

# Patologías en edificación: nuevas tecnologías geotécnicas y geofísicas para su auscultación

La masiva construcción de viviendas en los primeros años del siglo XXI, coincidiendo con el “boom inmobiliario”, ha producido una aceleración de la existencia de patologías, tanto en la cimentación como en la estructura de las edificaciones. Es en este momento, y partiendo de esta tendencia, cuando empiezan a ingeniar tecnologías para facilitar su auscultación. En este artículo se detallan algunas de estos “ingenios”.

**TEXTO** | Javier Moreno Ribé, licenciado en Ciencias Geológicas y máster en Gestión Ambiental, info@tecnicasdelsuelo.ecsocial.com

**FOTOGRAFÍAS** | Javier Moreno Ribé y Carlos Aguilar Bronchalo

Palabras clave

**Geotecnia, geofísica, patologías, máquina de sondeos, microgeotecnia**

El estudio geotécnico es una herramienta que intenta definir el comportamiento de los suelos (o rocas si las hubiese), además de la alteración del estado de equilibrio de los mismos frente a construcciones y excavaciones realizadas por la acción humana. Para realizar un estudio geotécnico —y para saber interpretarlo— conviene tener dominio de todas las ramas que componen la “geotecnia”, ciencia que consta en varias subciencias, a saber: mecánica de rocas o suelos frente a ingeniería geológica o ingeniería geotécnica. Las primeras están más encaminadas al estudio de la composición y estructura de los materiales sobre los que se planean apoyar las estructuras, y las segundas, más prácticas, nacen fruto del moderno desarrollo de las aplicaciones

tecnológicas de las ciencias y comprenden la tecnología de las construcciones de los cimientos tanto para edificación como para obras civiles y grandes infraestructuras.

Debido al desconocimiento de alguna de estas subciencias, tanto en el caso de los redactores de los estudios geotécnicos como de los que tienen que entenderlos, y, sobre todo, en un porcentaje mucho mayor, del ansia de construcción, en cuanto a edificación se refiere, en los últimos años, desemboca en la proliferación de las patologías, más teniendo en cuenta la escasez de suelo en los núcleos urbanos y la tendencia a urbanizar en la periferia o en zonas donde los parajes o “vistas” son mejores que en núcleos urbanos.

## Ejemplos de patologías según su enclave

En zonas periféricas, muchas veces existen situaciones distintas de las que se detectan en los núcleos de las ciudades, como pueden ser los siguientes, vistos mediante reportaje fotográfico:

- *Ubicación de viviendas en taludes con elevadas pendientes*, lo que puede provocar disposición en voladizo de cimentaciones de edificios o alteraciones en firmes, provocadas por deslizamientos de taludes debido a descabezamientos de los mismos en su tramo inicial al emplazar escollera y cambiar condiciones iniciales del talud.



Figura 1.A. Deslizamiento de un talud limo-arcilloso en el que, en su parte superior, se ubica una vivienda cuya cimentación queda en voladizo, y en su parte inferior se emplazó un muro de escollera para contener el talud y realizar la carretera, lo que produjo un cambio en las condiciones del mismo y el consiguiente deslizamiento al superar la pendiente del talud, descabezado el ángulo crítico.



Figura 1.B. Vista lateral del mismo deslizamiento en el que se puede apreciar cómo en la zona del talud donde no se realizó la escollera no deslizó (derecha).



Figura 1.C. Deslizamiento de un talud, provocado por fuertes lluvias, en el que se aprecia rotura en cuña, con vivienda emplazada en el margen superior izquierdo.



Figura 1.D. Cimentación en voladizo de una vivienda en el deslizamiento de la figura 1.C.



Figura 1.E. Grietas en vial de urbanización junto a talud que deslizó por descabezamiento de la base del mismo.



Figura 1.F. Descabezamiento de un talud (zona sin vegetación) para la realización de un encauzamiento, que produjeron las anomalías en el vial de la figura 1.E.

