

# TÉCNICAS

# DIAGNOSIS DEL ESTADO DE LA PIEDRA MONUMENTAL MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

*Modesto Montoto<sup>(1)</sup>*

## 1. INTRODUCCIÓN

El deterioro de las piedras monumentales consiste, en realidad, en una degradación de sus propiedades físicas, así como de sus características petrográficas y químicas originales. Por consiguiente, para la evaluación e interpretación de tal estado de deterioro, propugnamos un planteamiento petrofísico, es decir, basado en el conocimiento de las propiedades físicas de la piedra y en la interpretación petrográfica de estas propiedades [1, 2, 3 y 4].

Este planteamiento, basado en la realidad constitutiva de los materiales pétreos, abre una vía racional para los expertos en Conservación en piedra para dictaminar, más sólidamente, sobre las causas y mecanismos implicados durante el deterioro de las piedras.

La metodología petrofísica se inicia con los correspondientes estudios en el monumento y en las canteras de procedencia, complementándola con los de laboratorio de tipo físico, químico y petrográfico (figura 1); incluye, también, ensayos de “envejecimiento acelerado” de las piedras intentando reproducir condiciones ambientales análogas a las que se ven sometidos estos materiales en su emplazamiento en el monumento.

Los métodos de ensayo destinados a la caracterización *in situ* de las piedras ornamentales que integran tanto la estructura como los elementos arquitectónicos y escultóricos de las obras histórico/artísticas, deberían ser, lógicamente, de carácter “no destructivo”; es decir, deberían resultar totalmente inocuos para la piedra, sin provocar en ella cambios irreversibles de ningún tipo.

---

<sup>(1)</sup> Dpto. Geología. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo. Campus de Llamaquique. C/ Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005 Oviedo.

En esencia, un procedimiento no destructivo se basa en el análisis del comportamiento de una determinada propiedad física en el seno, o en la superficie, de un material: por ejemplo, velocidad de transmisión de ultrasonidos, conductividad de una corriente eléctrica, condiciones de propagación de una onda térmica o electromagnética, etc. En el caso de aplicaciones a Patrimonio Histórico construido en piedra, el comportamiento de la propiedad física utilizada se intenta interpretar en función de alguna característica o anomalía de la piedra relacionada con su estado de alteración o problema constructivo: presencia de discontinuidades internas (fisuración, inicio de desplacación, ...), incremento local de la porosidad, degradación en las propiedades elásticas de la roca (estado de alteración), concentración de tensiones, etcétera.

Desde el punto de vista genérico, los aspectos más sobresalientes implicados en las técnicas no destructivas, NDT, son: a) tipos de señales, naturales y artificiales, a utilizar; b) aplicación de la técnica mediante contacto directo sobre la piedra o sin contacto con ella; c) procedimiento de trabajo (reflexión o impulso-eco, transmisión superficial o transmisión por toda la masa rocosa); d) método basado en señal única o múltiple cruzando desde todas las posiciones externas posibles la piedra problema (tomografía) (figura 2).

Tal como hemos señalado, este tema de técnicas no destructivas aplicadas a la caracterización de piedras ornamentales o a la conservación de materiales pétreos de Patrimonio Histórico, debería enfocarse bajo un planteamiento petrofísico: determinación de propiedades físicas e interpretación a partir de las características de sus componentes petrográficos.

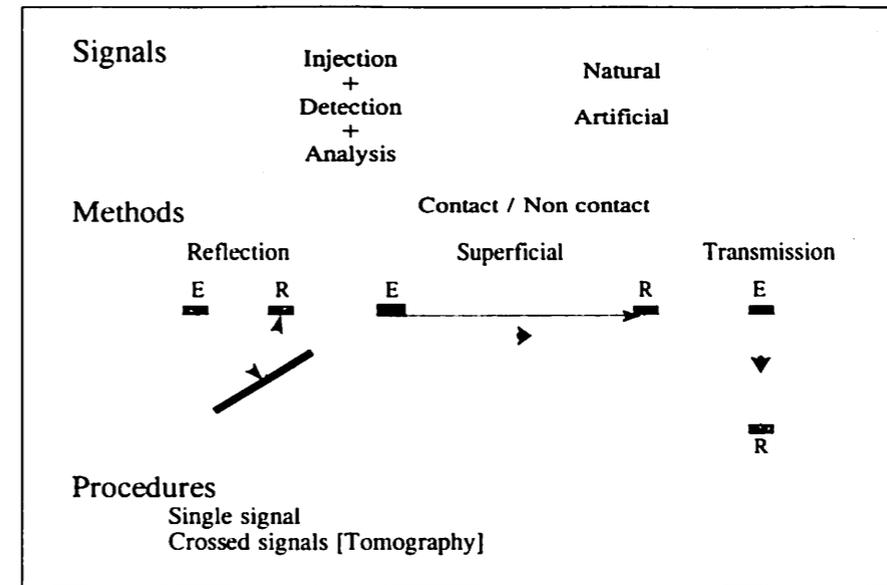


Figura 2. Aspectos más sobresalientes implicados en las técnicas no destructivas.

