

RECONSTRUCCIÓN DE TALUD MEDIANTE LA TÉCNICA DE “SOIL NAILING REVEGETABLE”.

Pere Sanz Casany (1), Maria Martín Serna (2)

(1) Tratamiento, Acondicionamiento de Laderas y Obras, S.A. (TALIO)

Ingeniero Agrícola
psanz@taliosa.com

(2) Tratamiento, Acondicionamiento de Laderas y Obras, S.A. (TALIO)

Geóloga
maria@taliosa.com

RESUMEN

Se trata de una experiencia de reconstrucción de talud mediante la técnica de “soil nailing revegetable”, ejecutada sobre un proyecto de ordenación urbanística mínima del Parque Forestal Urbano (PFU) “Bosc de Volpelleres”, muy concurrido del Ayuntamiento de Sant Cugat del Vallès (Barcelona).

En el proyecto original, se ordenaban y ampliaban una serie de caminos en su interior, generando en consecuencia una serie de terraplenes y desmontes, los cuales, se iban a tratar con diversas técnicas de bioingeniería. En concreto, los terraplenes se apoyaban sobre muros de gaviones.

*Al tratarse de un muro de contención de gravedad, la técnica inicial proyectada ponía en riesgo la vegetación arbórea colindante, encinas (*Quercus ilex*) y pinos (*Pinus pinea*), siendo ejemplares con un alto valor ecológico. Esta vegetación, podría verse afectada en las diferentes etapas de ejecución: en la excavación de la base del muro, y transporte de materiales hasta las diferentes zonas de actuación.*

Se propuso y aceptó la solución de reconstrucción del talud, mediante la técnica de “soil nailing revegetable” que presentamos como alternativa a los muros de gaviones del proyecto original.

1. INTRODUCCIÓN

Se trata de una experiencia de reconstrucción de talud mediante la técnica de “soil nailing revegetable”, ejecutada sobre un proyecto de ordenación urbanística del Parque Forestal Urbano (PFU) “Bosc de Volpelleres”, muy concurrido del Ayuntamiento de Sant Cugat del Vallès (Barcelona). Este PFU está gestionado por el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), y el proyecto fue ejecutado por la empresa SORIGUÉ.

Esta parcela de bosque de 64.500 m², se encuentra no muy alejada del centro de Sant Cugat y se trata de un equipamiento municipal muy frecuentado por vecinos de Sant Cugat y mayoritariamente por runners del Centro de Alto Rendimiento Deportivo de Catalunya (CAR), que les va muy bien para correr en un entorno muy agradable y en contacto con un pavimento blando.



Fotografía 1 : Estado inicial de la zona a actuar

En el proyecto original, las estrechas sendas generadas espontáneamente por los usuarios de la parcela boscosa, se ordenaban con una serie de caminos en su interior y se ampliaban con una anchura mínima de paso para acceder con un pequeño camión de servicio de mantenimiento o, sobre todo, por si hubiera un conato de incendio forestal.

Estos caminos se establecieron con 2,5 m de anchura mínima, generaban en consecuencia, una serie de terraplenes y desmontes, los cuales, se iban a tratar con diversas técnicas de bioingeniería. En concreto, los terraplenes se apoyaban sobre muros de gaviones.

Pero el proyecto no contemplaba la excavación adicional que merecía la implantación del propio muro que en algunos casos dejaba este camino impracticable para la propia ejecución de la obra.

