

EVALUACIÓN DEL GRADO DE PENETRACIÓN DE TRATAMIENTOS CONSOLIDANTES MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LAS VARIACIONES EN LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS LONGITUDINALES

PENETRATION ASSESSMENT OF CONSOLIDATING TREATMENTS BY DETERMINATION OF THE LONGITUDINAL WAVES PROPAGATION SPEED

Félix J. Mateos Redondo, Rosa M^a Esbert Alemany, Araceli Rojo Álvarez y Luis Valdeón Menéndez

Resumen

En el siguiente trabajo se presenta una metodología sencilla, basada en las variaciones de la velocidad de propagación de ondas longitudinales a través de probetas de piedra, para evaluar el grado de penetración de los productos de consolidación aplicados a la superficie de las mismas con el fin de mejorar su grado de cohesión.

Introducción

Los productos consolidantes que se aplican a la piedra tienen por objeto aumentar su cohesión granular, mejorando sus propiedades mecánicas, sin introducir modificaciones en el color y brillo de su superficie. La mayoría de productos comerciales, orgánicos o silico-orgánicos, que en la actualidad se encuentran en el mercado cumplen con esta finalidad, a excepción de las resinas epoxídicas que sufren importantes variaciones de color con la radiación ultravioleta.

Sin embargo no sólo las características antes indicadas son importantes en la aplicación de consolidantes, sino que la capacidad de penetración del producto en el seno de la piedra alterada es fundamental. Este aspecto alcanza singular importancia en la consolidación de elementos o piedras expuestas a la intemperie. Una consolidación excesivamente superficial induce, a corto plazo, al despegue de la capa superficial tratada.

Summary

The following article shows a simple methodology based on the speed variation of the longitudinal waves propagation through stone test pieces. This is done in order to assess the degree of penetration of the consolidation products applied to the surface of the test pieces so as to improve the material cohesion.

Introduction

Consolidating products applied to stone are used to increase its granular cohesion improving the mechanic properties without introducing changes in colour or the surface shine. The majority of commercial products, organic or siliceous-organic presently in the market fulfil this use, except for the epoxidic resins which suffer great colour variations with ultraviolet radiations.

Nevertheless, not only the characteristics previously mentioned are important when applying consolidants, the penetration capacity of the product inside the stone is also basic. This aspect becomes fundamental in consolidators of stone or elements exposed to the weather conditions. An excessively superficial consolidation leads to—in a short term—detachment of the superficial treatment coat.

Así pues es necesario que el consolidante penetre en la roca sana, por lo menos en los primeros milímetros. Por todo ello, la evaluación del grado de idoneidad de un consolidante requiere controlar su profundidad de penetración; el grado de ocupación de los espacios vacíos, sin dejar de lado aspectos tales como las modificaciones de color y las de permeabilidad al vapor (transpirabilidad del sistema piedra-tratamiento). Para ello se requiere realizar una serie de ensayos de laboratorio y pruebas in-situ (Figura 1) encaminadas a determinar, de forma específica, el grado de idoneidad de cada uno de los posibles consolidantes a aplicar. Una vez garantizado que el grado de penetración de los mismos es adecuado y que las modificaciones inducidas son mínimas, hay que controlar la durabilidad que estos sistemas presentan en el tiempo, sometiendo los materiales tratados a ensayos de envejecimiento artificial acelerado.

Therefore, the consolidant needs to penetrate –at least upon the first millimetres-- into the healthy stone. As a consequence, the assessment of a suitable consolidant requires that the penetration degree and occupation of voids are controlled. At the same time, aspects such as changes and variations in colour, steam permeability (transpirability of the stone treatment system) should also be considered. For this reason, a series of lab tests and in situ tests are to be performed (Figure 1). These will also determine the suitability degree of each of the possible consolidants to be applied. Once the adequate penetration degree of the materials has been ensured, and the changes implied are minimized, the durability of these systems through time has to be stated by performing accelerating artificial aging tests to the treated materials.



Figura 1. Prueba de consolidación en el laboratorio mediante ascensión capilar. Se puede observar la altura alcanzada por el consolidante sobre las probetas de roca (caliza margosa) (altura capilar de los productos) a las 2,5 horas de su aplicación.