Este planteamiento resulta óptimo no sólo para la interpretación de los datos físicos obtenidos en términos de estados de deterioro, sino también para la predicción futura de la evolución física de la piedra. Otra ventaja del planteamiento petrofísico es permitir el seguimiento *in situ*, a lo largo del tiempo, de la evolución de las propiedades físicas de las piedras monumentales en estudio ("monitorización").

Mediante dichas técnicas se pretende detectar posibles fisuras internas en las piedras, evidenciar diferentes grados de alteración, valorar el comportamiento mecánico y el estado tensional de la piedra o de la estructura del edificio o del basamento rocoso en el que éste se asienta, detectar posibles anisotropías, etc. [5, 6, 7, 8, 9, y 10]. Una de las dificultades, sin duda la más importante, que acarrea estos estudios se centra en la correcta interpretación, en términos de estado de deterioro, de los resultados proporcionados por las técnicas utilizadas. Esta dificultad se debe a que las rocas son materiales no homogéneos, polifásicos, con discontinuidades internas y anisotropías a escalas muy diferentes de observación; todos estos aspectos dificultan la aplicación de los principios básicos de la Física teórica, que parte de presupuestos basados en el comportamiento de materiales homogéneos, isótropos, sin discontinuidades ni límites [9].

Entre las diversas técnicas no destructivas posibles, las más habituales en "Conservación de piedra monumental", se centran en la creación, inyección, transmisión y recepción de tres tipos de señales u ondas: ultrasónicas, térmicas y electromagnéticas por el seno de las piedras de los monumentos. En el caso de ultrasonidos "pasivos" (emisión acústica/actividad microsísmica, [11]) no se consideran, por inexistentes, las etapas de creación e inyección de la señal, ya que es el propio medio rocoso quien realiza esta función. Un aspecto muy importante en Patrimonio Histórico es el carácter de aplicación de las NDT, con contacto o sin contacto.

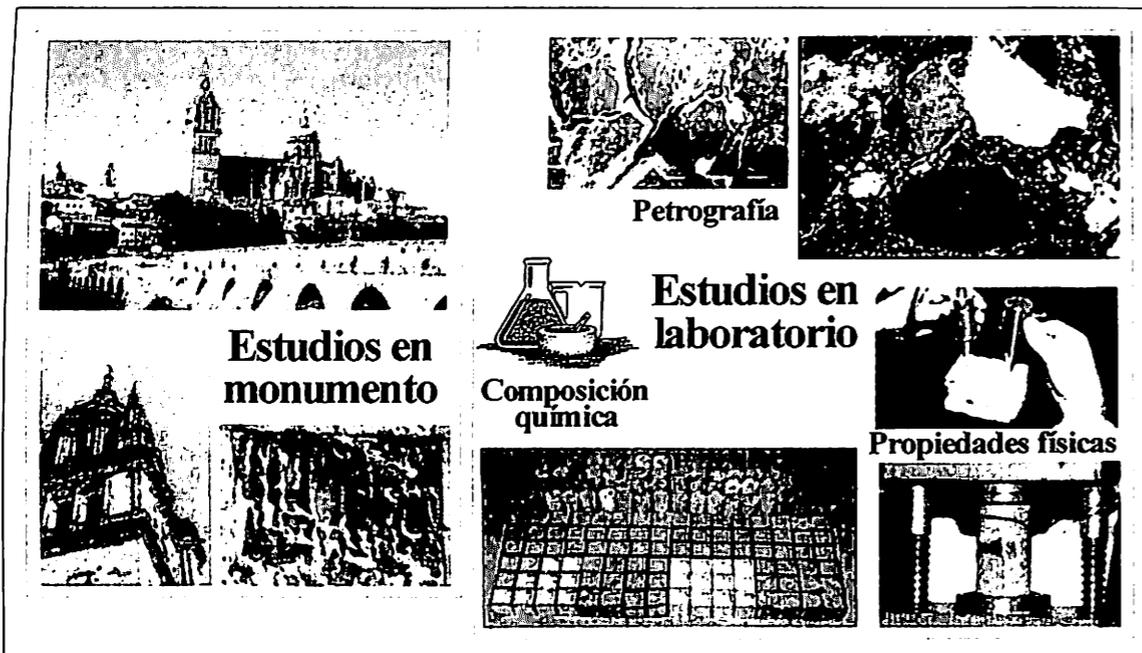


Figura 1. Metodología petrofísica en "Conservación de piedra".

Debe resaltarse, finalmente, que las técnicas no destructivas en absoluto pueden considerarse substitutorias de otras tradicionales que realizan los expertos en "Conservación de piedra"; por el contrario, son complementarias a sus imprescindibles estudios y pretenden aportar información cuantitativa sobre el estado de la piedra y muy especialmente de zonas no visibles de ésta.

## 2. ULTRASONIDOS

Uno de los fenómenos físicos más utilizado en ensayos no destructivos aplicados a piedras monumentales es, sin duda, la propagación de ondas elásticas, ultrasonidos. Las técnicas basadas en este fenómeno se engloban bajo la denominación genérica de procedimientos ultrasónicos; en ellos la interpretación se realiza a partir del análisis de las variaciones que dichos ultrasonidos experimentan durante su tránsito por el seno del medio investigado.

