y las diferentes tendencias existentes en el panorama internacional. Las técnicas a tratar serán las relacionadas con la endoscopia y la videoscopia, la termografía aplicada al patrimonio, la técnica radar o GPR (Ground Penetrating Radar), las técnicas basadas en la propagación directa tanto de pulso sónico como ultrasónico, la técnica de impulso-eco, y las técnicas tomográficas tanto sónicas, ultrasónicas como de radar.

Palabras clave: Ensayos no destructivos, sónicas, ultrasónicas, termografía, radar, GPR, tomografía.

1. Técnicas de inspección visual o endoscopia

La endoscopia consiste en la observación indirecta del interior de algo, a través de una per-

foración practicada o existente en ese algo, y que permite inspeccionarlo visualmente. Actualmente estos equipos permiten la toma de medidas en puntos inaccesibles empleando una cabeza compuesta de dos lentes que, por efecto estereoscópico, permiten estimar con cierta exactitud distancias.

Los endoscopios proporcionan imágenes de áreas no reconocibles a simple vista. Permiten observar cavidades de difícil acceso de forma sencilla y precisa, con un grado de nitidez, fidelidad en la reproducción de los colores y luminosidad que resultan decisivos. Por todo ello, que la endoscopia ofrece excelentes posibilidades para el examen no agresivo concebido como complemento de los métodos de exploración convencionales.

La principal ventaja de la endoscopia reside en que permite acceder a puntos no visibles de forma natural y en que proporciona diagnósticos visuales y objetivos. Esto pone al alcance del observador competente un cuadro con el que formarse un juicio rápido y certero.

Hay varios tipos de endoscopios según sean rígidos o flexibles y según sea la transmisión de la imagen, de lentes o de fibras ópticas.

1.1 Endoscopios rígidos o boroscopios

Entre los boroscopios, según el tipo de transmisión de imagen, puede distinguirse entre endoscopios rígidos de lentes (Figura 1) y boroscopios de fibras ópticas.

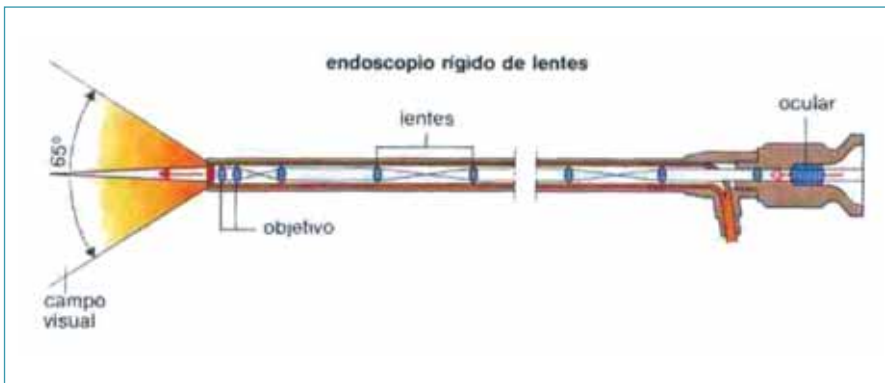


Figura 1 - Endoscopio rígido de lentes. [1]

Los primeros se componen, básicamente, de un sistema óptico, de un mecanismo que sujeta dicho sistema protegiéndolo de agresiones externas, así como de un sistema de conducción de luz que sirve para iluminar la cavidad observada. Por su parte, los segundos presentan características equivalentes a la de los Flexoscopios, por ello que se pase directamente a dar unas pinceladas de dichos dispositivos.

1.2 Endoscopios flexibles o flexoscopios

Cuando el acceso al espacio a examinar es sinuoso, se utilizan endoscopios flexibles o "flexoscopios". Igual que en los endoscopios rígidos, también aquí es necesario que el objetivo transmita las imágenes al ocular, a través del cual el observador efectúa el examen visual. Entre ambos extremos se instala un "tubo", que ha de ser flexible para poder acceder al área de estudio y que al mismo tiempo sirva para transmitir la imagen.