- Zonas de rellenos incontrolados, en los que vale la pena detenerse, ya que en las zonas periféricas o en zonas de urbanizaciones de gran tamaño, a la hora de urbanizar para compensar pendientes y explanar la zona en concreto, muchas veces se utilizan los materiales

pertencientes a la facies, presentes en las inmediaciones; en muchas ocasiones se hace sin "control" y removidas, con lo que, a veces, si se realiza una campaña somera o incompleta, es complicado discriminar qué parte del sondeo geotécnico o de la penetración dinámica

corresponde a rellenos removidos (siendo de la misma naturaleza del terreno natural) o realmente es el terreno natural. Por ese motivo, es recomendable realizar una toma de muestras adecuada al Documento Básico SE-C.



Figura 2.A. Talud donde se tiene previsto emplazar urbanización en la que se han vertido rellenos antrópicos no controlados.



Figura 2.B. Parcela totalmente rellenada. En su parte inferior todavía no ha crecido la vegetación. En la parte superior sí lo ha hecho, habiéndose reconstruido el paraje externamente, pero internamente está compuesto por materiales similares a éstos.



Figura 3.A. Máquina de sondeos desplazándose por un vial de una urbanización, donde se puede apreciar un colapso o hundimiento del firme por un lavado de finos.



Figura 3.B. Hundimiento del firme del vial de una urbanización, donde no se realizó una compactación adecuada. Se puede apreciar el colapso en dos zonas. En una zona más anaranjada (centro de la figura) y en el encuentro del pavimento con el muro de las viviendas (izquierda), donde se aprecia la sinuosidad del mismo.



Figura 3.C. Colapso de 7-8 centímetros del bordillo de una piscina, provocado por un lavado de finos producido por el agua proveniente del riego del jardín o por la fuga del vaso de la piscina.



Figura 3.D. Reparación de zona conflictiva junto a vaso de la piscina, en el cual se detectan grietas transversales y longitudinales.

- **El problema de la falta de compactación en el subsuelo de las urbanizaciones.** Estos mismos rellenos —o, en ocasiones, terreno vegetal con escasa compacidad— sirven de apoyo a los *vasos de las piscinas, zonas verdes y viales* en las urbanizaciones. En las viviendas o edificios pertenecientes a éstas se cuida sobremedida su cimentación, acudiendo, a veces, a cimentación mediante pilotaje. Sin embargo, en las zonas verdes, muchas veces junto a piscinas y también en los viales, por tratarse de zonas de gran extensión o que transmiten mínima carga, no se realiza un lecho en condiciones con compactación adecuada, ni se impermeabilizan lo suficiente, colapsando en contacto con el agua procedente de fugas cercanas, lo que conlleva la proliferación de patologías en forma de grietas y anomalías en los vasos de las piscinas, y colapsos o hundimientos en viales y zonas verdes de las mismas.

### Técnicas de auscultación y toma de muestras del terreno bajo cimientos para detección de patologías

Para realizar estudios de patologías sobre el estado del terreno de apoyo de una cimentación, mayoritariamente en edificación, no tanto en obra civil, se puede realizar únicamente con geotecnia o como está actualmente en desarrollo, combinando geotecnia con geofísica.

#### Geotecnia en edificación

Como es sabido por todos, un estudio geotécnico se compone, en cuanto al trabajo de campo, por sondeos geotécnicos o penetraciones dinámicas DPSH; pero se podrían aplicar variantes y técnicas que ayuden a proporcionarnos una mayor información de las causas que pudieron provocar dichas patologías, como pueden ser los *sondeos inclinados* para realizar la toma de muestra en forma de testigo continuo

mediante muestra alterada, testigo parafinado y muestra inalterada justo debajo del cimiento; esta práctica nos da una idea de las características físico-químicas de los materiales causantes de la misma.