Al aplicar un esfuerzo mecánico de forma súbita a un sólido se produce en éste una deformación que se va transmitiendo por su seno, dependiendo de la naturaleza del esfuerzo aplicado y de las características intrínsecas del sólido. Este fenómeno físico se representa gráficamente mediante las vibraciones que, durante el tránsito de la deformación, sufren las partículas del sólido.

Según los principios de la física teórica, cuando tal esfuerzo se aplica a un cuerpo continuo, homogéneo, isótropo y sin límites, tiene lugar el tránsito de una deformación perfectamente elástica y la vibración de sus partículas responde a movimientos oscilatorios periódicos. Desgraciadamente los materiales rocosos carecen de todas las circunstancias teóricas anteriores, por consiguiente, la deformación que se transmita discrepará en su carácter elástico en la misma medida que la roca se aleje de tal comportamiento ideal. En consecuencia, a medida que la deformación progresa por la roca irá modificándose en función de sus características petrofísicas: carácter elástico/ineástico reflejado en su estado de alteración y presencia de discontinuidades (poros y fisuras), grado de anisotropía, etc. Recíprocamente, del análisis de tal deformación podrán deducirse algunas características petrofísicas de la roca.

Por consiguiente, está plenamente justificada la aplicación de este principio físico a la caracterización de materiales de edificación; se materializa mediante la determinación de parámetros relacionados con la propagación de ondas elásticas por su seno.

Uno de los procedimientos de medida, sin duda el más generalizado y sencillo, radica en generar instrumentalmente la deformación, onda elástica, la cual se inyecta en el medio rocoso, se recoge después de viajar por él y, finalmente, se procesa y se determinan algunos parámetros ultrasónicos.

Los parámetros fundamentales utilizados para caracterizar a la onda elástica suelen ser: *amplitud*, *período de vibración*, *longitud de onda* y *frecuencia*; las frecuencias de ensayo utilizadas en roca matriz suelen estar en el rango 30 KHz a 1 Mhz. Otros parámetros son característicos del material y condicionan la propagación de la

onda por su seno; entre ellos destacan la *velocidad de propagación* y la *impedancia acústica* (producto de la velocidad de propagación por la densidad del medio atravesado) que es una constante del material y puede considerarse como una resistencia que se opone a la vibración de las partículas del medio.

El dato de partida, más utilizado en materiales en general, es el denominado "tiempo de vuelo" o "tiempo de tránsito" de la onda principal,  $t_p$ , desde el punto de su emisión, E, al de recepción, R. A partir de  $t_p$ , se deduce, no sin errores, la velocidad de propagación de las ondas longitudinales,  $v_p$ . El error procede de presuponer una propagación rectilínea de la onda en el trayecto E-R, como si el medio fuese homogéneo, continuo e isótropo. Las discontinuidades internas de la roca, incluidas las zonas con diferente comportamiento elástico –diferente estado de alteración–, serán responsables de provocar constantes refracciones en su propagación, proporcionando, como resultado final, una trayectoria curvilínea más o menos compleja. Evidentemente, ante tal realidad, suponer que la distancia E-R es igual a la distancia recorrida por la señal constituye un claro error físico, error que se manifestará en el citado parámetro  $v_p$ . Este parámetro presenta valores muy variables, tanto entre los diferentes tipos litológicos, como incluso en cada uno de ellos dependiendo de su estado de alteración física o química. Así, en rocas cristalinas no alteradas oscilan entre 3.000 y 6.500 m/s; y entre 1.400 y 6.000 m/s para las cementadas.

Por otra parte, y debido a las especiales circunstancias que venimos mencionando en las rocas como materiales, es decir, considerablemente alejadas de lo que podría denominarse sólido ideal, durante la transmisión de ultrasonidos por su interior, tiene lugar una importante amortiguación o *atenuación* de la deformación que se está transmitiendo. El resultado práctico de tal atenuación es que la deformación llega a anularse incluso a muy cortas distancias de su emisión, es decir, la señal emitida no alcanza al receptor. Y lo que es más importante, dicha atenuación depende, también, de la frecuencia utilizada, o sea de la longitud de onda o, lo que es equivalente, del poder de discriminación del ultrasonido. Estas circunstancias resultan cruciales en la programación de las condiciones de ensayo. El compromiso práctico se resume en renunciar a una mayor definición en aras de permitir el tránsito del ultrasonido; a su vez esta capacidad de tránsito puede incrementarse con un mayor voltaje de excitación del transductor emisor, por lo que en ocasiones suele activarse el transductor emisor mediante una corriente eléctrica superior a los 1.000 v.

La propagación de ultrasonidos en un medio rocoso depende directamente de una serie de factores [12]; unos, denominados, intrínsecos, son debidos a las características propias del medio rocoso (mineralogía, textura, densidad, porosidad y anisotropías), y otros extrínsecos, son ajenos a la naturaleza del material y están provocados o por la instrumentación utilizada o por las condiciones imperantes durante las mediciones (grado de humedad, temperatura, presión). Es evidente que el análisis de dichas influencias está fuera de los objetivos de este trabajo de tipo general, pero, no puede olvidarse que los resultados de las mediciones realizadas estarán influenciadas por dichos factores.