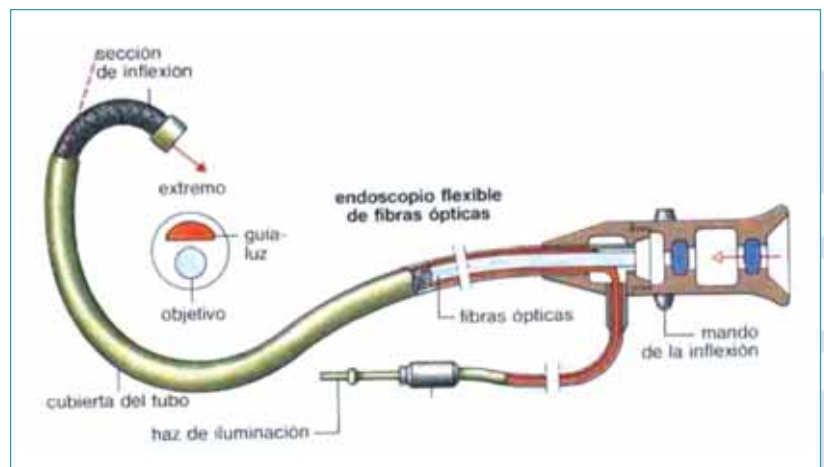


Figura 2 - Flexoscopio. [1]

Dentro de este tubo flexible, obviamente, no puede instalarse un sistema de lentes, por ello que este tipo de endoscopio se fundamenta en un sistema de transmisión de imágenes mediante delgadas fibras de vidrio (haz transmisor de imágenes, Figura 2), a través de las cuales se transmite la imagen del objetivo al ocular.

La resolución de la imagen de un endoscopio flexible y el grado de apreciación de los detalles del área examinada, depende del número, de la densidad y de la calidad de las fibras que componen el haz transmisor de imágenes. Puesto que cada fibra sólo transmite un punto de la imagen, es preciso reunir muchas fibras en un haz. De esta manera se hace visible en el ocular la imagen, compuesta por los puntos de imagen obtenidos de

cada una de las fibras. La agrupación precisa del haz transmisor de imágenes es la clave para obtener una imagen de calidad y con valor informativo.

2. Técnicas sónicas y ultrasónicas

Estos sistemas se basan en la generación de impulsos sónicos o ultrasónicos en un punto de la estructura bien mediante percusión o por un dispositivo transmisor, siendo posteriormente reci-



bidos por un receptor que puede estar situado en varias posiciones diferentes (Figura 3).

El equipamiento de velocidad de pulso mecánico puede ser empleado para adquirir los datos de velocidad. Las señales de entrada son generadas por un martillo, a menudo instrumentado, o por un transductor emisor, siendo recibido el pulso transmitido por un transductor receptor, en general un acelerómetro, posicionado sobre la superficie de la fábrica. Las señales son registradas por un analizador de onda acoplado con un computador para realizar procesados posteriores.

Si las oscilaciones mecánicas generadas son de alta frecuencia (> 20kHz) el sistema se denomina ultrasónico, denominándose sónico si las frecuencias están entre 20 Hz y 20 KHz (en general entre 0,5 kHz y 10kHz).