A estas muestras se le podrían realizar ensayos de identificación, desde granulometrías, límites de Atterberg, humedad, densidad aparente, hasta ensayos en célula edométrica, llámese colapso, presión de hinchamiento, hinchamiento libre, expansividad Lambe, etc. También se le podrían realizar ensayos de resistencia, como pueden ser de corte directo o compresión simple y, por supuesto, ensayos químicos, contenido en sulfatos tanto en agua como en suelos, materia orgánica, Bauman Gully, etc.

Con estos ensayos realizados en muestras tomadas justo debajo de la zona afectada, podríamos saber las causas que motivaron la patología, siempre y cuando el problema

sea algo puntual, como puede ser un lavado de finos bajo una zapata, un bolsón de rellenos, filtraciones, aumento de la humedad en zonas de influencia del bulbo de presiones, hinchamiento de arcillas expansivas o arrastres, etc.

- *Ejemplo práctico 1:* en este caso, tenemos dos viviendas unifamiliares en las que se aprecian anomalías en forma de grietas transversales en los pilares. Se realizan dos tomas de muestras del material de apoyo de la cimentación, mediante máquina de sondeos, para descartar que el causante de la patología fuera el terreno. En el caso de no observar ninguna implicación geotécnica, se tiene la certeza de un problema estructural como detonante de la patología de la misma.



Figura 4.A. Debido a la antigüedad de las viviendas (1 y 2), se carece de planos de cimentación, por lo que se realiza calicata manual para detección de zapata, evitando, de esta manera, la perforación de la misma. En este caso, se conocía el canto de la misma (z), ignorando el resto de dimensiones (x-y).



Figura 4.B. Vista cenital de máquina de sondeos realizando sondeo inclinado para tomar una muestra de los materiales justo debajo de la cimentación.



Figuras 4.C y 4.D. Perforación de solera de la vivienda, atravesando materiales con un ángulo de unos 30° y batería simple atravesando materiales en la calicata realizada.

Como se demostró, una vez tomadas las muestras, no se detectan restos de humedad en los testigos extraídos, ni tampoco en las muestras parafinadas/encintadas que se extrajeron en ambos sondeos, realizándose los ensayos oportunos. Tampoco el apoyo de la cimentación se realizó sobre rellenos, ni existe un lavado de finos, ni se trata de materiales expansivos. Por lo tanto, mediante el informe realizado, se probaron causas estructurales y no geotécnicas como desencadenante de patología.

- *Ejemplo práctico 2:* en este caso, se trataba de una iglesia afectada por un asiento diferencial, susceptible de realizar un recalce. La campaña de campo se compuso, en primer lugar, de un sondeo vertical junto al pilar, para



Figura 5.A. Vista lateral de una máquina de sondeos realizando sondeo inclinado para tomar una muestra de los materiales justo debajo de la cimentación.



Figuras 5.B, 5.C y 5.D. Máquina de sondeos perforando directamente en la calicata con un ángulo de unos 30° y vista inferior del operativo de sondeo desde la calicata.



reconocer los materiales que forman parte del subsuelo, y, en segundo lugar, se realizó un sondeo inclinado para obtener anchura de la cimentación. En este último caso se trataría de perforar inicialmente en un lateral de la zapata y atravesarla completamente hasta salir por el otro lateral de la misma, sabiendo de esta manera, y mediante la ley de los ángulos, la anchura exacta de la zapata.



Figura 6.A. Sondeo inclinado en una iglesia para obtener el dato de la anchura de zapata, procediendo a la perforación lateral de la misma.

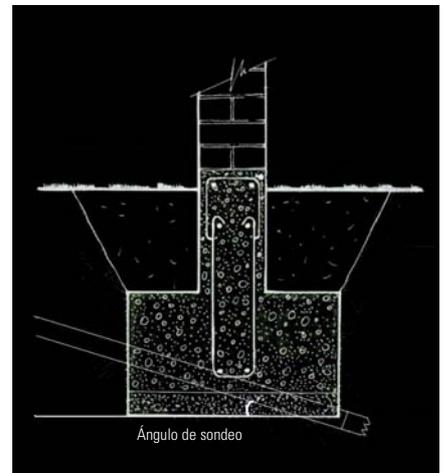


Figura 6.B. Esquema orientativo del cálculo de la anchura de la cimentación.