Por lo que respecta a los factores extrínsecos, el principal es el contenido en humedad en el seno de la piedra. Las ondas longitudinales se propagan con una velocidad mayor en el agua que en el aire, por lo que una muestra húmeda o saturada tendrá, en principio ya que lo opuesto también suele suceder, una  $v_p$  mayor que la de una muestra seca (siempre y cuando la porosidad sea la misma). Las ondas transversales sólo se propagan a través del armazón mineral de la roca y, por ello, su velocidad permanece casi constante, independientemente del grado de saturación en agua de la roca.

Puede resumirse señalando que la influencia de los componentes petrográficos sobre la propagación de las ondas elásticas, térmicas y electromagnéticas es el resultado de la interacción de toda una serie de factores, tanto texturales como mineralógicos y fractográficos, que caracterizan cada circunstancia peculiar de cada tipo rocoso. De ello se deduce que no necesariamente la velocidad de tránsito de ultrasonidos por una caliza deberá ser diferente a la de un granito, ni que dos granitos equivalentes desde el punto de vista alterológico, textural, fractográfico, etc., deban presentar las mismas velocidades de propagación, etcétera.

Entre las diversas técnicas ultrasónicas existentes para la caracterización de materiales rocosos se incluyen las habituales de tipo activo y otras pasivas como la emisión acústica. Las primeras de ellas utilizan dos transductores, uno, emisor, que genera una onda elástica, y otro, receptor, que la recibe modificada después de atravesar el material. Por el contrario, la técnica de emisión acústica, también denominada de actividad microsísmica, utiliza, en el caso más simple, un único transductor receptor que capta las ondas elásticas autogeneradas por el material o estructura cuando se encuentra sometido a tensiones.

El origen de este tipo de ondas elásticas, generadas espontáneamente en el medio rocoso, parece ser consecuencia de la liberación repentina de energía de deformación elástica almacenada en la roca; se forman así ondas elásticas que, partiendo del punto de origen, viajan por el medio rocoso pudiendo ser captadas mediante transductores.

Así pues, la emisión acústica parece estar relacionada con procesos de deformación y rotura; en materiales geológicos, puede originarse, a escala microscópica, por dislocaciones y maclaciones, a escala macroscópica, por movimiento y roce de granos o iniciación y propagación de fisuras, y a escala megascópica, por la rotura de grandes volúmenes de roca o incluso por el movimiento relativo de unidades estructurales.

En la figura 3 se expone, de modo general, la relación existente entre la carga aplicada a una roca, la deformación que experimenta y la emisión acústica/actividad microsísmica generada. Ha podido demostrarse que dicha emisión está relacionada con las características petrofísicas de la roca y con su cinética de fracturación (figura 4); así, experiencias realizadas con granitos que mostraban estados de alteración muy diferentes, reflejados en las diferencias entre parámetros petrofísicos básicos (porosi-

dad, velocidad de propagación de ondas P), daban lugar a muy diferentes tipos de emisión acústica; tales diferencias oscilaban desde granitos extremadamente alterados ( $n = 5.2\%$ ,  $v_p = 1.900$  m/s) a más "sanos" ( $n = 1.3\%$ ,  $v_p = 3.800$  m/s) [8].

Por consiguiente, la emisión acústica encuentra una amplia gama de aplicaciones en todas las escalas de un Monumento Histórico; desde problemas de estabilidad mecánica en el basamento rocoso en el que se cimienta el Edificio, hasta la escala de la porosidad en sillar o en un elemento ornamental en el que se produce cristalización de sales y desarrollo local de tensiones mecánicas capaces de fisurar la piedra y provocar desplazaciones [3, 9, 11, 13 y 14].

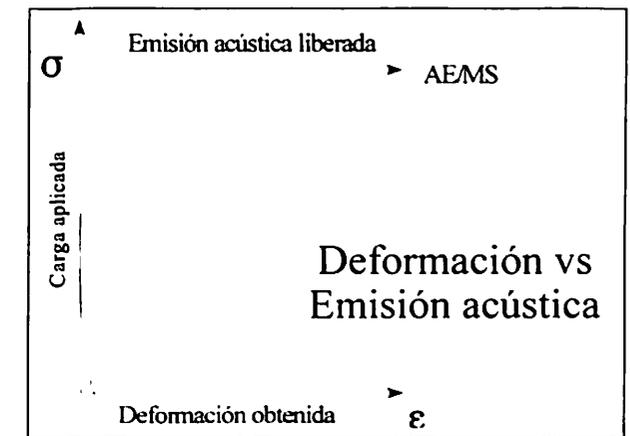


Figura 3. Relación entre el esfuerzo mecánico aplicado a una roca y la emisión acústica o actividad microsísmica que genera.