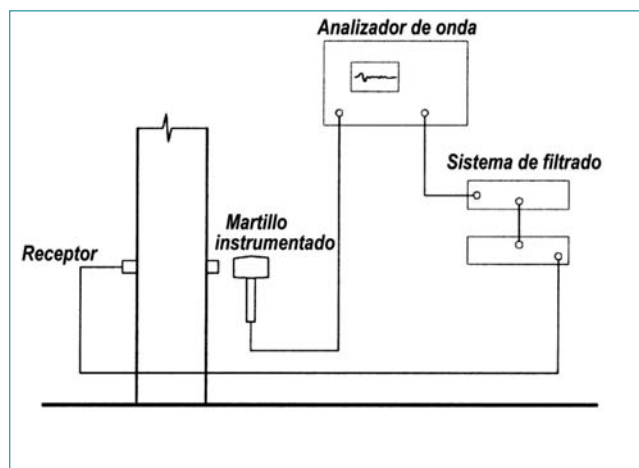


Figura 3 - Equipamiento del ensayo sónico

Cuando una alteración (de tensión o de desplazamiento) es aplicada de repente en un punto de la superficie de un sólido, por ejemplo mediante un impacto, dicha alteración se propaga a través del sólido mediante tres tipos de ondas mecánicas diferentes: una onda-P, una onda-S, y una onda-R. Las ondas P, "ondas primarias", son las que presentan mayor velocidad de propagación. Las ondas S, "ondas secundarias" se reciben más tarde que las longitudinales. Las ondas R, "ondas de Rayleigh o de superficie", son las más lentas y no penetran en el material más allá de su longitud de onda.

Los fundamentos de la propagación de ondas a través de sólidos permiten reconocer las capacidades teóricas y las limitaciones de estos sistemas. En un sólido elástico isótropo, la velocidad de la onda-P, C_p , se relaciona con el módulo de elasticidad, E, el coeficiente de Poisson, ν , y la densidad, ρ , como sigue (Krauthrämmer y Krauthrämmer):

$$C_p = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}} \quad (1)$$

La resolución, en términos de defectos más pequeños reconocibles, se relaciona con la longitud de la onda incidente dominante y también con el tamaño del elemento ensayado, en tanto que, en primera instancia, un defecto sólo será detectable si la longitud de la onda incidente es menor que su tamaño efectivo.

La longitud de onda, λ , es directamente proporcional a la velocidad de onda e inversamente proporcional a la frecuencia del pulso. Por ello para una velocidad dada, a medida que la frecuencia aumenta la longitud de onda decrece, proporcionando la posibilidad de mayor resolución en la reconstrucción final de la velocidad. Es beneficioso emplear una alta frecuencia para suministrar la resolución más alta posible. De cualquier forma, existe también una relación entre la frecuencia y la atenuación de la energía de la onda. A medida que la frecuencia se incrementa, la proporción de energía atenuada también incrementa, limitando el espesor del elemento que puede ser investigado. La frecuencia óptima se elige considerando los requerimientos de atenuación y de resolución para obtener una combinación razonable de los dos parámetros limitantes, así unos rangos habituales, en función del material a estudiar, podrían ser los siguientes: en metales 15 MHz, en hormigones y madera de 45-54 KHz. y, para fábricas, es preferible emplear un pulso sónico con una frecuencia alrededor de los 3,5 kHz.

Pueden realizarse tres tipos de ensayo: el directo, de transparencia o a través del muro, el semidirecto y el indirecto o impacto eco.

A continuación se va a realizar una breve referencia a alguno de los diferentes sistemas sónicos y ultrasónicos existentes para la evaluación de estructuras de fábrica.

2.1 Métodos ultrasónicos

Si las oscilaciones mecánicas generadas por el sistema son de alta frecuencia (mayores que 20kHz) el sistema se denomina ultrasónico.



Figura 4 - Medida por ultrasonidos realizada sobre un murete de ladrillo en el Laboratorio de Estructuras de la UC (Colaboración GTED - AIDICO)

La generación de las ondas ultrasónicas se basa en que una unidad de pulso envía una señal eléctrica al transductor, el cual mediante un cristal piezoeléctrico interno genera una onda de tensión de baja energía y alta frecuencia. A su vez los transductores o palpadores han de ser acoplados a la superficie de la fábrica mediante medios acoplantes para transmitir el máximo de energía posible. La onda viaja entonces a través de la sección, siendo captada por el transductor receptor, que puede situarse en varias posiciones en función del método empleado, el cual, a su vez, convierte la energía de la onda en energía eléctrica (Figura 4). El tiempo de la transmisión puede visualizarse mediante un display de lectura, generalmente en microsegundos, a partir del cual puede calcularse, conocida la distancia entre emisor y receptor, la velocidad de propagación de la onda y, posteriormente, estimar el módulo de elasticidad y el coeficiente de *Poisson* (entre otros parámetros).