Como se puede observar en la figura 6.B, se atraviesa la zapata para obtener el dato de la anchura de la cimentación que, en este caso, y atendiendo a la tensión del terreno obtenida mediante el sondeo vertical, quedaba algo escasa, produciendo el asiento diferencial. En este sentido, y atendiendo a los datos del informe, se procedió a un recalce de la cimentación.

- *Ejemplo práctico 3:* en este caso, se trataba de un muro con pandeo en el que se realizaron dos sondeos: uno vertical,



Figura 7.A. Sondeo inclinado en un muro para la detección de materiales presentes en el trasdós, en el que se tiene limitación en anchura y de maniobrabilidad de ejecución del mismo.

citado muro. En ambos casos, las condiciones de trabajo son complicadas por la estrechez del emplazamiento.

*Geotecnia en obra civil*

La geotecnia es también útil para obras lineales, como puede ser la realización de sondeos inclinados para el estudio del estado del lecho del terraplén por debajo de la capa de balasto, para, por ejemplo, obtener la validación del mismo como lecho para vías de alta velocidad.

*Binomio geofísica-geotecnia*

En ocasiones, para realizar un estudio del estado del terreno que produjo una patología, como complemento al estudio geotécnico, se puede utilizar una técnica emergente en el siglo XXI, pero que su aplicación distaba mucho del mundo de la patología en cimentaciones: la *geofísica*.

La geofísica es una técnica que está encaminada a deducir las condiciones del subsuelo a través de la observación de fenómenos físicos, bien sean naturales o artificiales, directa o indirectamente relacionados con la estructura geológica del terreno.



Figuras 8.A, 8.B y 8.C. Sondeos inclinados en un terraplén para validar el lecho de apoyo de una vía férrea convencional.

para obtener resistencia del terreno u obtener espesores de rellenos, y otro inclinado, para obtener datos geotécnicos de los materiales geotécnicos existentes en el trasdós del

**Tabla 1. Métodos geofísicos y sus ventajas e inconvenientes, valorando la información obtenida, la velocidad del proceso y, lo que es más importante, la superficie necesitada en superficie con respecto a la profundidad de investigación**

Método geofísico	Profundidad de investigación	Ventajas	Inconvenientes
Georadar (GPR)	10 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Método idóneo para detectar servicios enterrados y cavidades.</li> <li>Método muy rápido de obtención de resultados (procesado) y de realización de trabajo de campo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poca profundidad de investigación.</li> <li>No es recomendable en terreno conductor (arcillas) y nivel freático.</li> <li>Distorsión con cobertera conductora.</li> </ul>
Sísmica de refracción	> 30 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Método idóneo para obtener ripabilidad y para estudios de canteras.</li> <li>Método idóneo para correlación litológica entre sondeos.</li> <li>Elevada profundidad de investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realización en zonas no urbanas, ya que el ruido sísmico distorsiona.</li> <li>No detecta nivel freático.</li> <li>Precisa grandes extensiones en superficie.</li> </ul>
Sísmica pasiva o microtremores	> 30 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Método idóneo para obtener parámetros como velocidad de cizalla, módulo de Young, módulo de Poisson y módulo de Bula.</li> <li>Realización en zonas urbanas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Precisa grandes extensiones en superficie.</li> </ul>
Tomografías eléctricas	> 20 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Método idóneo para correlación litológica.</li> <li>Detección de fallas y acuíferos.</li> <li>Método idóneo para obtener ripabilidad y para estudios de canteras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El nivel freático y estructuras metálicas (armadura) distorsionan la señal.</li> </ul>

En un principio, se utilizó para fines arqueológicos, pero cada vez se utiliza más en ingeniería, tanto para edificación como para obra civil, ya que tiene la ventaja de que sus métodos no son destructivos. También tienen la ventaja de que, debido a las reducidas dimensiones y a la fácil aplicación de algunos de los métodos, se pueden utilizar en terrenos escarpados o de difícil acceso, en las que la maquinaria geotécnica, no tienen acceso. Se utilizan, sobre todo, para detección de servicios enterrados o para detectar estructuras que, con métodos invasivos, como pueden ser los sondeos, producirían roturas o alteraciones en las mismas.