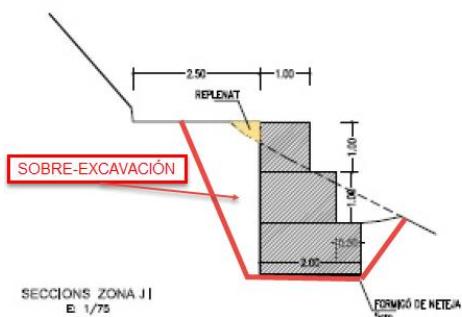
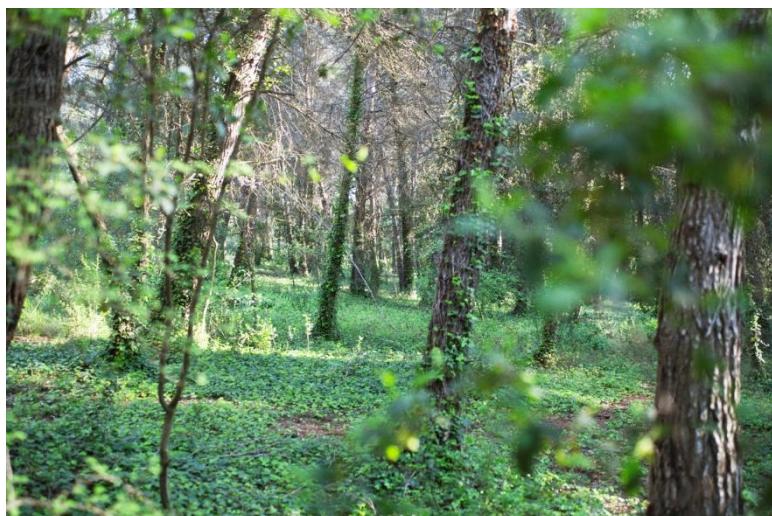


Figura 1 : Detalle de la sección propuesta inicial.