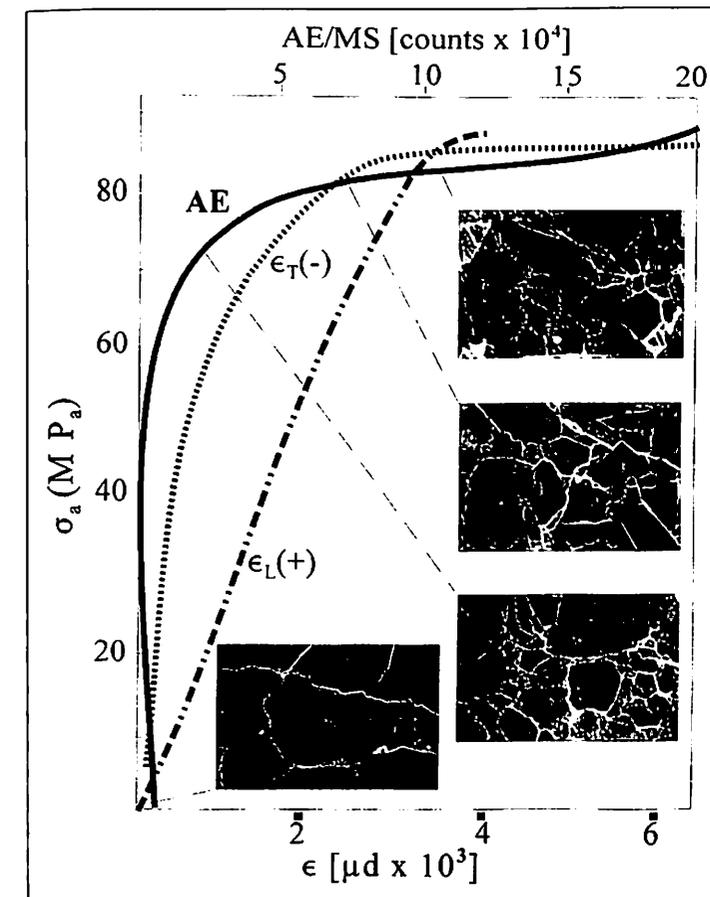


Figura 4. Evolución microfractográfica en el seno de cuarzo durante un ciclo de aplicación de carga en función de la deformación lateral y longitudinal y de la emisión acústica liberada.

### 3. TOMOGRAFÍA

Una de las aplicaciones más prometedoras de las técnicas no destructivas en el campo de las rocas monumentales es, sin duda, la tomografía o intento de "visionar" su interior para poder dictaminar sobre el estado de alteración de zonas no visibles. Concretamente, la tomografía persigue la obtención no destructiva de "imágenes físicas" (figura 5) (conjunto de valores numéricos de una determinada propiedad física) del interior de un cuerpo mediante el análisis de señales (ultrasonidos, radar, rayos-X, ...) que han sido enviadas a su través. Para ello se parte del dato instrumental del tiempo de tránsito ( $t_p$ ) de las ondas utilizadas enviadas desde posiciones E/R (emisor/receptor) conocidas, situadas en la superficie de la piedra, a través de recorridos internos desconocidos.

El conocimiento del recorrido seguido por la señal es, en general, el aspecto más crítico de la tomografía; así, en una masa rocosa no homogénea (alterada) la onda se transmite sufriendo constantes refracciones debido a que va atravesando zonas físicamente diferentes (figura 6). El recorrido se deduce a partir de un proceso informático mediante algoritmos adecuados. Los algoritmos sencillos realizan una reconstrucción rectilínea del recorrido de la señal, proporcionando resultados que suelen ser poco realistas; por el contrario, otros algoritmos, mucho más complejos, realizan una reconstrucción basada en recorridos curvilíneos; son sin duda, mucho más realistas.

El interés de conocer el recorrido seguido por la señal forma parte de la esencia de la tomografía, ya que en ésta se asume que el valor del tiempo de tránsito ( $t_{ij}$ ) me-