Los métodos geofísicos que tienen una mayor aplicación en ingeniería y detección de patologías, y que se podrían utilizar como complemento de la geotecnia son: el georadar (GPR), la sísmica de refracción, la sísmica pasiva o microtremores y las tomografías eléctricas.

Como se puede ver de los cuatro métodos, el que más aplicación tiene en geotecnia y detección de patologías es el georadar, en el que se puede plantear el siguiente ejemplo:

- *Ejemplo práctico 4:* en este caso, se trata de observar si las raíces de una palmera de seis brazos (emblemática en un pueblo) sufrirían el emplazamiento de la cimentación de un mirador en espiral alrededor de la palmera. Se trata de obtener silueta del cepellón y del tronco común para evitar deteriorarlo con la cimentación.

En cuanto a la sísmica de refracción y a la tomografía eléctrica, se utilizan con un objetivo geotécnico para obtener un corte estratigráfico entre puntos de reconocimiento, obtener ripabilidades de macizos rocosos, obtener espesores de rellenos longitudinalmente, obtener ubicación de cavidades, bolsones, etc.

*Sísmica pasiva o método de microtremores*

Este método es muy interesante, ya que permite obtener, entre otros valores, el Coeficiente del Terreno (C), que recordemos, según la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02, "se clasifica el terreno en cuatro grupos (I, II, III y IV) determinando los espesores e1, e2, e3 y e4, respectivamente, existentes en los 30 primeros metros bajo la superficie. Se adoptará como valor C el valor medio obtenido al ponderar los coeficientes Ci de cada estrato con su espesor ei, en metros".

En la mayoría de los casos, en geotecnia convencional se realizan sondeos de 8 a 20 metros de profundidad, quedando más del 30% de los 30 metros sin estudiar. Mediante la sísmica pasiva obtenemos los valores de la velocidad de las ondas S (Vs) hasta los 30 metros, aunque se puede estudiar mayor profundidad si se precisase.



Figura 9.A. Palmera de seis brazos donde se va a realizar un estudio geofísico mediante georadar y líneas de perfiles del estudio sobreimpresas.



Figura 9.B. Antena georadar (GPR) de 250 MHz, que intentará realizar un radargrama con la silueta del cepellón de la palmera.

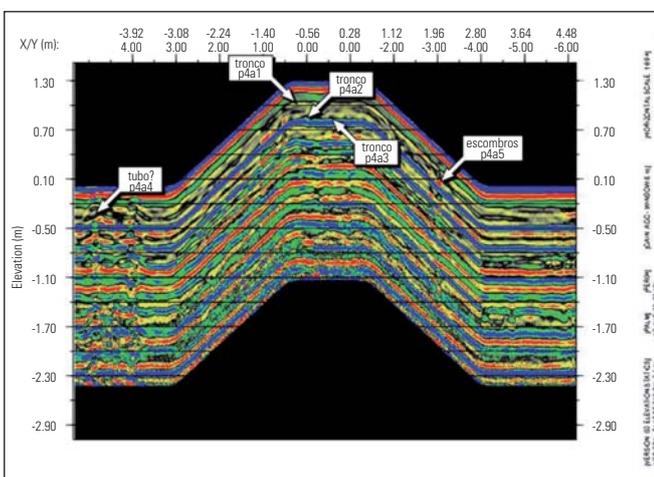


Figura 9.C. Radargrama obtenido en uno de los perfiles realizados.