Las primeras aplicaciones de los ensayos ultrasónicos para la evaluación de los materiales que conforman las fábricas fueron llevadas a cabo en los

años sesenta. Dada la limitación de los ensayos ultrasónicos para evaluar materiales muy heterogéneos, hace que los ensayos de velocidad de pulso sónico sean más apropiados para fábricas. Sin embargo en el caso de unidades de baja porosidad o para la caracterización de probetas de mortero, los ensayos ultrasónicos pueden ser empleados satisfactoriamente. Del mismo modo los ultrasonidos son aplicables a la evaluación de elementos pétreos aislados (mampuestos o sillares de compacidad adecuada) o probetas extraídas de los mismos, para poder valorar tanto propiedades físicas como mecánicas. En torno a los 50 KHz son las frecuencias más apropiadas para la comprobación ultrasónica en materiales rocosos.

2.2 Métodos sónicos

Los métodos sónicos se basan en la generación de ondas mecánicas de baja frecuencia (frecuencias sónicas) mediante un martillo instrumentado (Figuras 5 y 6).



Figura 5 - Imagen de la auscultación sónica mediante equipo sónico multicanal en el Laboratorio de Estructuras de la UC (Colaboración GTED - AIDICO)



Los martillos suministran una masa cayendo de una determinada distancia, por lo que la masa y la dureza de la cabeza del mismo definen la energía y la frecuencia de la onda inicial. La onda mecánica es recogida por un receptor, normalmente un acelerómetro que puede situarse en varias posiciones, el cual motiva a un osciloscopio adjunto o un registrador digital que comienza a compilar los datos a medida que son percibidos por el receptor.

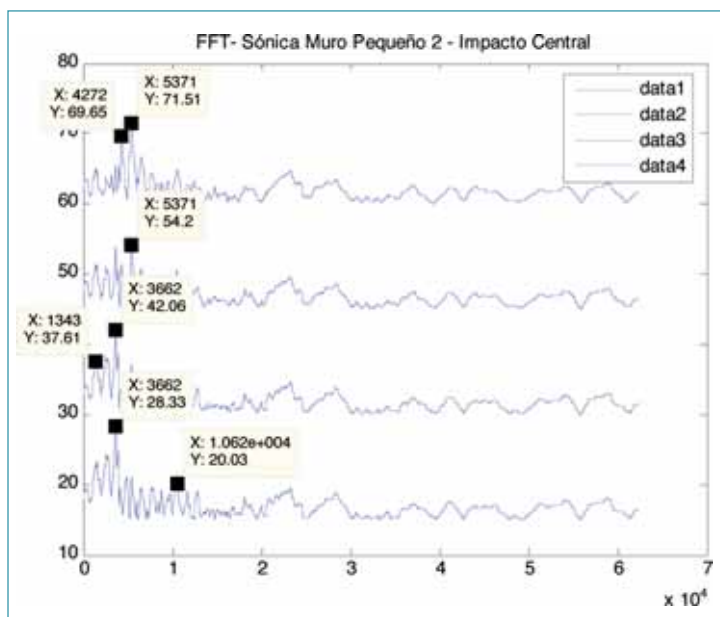


Figura 6 - Respuesta espectral de un murete de obra de fábrica de ladrillo (Colaboración GTED - AIDICO)

La elaboración de los datos consiste en medir el tiempo que toma el impulso para cubrir la distancia entre el transmisor y el receptor (tiempo de viaje), mediante dicha magnitud puede calcularse la velocidad de la onda que se propaga por el medio:

$$V_{\text{onda}} = \frac{D_{\text{transmisor-receptor}}}{t_{\text{viaje}}} \quad (2)$$

A partir de las velocidades de propagación, puede hallarse el coeficiente de Poisson ν , así como los módulos elásticos dinámicos (G y E).