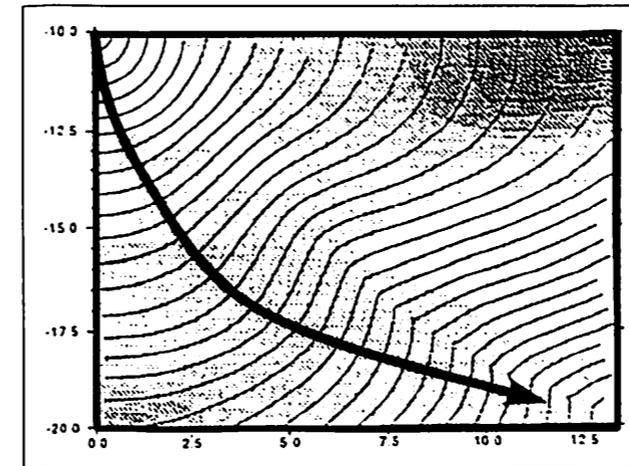
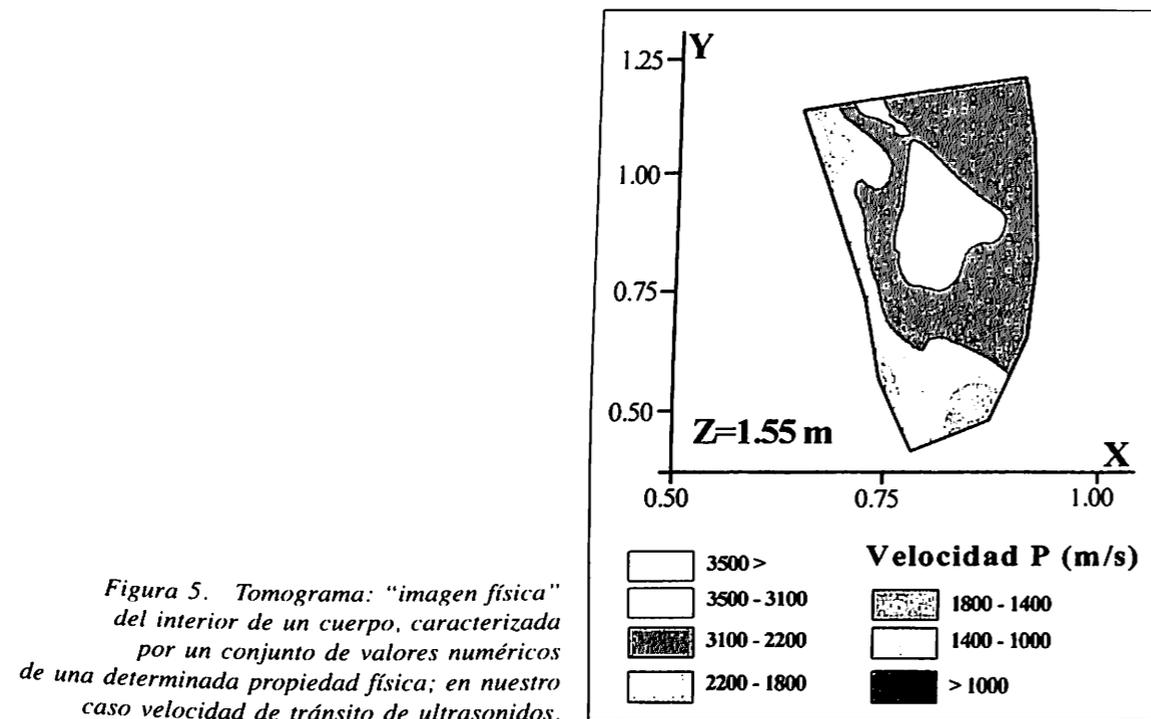


Figura 6. El conocimiento del recorrido seguido por la señal es uno de los problemas más críticos en tomografía.

didado para cada pareja  $E_i-R_j$ , integra el conjunto de todos los valores particulares de ( $t_p$ ) existentes a lo largo de la zona de la roca por la que ha viajado la señal.

En síntesis la construcción de un tomograma ultrasónico implica las siguientes etapas (figura 7):

- Transmisión a través del cuerpo rocoso de una señal ultrasónica desde  $n$  posiciones  $E_i-R_j$  (emisor/receptor) de coordenadas conocidas.
- Medición de los "tiempos de vuelo" ( $t_{ij}$ ) para cada una de las  $n$  parejas  $E_i-R_j$ .
- Asumir que el valor ( $t_{ij}$ ) medido para cada pareja  $E_i-R_j$  integra el conjunto de valores particulares de ( $t_p$ ) a lo largo de la zona de la roca por la que ha viajado la señal.
- Aplicar algoritmos de reconstrucción tomográfica. Se alimentan con los siguientes datos para cada pareja  $E_i-R_j$ : coordenadas  $(x_i, y_i, z_i)$   $(x_j, y_j, z_j)$  y valor  $t_{ij}$ .

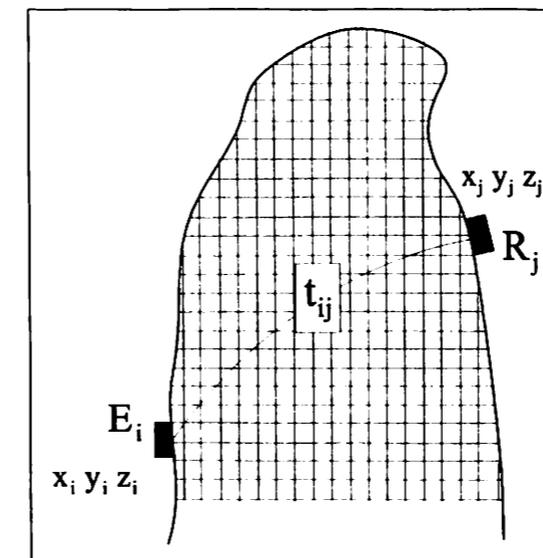


Figura 7. Esquema de los aspectos implicados en la obtención de un tomograma.

- e) "Subdivisión" del cuerpo rocoso en una matriz (2D o 3D) de celdas regulares (píxeles o voxels).
- f) Deducción de los recorridos seguidos por las señales.
- g) Asignación de "tiempos de vuelo" para cada celda. Su conversión en velocidades de propagación (u otros parámetros).
- h) Elaboración de tomogramas o mapas de velocidades.
- i) Interpretación petrofísica de los tomogramas, en término de estados de deterioro de la piedra tomografiada.

El resultado final de un tomograma es, por consiguiente, una matriz de valores numéricos que cubre toda la masa rocosa. Su presentación gráfica se realiza en mapas en falso color que describen los diferentes rangos de valores de la propiedad física utilizada. Por todo ello debe resaltarse que un tomograma no constituye un mapa geológico de la masa rocosa estudiada, sino una representación 2D o 3D de las variaciones de la propiedad petrofísica utilizada.