Grado de penetración de los consolidantes

El estudio de la penetración de los consolidantes ha de establecer la profundidad que han alcanzado los mismos en el seno de la roca una vez que éstos han polimerizado, así como, el volumen de espacios vacíos (poros y/o fisuras) ocupados tras la consolidación de la misma. Como ya se había indicado en el apartado anterior, es fundamental conocer de manera precisa dicha profundidad de penetración, ya que, si ésta no es lo suficientemente importante, a corto o medio plazo puede dar lugar a la aparición de una superficie de rotura en la interfase piedra tratada-piedra no tratada, produciéndose fenómenos de desplazación.

Tanto en el momento de aplicación de los consolidantes cómo posteriormente, una vez que éstos han polimerizado en el seno de la roca, es frecuente la aparición en las paredes de las probetas de variaciones cromáticas de mayor o menor intensidad, que nos separan claramente la zona consolidada, de aquella zona en la cual el consolidante no ha llegado a penetrar (Figura 1). Sin embargo, dichas observaciones han de ser consideradas meramente orientativas, ya que en algunos casos, parte de la zona que presenta

variaciones cromáticas y por lo tanto se considera consolidada, éstas están relacionadas sólo con el disolvente, que ocasionalmente sufre cierta inmiscibilidad separándose del consolidante, e influenciado por una menor viscosidad respecto del anterior, viaja más deprisa, alcanzando una mayor penetración dentro de la roca. Por ello la penetración de dichos consolidantes debe ser corroborada por otros ensayos. Junto a las ya tradicionales medidas del incremento de peso y a las observaciones mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y microanálisis asociado (EDX), una de las técnicas más adecuadas para este fin, es la determinación de las variaciones de velocidad de propagación de ondas P.

Velocidad de propagación de ondas longitudinales

La propagación de ondas longitudinales (ondas P) a través de los materiales rocosos mediante el método de transmisión directa, es una técnica no destructiva que permite evaluar de manera rápida, sencilla y fiable las posibles modificaciones producidas en el seno de un material tras su consolidación sin necesidad de destruirlo, pudiendo ser posteriormente utilizados para otro tipo de ensayos (Figura 2).



Figura 2. Equipo utilizado para la determinación de las variaciones de velocidad (ondas P) entre las probetas tratadas y sin tratar. En la imagen se pueden distinguir el equipo ultrasónico, un osciloscopio (derecha) y un estativo (izquierda), este último a fin de garantizar un contacto firme de los transductores con la superficie de la roca.

La propagación de ondas P por el seno de un material viene controlada por sus características petrofísicas (densidad, porosidad, fisuración, grado de alteración, etc), teniendo especial influencia el volumen de espacios vacíos.

Partiendo de estas premisas se procede a la medida de los tiempos de tránsito de las ondas P (tiempos de vuelo) de los materiales sin tratar, realizando perfiles longitudinales según dos o más ejes (Figura 3). A fin de poder realizar las posteriores medidas exactamente sobre la misma posición, los puntos de medición son rotulados.

Conocida la distancia entre los transductores (emisor-receptor), se calcula empíricamente la velocidad de propagación de dichas ondas

por el material (V_p). Las condiciones de trabajo más habituales son: utilizar transductores de 1 MHz de frecuencia, en pulso continuo y con un voltaje de 1200 V.

Tras la polimerización de los consolidantes en el seno de las probetas (4 semanas), se determinan nuevamente los tiempos de tránsito de las ondas P a lo largo de las mismas.

Si el volumen de espacios vacíos disminuye, al ser ocupados por los productos de tratamiento, las ondas viajarán más deprisa a través de la roca, por lo que cabe esperar menores tiempos de tránsito, lo que se traduce en un aumento de la velocidad de propagación.

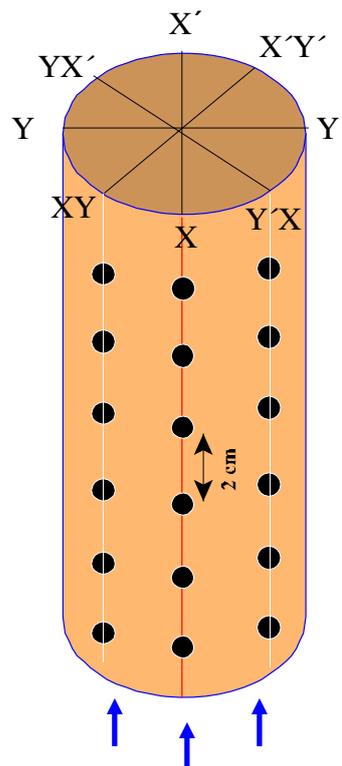


Figura 3. Esquema ilustrativo de las determinaciones ultrasonóricas a llevar a cabo en las probetas de roca. Se realizan perfiles ultrasonóricos a de dos o cuatro ejes ($X-X'$, $Y-Y'$, $XY-X'Y'$, $YX'-Y'X$). Dentro de cada perfil se toma un punto de medida cada 2 cm. Las líneas azules indican la cota cero, por donde se llevará a cabo el ascenso capilar de los consolidantes.