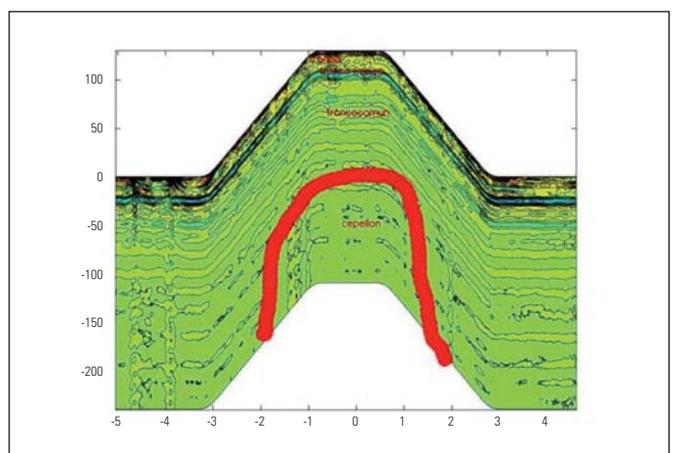


Figura 9.D. Interpretación geofísica mediante procesado en el que se aprecia la silueta del cepellón y la ubicación del tronco común.

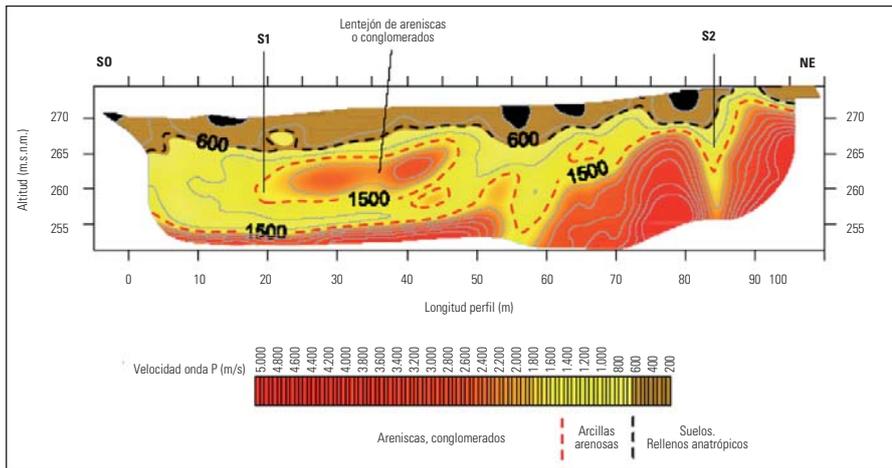


Figura 10. Gráfica de tomografía eléctrica.

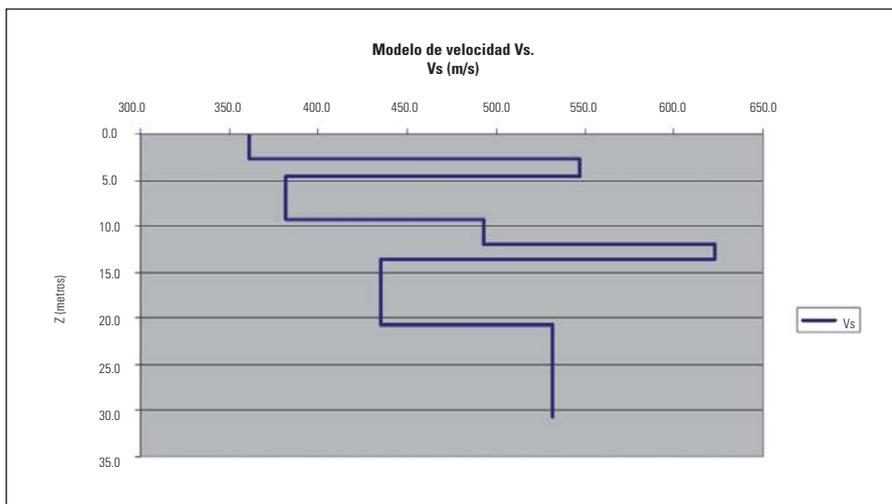


Figura 11. Gráfica de sismica pasiva, también llamada método de "microtremores" que nos permite obtener el valor del coeficiente del terreno.

desarrollados anteriormente, como pueden ser los sondeos eléctricos verticales (SEV), Cross Hole y Down Hole.