Más detalles sobre esta novedosa aplicación puede encontrarse en la referencia [8] relativo a un ejemplo concreto (figura 8) de tomografía ultrasónica realizada en el Megalito de Axeitos (La Coruña).

#### 4. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS EN PATRIMONIO HISTÓRICO

Por las especiales dificultades que implica la aplicación de las NDT a un problema concreto de Patrimonio Histórico, sugerimos el planteamiento metodológico [7] expuesto a continuación de forma esquemática. Más detalles instrumentales y de trabajo *in situ* para cálculo de coordenadas pueden encontrarse la referencia [15 y 16].

- a) Estudios en Monumento de las características de las piedras referentes a su estado de alteración bajo la dirección de expertos en "Stone Conservation".
- b) Muestreo de material pétreo para estudios en laboratorio.
- c) Caracterización petrofísica de las piedras.
- d) Elección de la técnica no destructiva más adecuada incluyendo una rigurosa interpretación petrofísica de dicha elección.
- e) Diseño instrumental específico para los trabajos *in situ*.
- f) Simulación o modelización en laboratorio del problema alterológico y valoración interpretativa de la NDT elegida.
- g) Análisis de variaciones en los datos proporcionados por la señales y su correlación con estados de deterioro.
- h) Valoración, por un experto en "Conservación de piedra", de los resultados obtenidos.

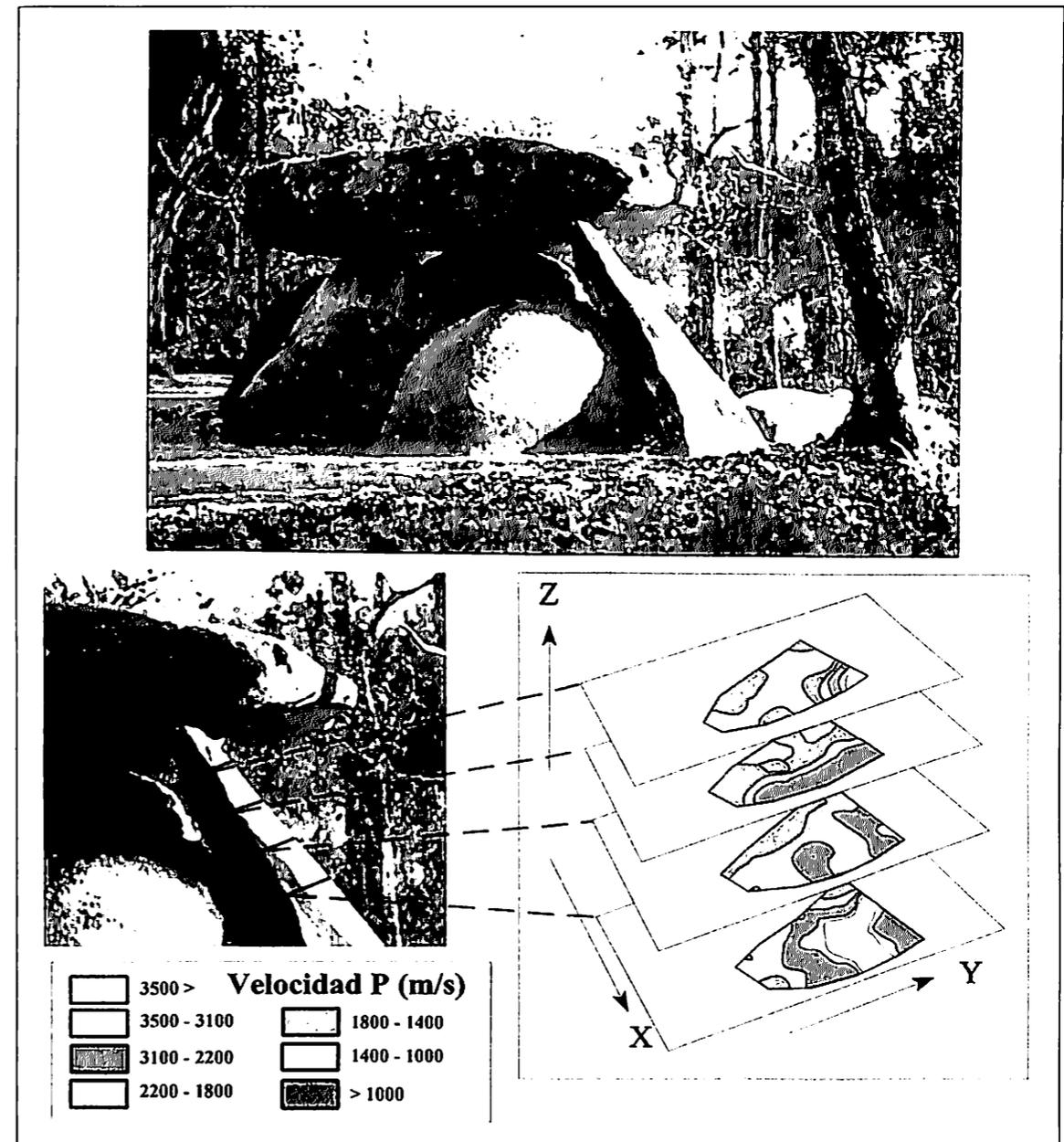


Figura 8. Obtención de tomogramas en el megalito de Axeitos (La Coruña, España).