A modo de ejemplo, los gráficos de las figuras 4 y 5 muestran los perfiles ultrasónicos obtenidos para dos materiales petrológicamente muy diferentes; un granito muy alterado (espacios vacíos tipo fisura) y una dolomía cristalina (espacios vacíos tipo poro). La profundidad de penetración de los

consolidantes viene marcada por la intersección de los perfiles realizados antes y después de la consolidación (líneas roja y azul) en cada uno de los gráficos presentados. Si ambas líneas no llegan a intersectar, el consolidante habrá alcanzado el techo de las probetas.

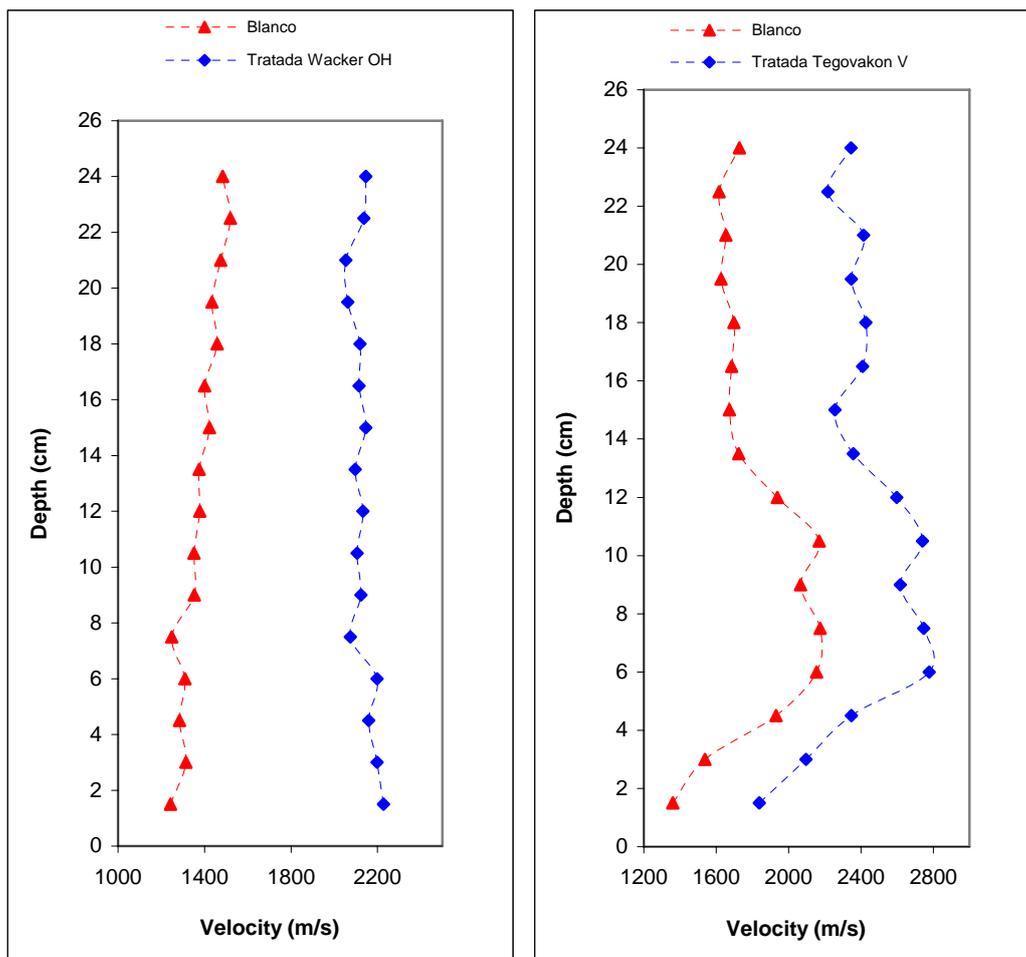


Figura 4. Perfiles ultrasónicos obtenidos sobre dos probetas de granito muy alterado con una porosidad próxima al 7 % a lo largo de todo el testigo. La línea roja (triángulos) corresponde a la media de los perfiles obtenidos antes de la consolidación. La línea azul (rombos) corresponde a la media de los perfiles obtenidos tras la consolidación con dos productos diferentes. En ambos casos se puede observar que la velocidad de propagación de ondas P aumenta considerablemente tras la consolidación, lo que indica un grado de relleno de los espacios vacíos muy importante. Las dos líneas no llegan a cruzarse lo que pone de manifiesto que el consolidante ha alcanzado el techo de las probetas.