El empleo de los ensayos sónicos para la evaluación de estructuras de fábrica tiene, entre otros objetivos, calificar la fábrica a través de la morfología de la sección de la pared, detectar la presencia de

vacíos y defectos, encontrar patrones de agrietamiento y modelos de daño, controlar la eficacia de la reparación por técnicas de inyección, y detectar cuando las características físicas de los materiales han cambiado.

2.3 Impacto-eco

Primeramente desarrollado para hormigones, el impacto-eco es una variación del método de transparencia de una onda mecánica que emplea un análisis basado en la frecuencia de los ecos de las ondas que se propagan dentro de la fábrica para localizar discontinuidades internas.

El impacto-eco es atractivo porque solamente es requerido el acceso a la estructura por una cara. Las aplicaciones típicas en fábricas incluyen la localización de tizones, identificación de células macizadas en fábricas armadas, determinación del espesor de secciones transversales y localización de vacíos en construcciones de varias hojas.

2.3.1 Principios básicos

Cuando una onda de tensión que está viajando a través de un material 1 incide con la interfase de un material 2 distinto, una parte de la onda incidente es reflejada. En los métodos asociados a la transmisión de una onda mecánica por el seno de un material es de especial importancia el denominado "Principio de la impedancia acústica". La impedancia acústica es el producto de la velocidad de la onda en un material y la densidad del mismo. Dicho principio establece que la energía reflejada en una interfase será tanto mayor cuando mayor sea la diferencia entre las impedancias de los dos medios que forman la interfase. A su vez, la amplitud de la reflexión es una función del ángulo de incidencia y es máxima cuando dicha incidencia es perpendicular a la interfase (ángulo de incidencia 90°, incidencia normal).

En base al principio anterior, en un material heterogéneo, como la fábrica, se producirá una difracción de la onda de llegada siempre que haya una discontinuidad del material, produciéndose una pérdida de velocidad respecto a la que se obtendría

en un material homogéneo. De la misma forma cuando la onda encuentra una interfase con el aire, prácticamente, la reflexión en la interfase es total. Esta es la causa por la que los métodos no destructivos basados en la propagación de una onda de tensión han demostrado ser satisfactorios para localizar defectos dentro de sólidos.

2.3.2 El método

Un transductor electromecánico (en general un impactador) es empleado para generar un pequeño pulso de ondas de tensión acústicas que se propagan dentro del objeto que está siendo inspeccionado. La excitación superficial (generalmente un impacto, Figura 7) produce ondas-P y ondas-S que viajan hacia dentro de la placa y ondas-R superficiales que se alejan del punto de impacto.

Las ondas-P y S son reflejadas por los defectos internos (dada la diferencia entre impedancias acústicas) o por los contornos externos. Cuando las ondas reflejadas o ecos retornan a la superficie producen desplazamientos que son medidos por un transmisor receptor. Si el transductor está situado próximo al punto de impacto la respuesta está dominada por los ecos de las ondas-P (Sansalone y Carino).

En los trabajos iniciales que se llevaron a cabo en base al método de impacto-eco, fue empleado un análisis en el dominio del tiempo para medir el tiempo desde el comienzo del impacto hasta la llegada del eco de la onda-P. El proceso consistía en calcular el tiempo consumido y requería destreza para identificar correctamente el tiempo de llegada de la onda-P. Un desarrollo clave, que condujo al éxito del método de impacto-eco, fue el emplear un análisis frecuencial en vez del análisis en el dominio del tiempo para registrar las ondas. El principio del análisis frecuencial se ilustra en la Figura 8.