**El problema de la toma de muestras en zonas sin acceso: microgeotecnia**

En la mayoría de los casos en los que se detecta una patología en el cimiento de una edificación, puente, túnel, piscina, etc., el estado de la obra está cercano a su término en la mejor de las situaciones y, en su mayoría, terminada en su totalidad. Es el caso de las edificaciones, habitadas varios años, por lo que el acceso de la maquinaria para su auscultación es extremadamente complicada.

Existe el problema típico, pero no menos importante, del *gálibo*. Otras veces no es un problema de altura de trabajo, sino de limitación en anchura; en otros casos, se debe a las reducidas dimensiones de la zona de estudio. También en ocasiones nos encontramos con "accidentes" que nos permiten el acceso a las zonas, como pueden ser escalones, taludes, piscinas, etc.

A todos estos impedimentos para realizar una auscultación o una toma de muestras convencional se les llama "microgeotecnia", que tiene una aplicación en rehabilitación, detección de patologías, obtención de coeficientes geotécnicos o realización de estudios geotécnicos completos con los que realizar proyecto de derribo del edificio antes de su demolición.

Atendiendo a este nicho de mercado, que actualmente se encuentra desatendido, se crean máquinas de sondeos que proporcionan a la dirección facultativa encargada de la realización de los citados

Una vez obtenidas las unidades sísmicas presentes y caracterizadas tanto por sus velocidades de cizalla  $V_s$  como por su velocidad primaria  $V_p$ , estimada por los registros tomográficos, utilizamos la información litológica que se desprende de los sondeos de reconocimiento disponibles para asignar correspondencia litológica a la estratificación de la velocidad. El resultado para este perfil se presenta en la *tabla 3*:

Existen otros métodos geofísicos que nos podrían dar información de las propiedades de los materiales, aunque su aplicación geotécnica no está muy extendida; en unos casos, como la gravimetría y el magnetismo, que tienen una aplicación para explotación de hidrocarburos o depósitos naturales y estudios geológicos regionales, y, en otros, nos proporcionan una información similar a los métodos

**Tabla 2. Cálculo del coeficiente del terreno C, según NCSR/02 para el perfil de la figura 10**

Vs (m/s)	Valor C según el terreno	E (espesor de cada capa)	C*e	C
361,0	1,6	2,7	4,4	
546,0	1,3	1,8	2,3	
381,0	1,6	4,8	7,6	
493,0	1,3	2,7	3,5	
622,0	1,3	1,6	2,1	
435,0	1,3	7,1	9,3	
531,0	1,3	9,3	12,1	
		30,0	41,2	1,37

**Tabla 3. Atribución litológica según sondeos geotécnicos realizados como complemento**

Litología	Profundidad	Vp m/s	Vs m/s
Suelo vegetal y limos arenosos	de 0 hasta 2,50-3,00 m	300-500	361
Margas y margocalizas	de 2,50-3,00 hasta 4,00-5,00 m	700-800	546
Limos y gravas con bolos	de 4,00-5,00 hasta 9,00-10,00 m	600-700	381
Bolos con gravas y arenas	de 9,00-10,00 hasta 12,00-13,00 m	1.000-1.200	622
Arcillas arenosas	de 12,00-13,00 hasta 20,00-22,00 m	No estimada	435
Sin atribución	de 20,00-22,00 m en adelante	1.300-1.500	531

proyectos los datos necesarios para evitar cualquier problema en la rehabilitación del edificio y su posible demolición, evitando la tendencia actual de extrapolación.