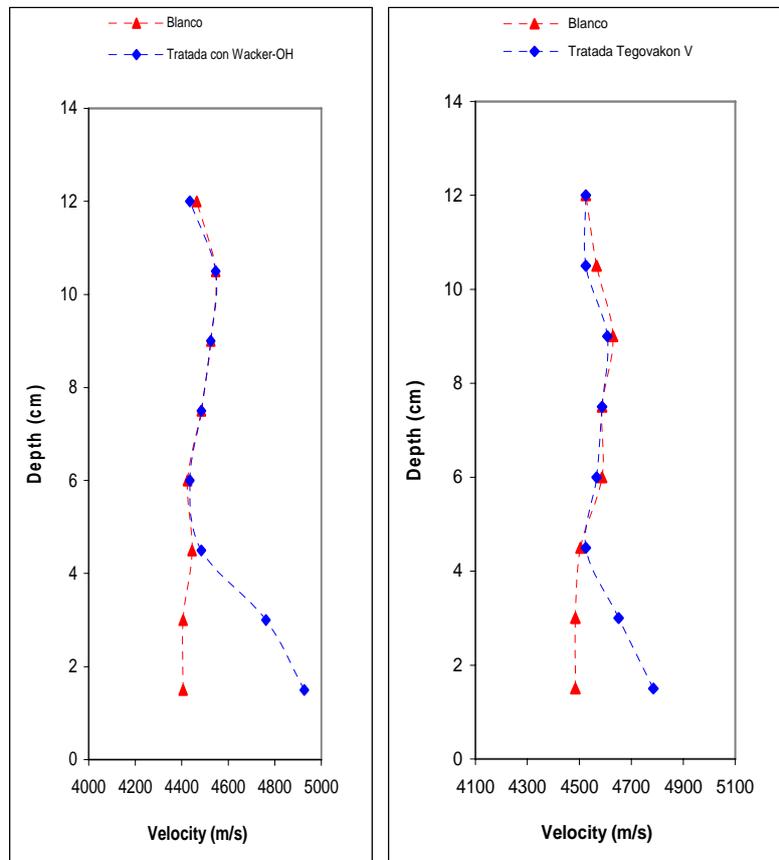


Figura 5. Perfiles ultrasónicos obtenidos sobre dos probetas de dolomía con una porosidad media del 8 %. Al igual que el gráfico anterior la línea roja (triángulos) corresponde a la media de los perfiles obtenidos antes de la consolidación, mientras que la línea azul (rombos) corresponde a la media de los perfiles obtenidos tras la consolidación, con dos consolidantes diferentes. La velocidad de propagación de ondas P aumenta considerablemente hasta los 4 cm, donde comienza a ser menos notable, hasta que ambas curvas intersectan cerca de los 4,5 cm, marcando la profundidad de penetración alcanzada en esta roca.

Conclusiones

En el artículo presentado se corrobora de manera fehaciente que la medición de las variaciones en la velocidad de propagación de ondas longitudinales (V_p) puede relacionarse con el grado de relleno de los espacios vacíos de las piedras o materiales de edificación y por tanto con la penetración de los consolidantes en el seno de los mismos. Resulta un procedimiento rápido, eficaz y de fácil aplicación.

Rosa Esbert Alemany es Catedrática de Petrología y Geoquímica, Grupo de Alteración y Durabilidad del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo. resbert@geol.uniovi.es

Félix J. Mateos Redondo, Araceli Rojo Álvarez y Luis Valdeón Menéndez, son Geólogos de GEA Asesoría Geológica.

Rosa Esbert Alemany is Cathedratric in Petrology and Geochemistry, member of the Group Alteration and Durability of the Geology Department of the University of Oviedo.

Félix J. Mateos Redondo, Araceli Rojo Álvarez and Luis Valdeón Menéndez, are geologists of GEA, Geological Assesment. correo@geasesoriageologica.com