La onda-P producida por el impacto experimenta múltiples reflexiones entre la superficie de



Figura 7 - Equipamiento de un ensayo de impacto-eco. [8]

ensayo y la interfase reflectora. Cada vez que la onda-P llega a la superficie de ensayo causa un desplazamiento característico. De esta forma la onda se caracteriza por una periodicidad que depende de la distancia de viaje, de ida y vuelta, de la onda-P. Si el receptor está cerca del punto de impacto, la distancia de ida y vuelta recorrida por la onda es aproximadamente $2T$, donde T es la distancia entre la superficie de ensayo y la interfase reflectora. Como se muestra en la referida Figura 8, el intervalo de tiempo entre llegadas sucesivas de las múltiples reflexiones de la onda-P es la distancia recorrida dividida por la velocidad de la onda. La frecuencia, f , de llegada de la onda-P es el inverso de dicho intervalo de tiempo y viene dada por la siguiente relación aproximada:

$$f = \frac{\beta \cdot C_{pp}}{2 \cdot T} \quad (3)$$

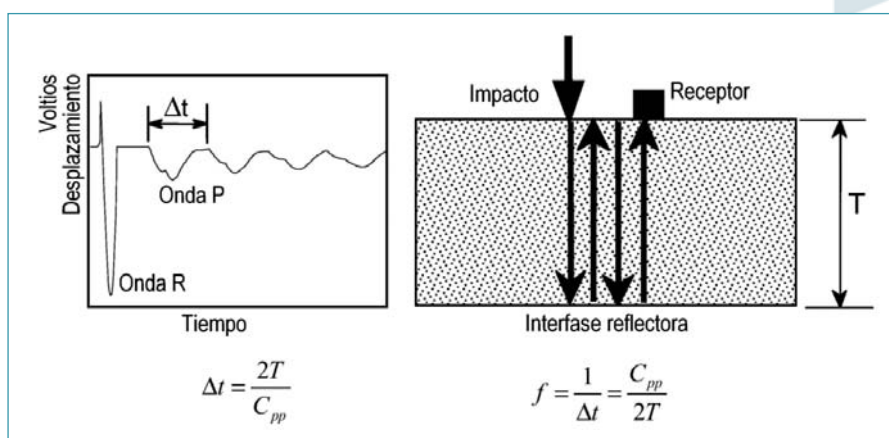


Figura 8 - Principio del análisis frecuencial: en el dominio de tiempo la onda tiene una periodicidad debida a la llegada de la onda-P como resultado de las múltiples reflexiones entre la parte superior y la interfase reflectora; la frecuencia de llegada de la onda-P se relaciona directamente con el espesor de la placa. [8]



Donde:

C_{pp} : Velocidad de la onda-P a través del espesor de la placa.

T : Profundidad de la interfase reflectora.

β : Factor que tiene en cuenta la velocidad real de la onda. Lin y Sansalone comprobaron que la velocidad de la onda era aproximadamente un 96% de la velocidad de la onda-P, esto es, $\beta=0,96$.

La ecuación (3) es la relación básica para interpretar los resultados de los ensayos de impacto-eco.

3. Técnicas electromagnéticas

3.1 Termografía Infrarroja

La termografía de infrarrojos es una herramienta para el análisis de temperaturas e imágenes que mediante visión térmica permite detectar anomalías y diagnosticar acciones correctoras.

El principio de la termografía se basa en que todo cuerpo a temperatura superior al cero absoluto (-273.15 °C) emite radiación en forma de calor, con una distribución espectral en función de la temperatura, de la composición del cuerpo y de su emisividad. A temperatura ambiente, la radiación térmica está situada en la banda del infrarrojo, por tanto, para su estudio será necesario el empleo de equipos termográficos que midan la intensidad de la radiación de los objetos y calculen así la temperatura de los mismos.