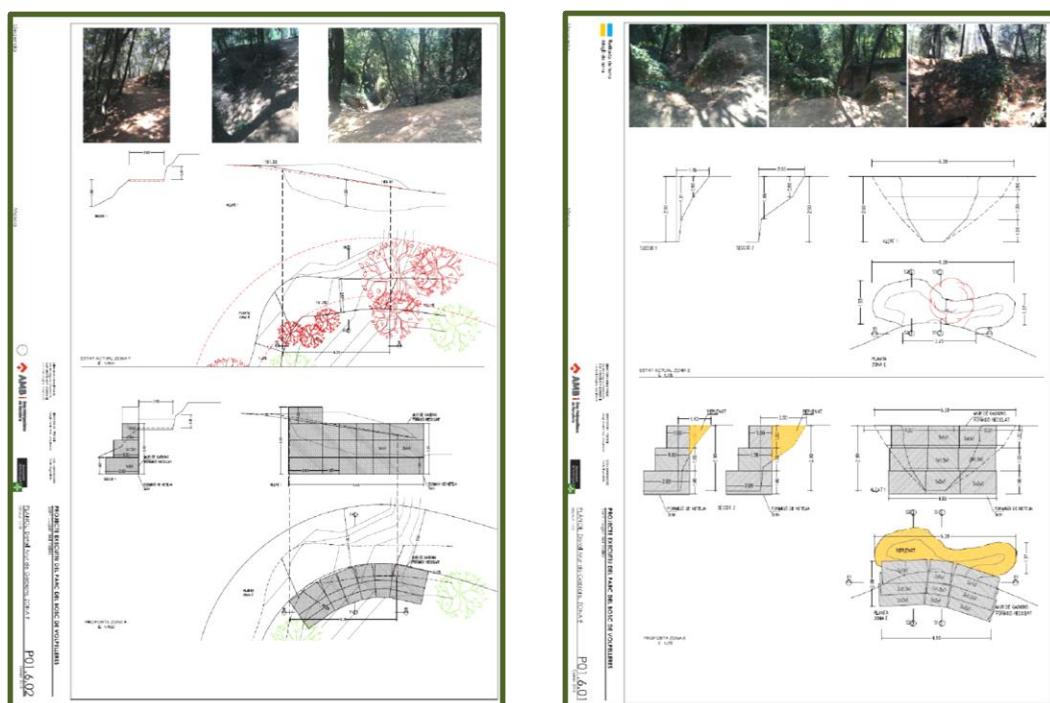
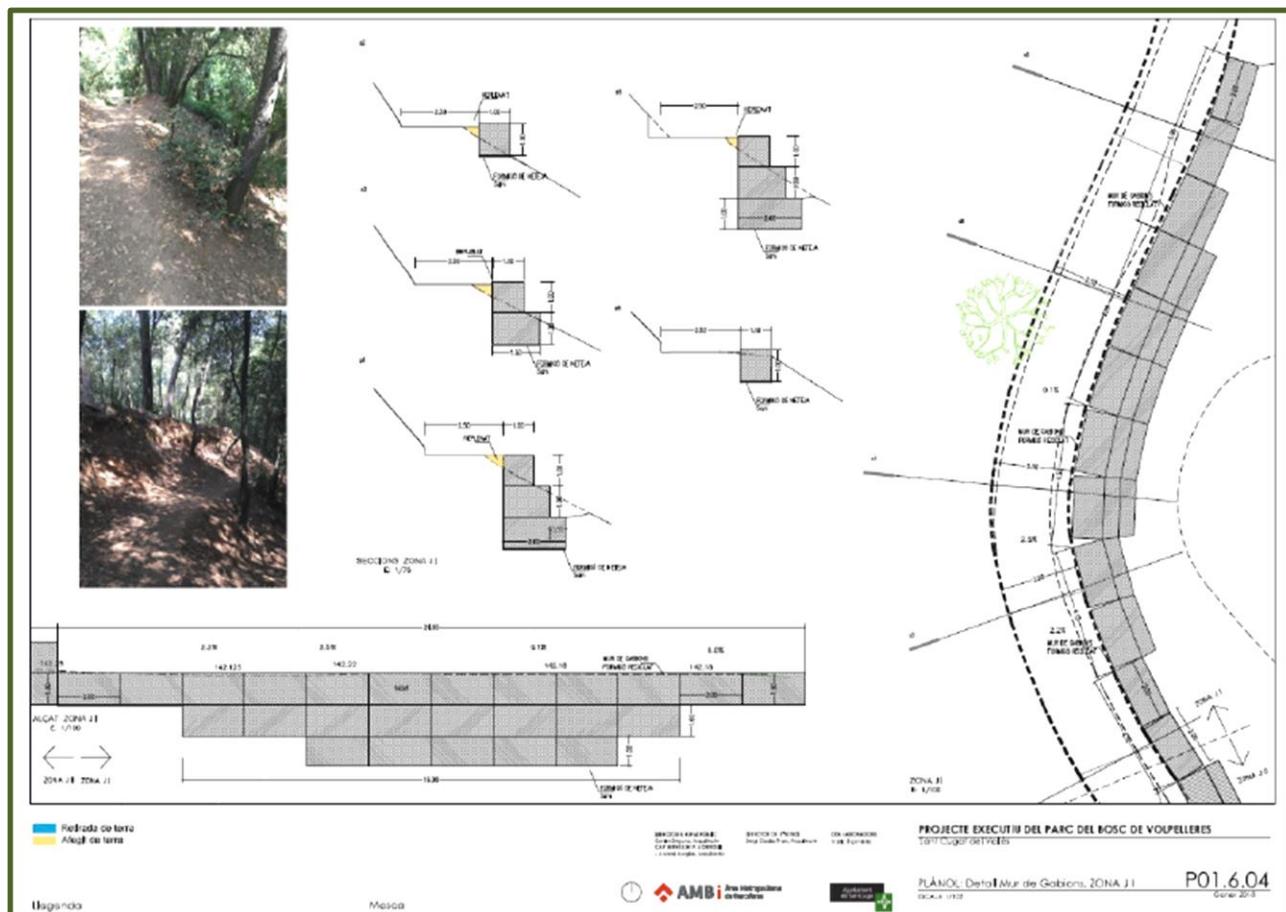


Fotografía 2 : Replanteo del muro en obra.

Al tratarse de un muro de contención de gravedad, la técnica inicial proyectada, generaba una excavación adicional no contemplada para ubicar y empotrar la base del muro de gaviones y además, ponía en riesgo la vegetación arbustiva y arbórea colindante, encinas (*Quercus ilex*) y pinos (*Pinus pinea*), ejemplares con un alto valor ecológico. Esta vegetación, se veía afectada, aunque la geometría se ajustara, por el propio trasiego de la maquinaria y podría verse afectada en las diferentes etapas de ejecución: en el terraplenado, la propia ejecución del muro de gaviones y el transporte de materiales hasta las diferentes zonas de actuación.