Para desempeñar esta microgeotecnia, se emplean máquinas de sondeos de hasta 0,70 metros de anchura y unos 1,75 metros de altura. Estas máquinas trabajan bajo forjados y sótanos de 2,35 metros de

altura. Además, presentan un medio de locomoción por control remoto y orugas de materiales no destructivos para evitar dañar el pavimento, dato importante en inmuebles habitados, plazas y monumentos ornamentales.

Lo importante de la microgeotecnia es que crees que tu sondeo actual está ubicado en la zona más inverosímil, pero al día

siguiente te superas entrando por una zona inaccesible, sabiendo que la semana siguiente llegará un cliente que te dice la típica frase de "ahí no podréis entrar, lo tendréis que hacer fuera". En el siguiente reportaje fotográfico se puede apreciar la aplicación de la microgeotecnia con las citadas máquinas de sondeos, realizando sondeos en zonas de difícil acceso y en condiciones de trabajo extremas.



Figuras 12.A y 12.B. Sondeo en el sótano de un hotel, en condiciones extremas, donde se aprecia una manguera de extracción de humos de 3", usada en minería.



Figuras 13.A y 13.B. Edificio a rehabilitar con entrada de 2,60 metros de altura y 2,50 metros de anchura. Máquina realizando sondeos bajo forjado de 2,45 metros, con extensión de la torre de perforación a la derecha.



Figuras 14.A y 14.B. Edificio que presenta una patología y precisa de un estudio geotécnico para realizar un ascensor que presenta limitación tanto en anchura como altura. Máquina entrando en dicho zaguán con entrada de 0,73 metros.



Figuras 15.A y 15.B. Patología en una nave industrial y puntales (al fondo) sosteniendo el forjado. Máquina de sondeos retirándose entre puntales, una vez realizado el sondeo geotécnico.



Figuras 16.A y 16.B. Campaña de campo consistente en sondeos geotécnicos para un informe patológico en pistas de pádel, en la que se tuvieron que quitar cristales laterales para su entrada.



Figuras 17.A y 17.B. Complicada entrada en un edificio a demoler para realizar promoción nueva, en la que la entrada y las condiciones de trabajo eran extremas.



Figuras 19.A y 19.B. Antiguo teatro entre medianeras, en el que se proyectó su demolición y la realización de un nuevo edificio. Emplazamiento del sondeo en el interior del mismo.



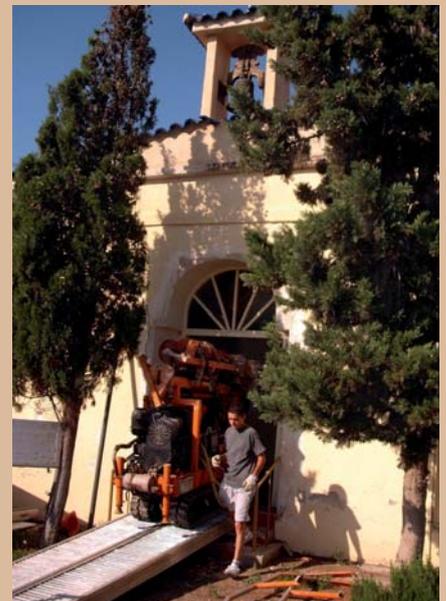
Figuras 20.A y 20.B. Vivienda unifamiliar entre medianeras donde se realizará una nueva promoción. Emplazamiento de la máquina de sondeos.



Figura 21. Máquina de sondeos trabajando en un sótano bajo forjado de 2,20 metros. Se tuvieron que romper unos 15 centímetros de bovedilla hasta llegar a la capa de compresión y poder emplazar la torre de perforación.



Figuras 18.A y 18.B. Subida de rampa "acondicionada" de 42°, con ayuda de cabrestante manual para realizar un sondeo geotécnico de 28 metros en un talud de patología de la figura 1.A.



Figuras 22.A y 22.B. Máquina de sondeos entrenando en una ermita.