Para el ensayo de termografía infrarroja es necesario la existencia de un gradiente térmico (generalmente diario y/o estacional) para inducir la respuesta térmica de las superficies así, las medidas se tomarán sobre edificios que estén calientes a temperaturas ambiente frías, o viceversa. En función del tipo de edificio las inspecciones se deben realizar, en general, en diferentes momentos del día:

- En edificios con muros de carga, ha de aplicarse preferentemente después de anochecer, ya que como tienen espesor considerable aumenta el volumen que puede almacenar calor, es por esto que, al anochecer, es cuando los muros de carga emiten más radiación térmica, dado que por la falta de radiación solar se produce un descenso de las temperaturas más acusado del resto de elementos. La experiencia nos lleva a formular que en edificios con muros de carga, no calefactados, la mejor época es en verano después del anochecer y, en su defecto, en invierno después del amanecer.
- En edificios con estructuras internas, ha de llevarse a cabo al amanecer, ya que el interior del edificio, si está calefactado, normalmente al amanecer, está a mayor temperatura que el exterior, además el muro de fachada permanece todavía a baja temperatura lo que resulta en un mayor contraste de temperaturas.

En el sector de la rehabilitación, las aplicaciones más habituales son la localización de humedades, la identificación de estructuras, la localización de huecos cegados, la identificación de grietas, el reconocimiento

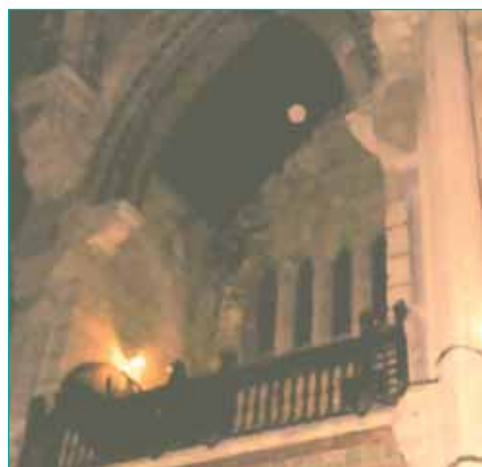
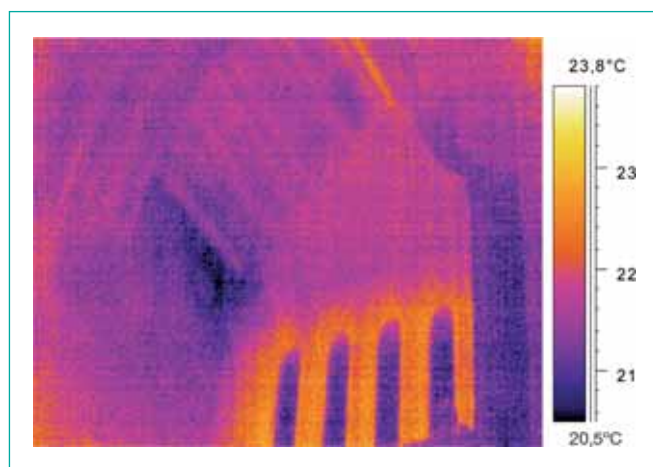


Figura 9 - Termografía infrarroja en la iglesia del Seminario Mayor de Comillas, Cantabria (Colaboración GTED -GIF)

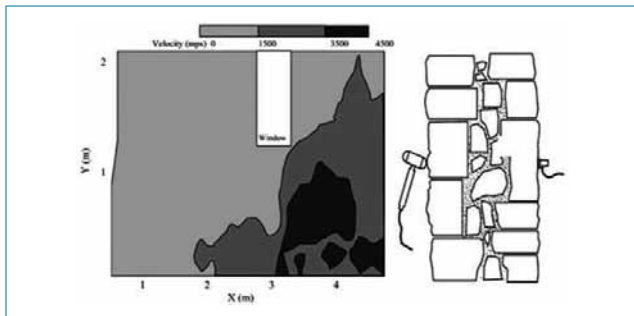


Figura 11: El contorno representa la velocidad de pulso sónico a través de una pared que fue generada para evaluar la solidez de la hoja interna de un campanario mediante el método de velocidad de pulso sónico como se muestra a la derecha. [7].

de humedad hay que ir a frecuencias del orden de 500 MHz, mientras que para paredes de menor espesor, frecuencias de 1 GHz.