- i) Adquisición de datos en monumento mediante la NDT elegida.
- j) Interpretación petrofísica, en términos alterológicos, de los datos de monumento.
- k) Integración de los datos obtenidos mediante NDT con los aportados por expertos mediante métodos tradicionales durante la etapa a).

Finalmente, se plantea una valoración global de todos los datos obtenidos y una interpretación alterológica bajo la dirección de expertos en conservación de piedra.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Montoto, M., 1983. Petrophysics: the petrographic interpretation of the physical properties of rocks, en *5<sup>th</sup> Int. Cong. of the Int. Soc. For Rock Mechanics*, vol. B, 93-98, Melbourne (Australia).
- [2] Eibert, R.M. y Montoto, M., 1991, La petrofísica y su aplicación a los estudios de las patologías en piedra, *Patología: Conservación y restauración de edificios*, tomo I, 211-230, Publicación Colegio Oficial Arquitectos de Madrid.
- [3] Eibert, R.M., Ordaz, J., Alonso, F.J. y Montoto, M., 1997, *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*, ed. Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, Barcelona. I.S.B.N.: 84-87104-29-0.
- [4] Montoto, M. y Eibert, R.M., Petrofísica de la roca matriz, *Estudios Geológicos* (en prensa).
- [5] Cardú, M., Gómez, M. y Mancini, R., 1991, Nondestructive Testing for Soundness of stone architectural pieces, *Science, Technology and European Cultural Heritage*, Commission of the European Communities, 583-586.
- [6] Chiesura, G., Massa, S. y Tabasso, M., 1983, L'auscultazione dinamica con ultrasuoni nelle diagnostiche di opere d'arte: un esempio di applicazione allo studio della Colonna Traiana a Roma, en *1<sup>a</sup> Conferenza Internazionale sulle Prove non Distruttive nella Conservazione delle Opere d'Arte*, Roma, 1/9.1-1/9.24.
- [7] Montoto, M., Calleja, L., Pérez García, B., Suárez del Río, L.M., Ruiz de Argandoña, V.G., Eibert, R.M. y Grossi, C.M., 1991, Non destructive ultrasonic procedure to evaluate in situ the relative deterioration of monumental Stones: Preliminary results, en *Science, Technology and European Cultural Heritage*, Commission of the European Communities, 545-548.
- [8] Montoto, M., Valdeón, L., Côtte, P., Calleja, L., Corral, N., López, T., Sánchez, B. y Eibert, R.M., 1994, Non-destructive characterization of the state of deterioration of Megaliths by ultrasonic tomography: a petrophysical interpretation, *The Conservation of Monuments in the mediterranean Basin*, 3-9.
- [9] Montoto, M., Valdeón, L. y Eibert, R.M., 1996, Non-destructive test in Stone Conservation: Tomography of the Axeitos (La Coruña, Spain) Megalith. en *Degradation and conservation of granitic rocks in monuments-Protection and conservation of European Cultural Heritage*, European Commission. I.S.S.N.: 1018-5593, 281-287.
- [10] Montoto, M., 1996, Técnicas no destructivas aplicadas a la Conservación del patrimonio Histórico. Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos (ed. Sebastián, E.), *Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, 85-94.
- [11] Montoto, M., Eibert, R.M., Suárez del Río, R.M., Ruiz de Argandoña, V.G., Calleja, L. y Grossi, C.M., 1992, *Acoustic Emission in Stone Conservation*, Acoustic Emission/Microseismic Activity in Geologic Structures and Materials, Trans-Tech Publications.
- [12] Lama, R.D. y Vutukuri, V.S., 1978, *Handbook on Mechanical Properties of Rocks*, 4 vols.; Series on Rock and Soil Mechanics, vol. 2 (1974/75), Trans Tech Publications.
- [13] Montoto, M., Eibert, R.M., Suárez del Río, R.M., Ruiz de Argandoña, V.G., Calleja, L. y Grossi, C.M., 1992, Acoustic Emission/Microseismic Activity monitoring of salt crystallization for stone conservation, *Journal of Acoustic Emission*, 10 (1-2), S35-S41.

- [14] Grossi, C.M., Eibert, R.M., Suárez del Río, L.M., Montoto, M. y Laurenzi-Tabasso, M., 1997, Acoustic emission monitoring to study sodium sulphate crystallization in monumental porous carbonate stones, *Studies in Conservation*, 42 (2), 115-125.
- [15] Valdeón, L., Montoto, M. y Eibert, R.M., 1996, Tomography of the Axeitos Megalith (La Coruña, Spain): Practical procedures and instrumentation, en *Degradation and conservation of granitic rocks in monuments-Protection and conservation of European Cultural Heritage*, European Commission. I.S.S.N.: 1018-5593, 275-279.
- [16] Valdeón, L., Montoto, M., Calleja, L., Eibert, R.M., Corral, N. y López, T., 1997, A method to assess spatial coordinates in Art and Archaeological objects: application of tomography to a Dolmen, *Journal of Archaeological Sciences*, 24, 337-346.