4. Técnicas tomográficas

La imagen tomográfica es una técnica computacional que utiliza un método iterativo para el procesamiento de una gran cantidad de datos. Los datos de los ensayos ultrasónicos, sónicos o de radar pueden ser empleados como datos de entrada de un algoritmo de reconstrucción tomográfica para proporcionar una representación, bidimensional (Figura 11) o tridimensional, de las propiedades internas de una determinada sección de un elemento. Por tanto la tomografía tiene la finalidad de reproducir la estructura interna de un objeto a partir de medidas recogidas desde su superficie externa.

La precisión del ensayo depende del número de transductores empleados. Todos se conectan entre sí y la unidad central recoge los ecos recibidos por cada palpador al golpear sucesivamente, en el caso de un ensayo de frecuencia sónica, cada una de las cabezas instaladas en cada sensor. Terminada la serie completa de golpes la unidad central procesa la información y asigna a cada punto de la sección del elemento de ensayo un color en función de la velocidad de transmisión de la onda que atraviese por ese punto.

Las técnicas de análisis tomográfico envuelven un considerable esfuerzo computacional para procesar el extenso conjunto de datos requerido.

Los procedimientos desarrollados para exploraciones geofísicas han sido adaptados para el empleo en fábricas, el enfoque ha mostrado una

razonable aproximación del tamaño y extensión de las anomalías internas. Defectos internos como vacíos, grietas y deterioro pueden ser localizados y tallados, relativamente, mediante la imagen tomográfica.

Agradecimientos

El Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria reconoce la labor desarrollada y agradece la colaboración mostrada por AIDICO, Instituto Tecnológico de la Construcción de la Comunidad Valenciana, en lo referente al desarrollo de metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido. Igualmente, agradece al Grupo de Ingeniería Fotónica de la Universidad de Cantabria (GIF-UC) su colaboración en la aplicación conjunta de la técnica de termografía infrarroja, y al Laboratorio de Estructuras de la Universidad de Cantabria su colaboración en la realización de los ensayos. Finalmente, agradece a la AEND su apoyo en el desarrollo de diferentes foros relacionados con la materia expuesta en el presente artículo.

Referencias

- [1] GTED-UC (Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria), "Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido". Santander. [libro de ponencias de la 1ª Jornada Nacional sobre Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido, noviembre 2006]
- [2] L. Binda, A. Saisi, L. Zanzi, "Sonic Tomography and Flat Jack Tests as Complementary Investigation Procedures for the Stone Pillars of the Temple of S.Nicolo' L'Arena (Italy)", *NDT & Evaluation Int. Journal*, Vol. 36/4, pp. 215-227, 2003. [artículo]
- [3] L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, "Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries", Elsevier; January 2000. [artículo]
- [4] L. Binda, G. Lenzib, A. Saisi, "NDE of masonry structures: use of radar tests for the characterization of stone masonries"; Elsevier; 1998. [artículo]
- [5] L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, "Application of sonic tests to the diagnosis of damaged and repaired structures". *NDT&E International* 34 (2001) 123-138. [artículo]
- [6] A. Saisi, S. Valle, L. Zanzi, L. Binda, "Radar and Sonic as Complementary and/or Alternative Tests in the Survey of Structures", *Int. Congr. "More than Two Thousand Years in the History of Architecture Safeguarding the Structure of our Architectural Heritage Bethlehem, (Palestine), Vol. 1, Section 1b, pp. 1-6, 2001.* [artículo]
- [7] M. P. Schuller, "Nondestructive testing and damage assessment of masonry structures". *Structural Masonry. Prog. Struct. Eng Mater.* 2003; 5: 239-251. [artículo]
- [8] N. J. Carino, "The impact-echo method: an overview". *Proceedings of the 2001 Structures Congress & Exposition, May 21-23, 2001, Washington, D.C., American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, Peter C. Chang, Editor, 2001. 18 p.* [artículo]
- [9] M.R. Clark, D.M. McCann, M.C. Forde, "Application of infrared thermography to the nondestructive testing of concrete and masonry bridges"; Elsevier; 2003. [artículo]