Fotografía 3: Aspecto de la densidad y estado del "Bosc de Volpelleres".



Figuras 2 a 4 : Planos con la propuesta inicial.

2.- METODOLOGIA

Tras efectuar la consulta, se propone la alternativa de llevar a cabo, una técnica de sostenimiento y refuerzo del terreno mediante un “soil nailing” con su paramento vertical revegetable, siendo finalmente aceptada. Generando un talud máximo de 68°.

En este caso, se calcularon unos anclajes pasivos con barra de acero tipo GEWI de Ø 25 mm y de



tres (3) m de perforación en material sano, más 2 metros en material inestable, es decir, un total de 5 metros de longitud de bulón, en un marco de densidad aproximado y de marco irregular de 1x1 m.

La perforación se realizó con martillos manuales neumáticos de rotoperCUSIÓN, siendo su puesta



en obra muy sencilla y sin afectar ningún tipo de vegetación.

Se pudo llegar a cada zona con la ayuda de maquinaria ligera, sin interceptar los accesos ni provocar retrasos en el cronograma del resto de la obra.

Fotografías 4 y 5: Aspecto del muro al terraplenar



Para complementar las barras de los anclajes se utilizaron manguitos de unión para llegar al paramento vertical adecuado, es decir tres metros de anclaje en terreno sano con empalme con manguito de dos metros de anclaje.

El terraplén, se efectuó con maquinaria ligera y para evitar dañar los troncos de los árboles, se protegieron con una malla tridimensional y en algunos casos un geotextil en las zonas inferiores, con el fin de proteger su desarrollo y su comportamiento futuro por una posible asfixia radicular.

Fotografía 6: Manguito de unión.

El acabado exterior revegetable, se efectuó mediante un encofrado perdido de mallazo electrosoldado, el cual, rigidizó el paramento, para mantenerlo a 68 °, como máximo.

En las zonas donde se observó una pequeña cuenca o escorrentía potencial se instaló un tubo de drenaje de 160 mm para facilitar el drenaje y eliminar la presión hidrostática del interior del terraplén.

El acabado, incluyó una membrana revegetable mediante una geomalla tridimensional de polipropileno, reforzada con una malla de triple torsión 8x10-16, solidaria en su fabricación, tipo Mac-Mat R. que consta de una malla tridimensional de polipropileno en una densidad de 500 g/m², que actúa como retención de finos, permeable al agua de infiltración y a la vegetación potencial del propio terraplén, como la que pueda irse implantando de forma progresiva.



Fotografía 6 : Drenaje inferior.

Además, para dar capacidad portante al sobreancho ejecutado, cada 70-80 cm de altura, en sección transversal, se reforzó horizontalmente con una malla de acero de triple torsión.



Fotografía 7 : Paramento vertical y terraplenado.



Fotografía 8 y 9: Detalle superior del paramento vertical y apriete de tuercas.



Fotografías 10 a 12 : Detalle integración vegetación en el paramento vertical.



Fotografía 13 : Infraestructura acabada en la Zona 3.

3.- CÁLCULOS.

Con el fin de llevar a cabo una mejora del terreno para aumentar el factor de seguridad, evitar que el terraplén del camino deslizara, y quedase garantizada la estabilidad del trasdós. Se realizó un refuerzo con anclajes a una cuadrícula 1x1 a tresbolillo, y perforación de bulón en material sano con una longitud de 3m, más 2 metros adicionales que sobrepasaban la zona inestable, con un total de 5 metros lineales de bulón.

El cálculo se realizó para el talud con la altura máxima de 3 m y con una “anchura” superior de 1,20 m, considerando un ángulo de “revegetación” máximo de 68 °, pues consideramos que un talud de mayor ángulo, pondría en riesgo la cubierta herbácea autosuficiente, ya que en un régimen climático mediterráneo el agua y la humedad que nos aportan las lluvias y su distribución anual no superan los 658 mm/año, según nos indica el grafico ombrotérmico de la zona de Sant Cugat del Vallès.

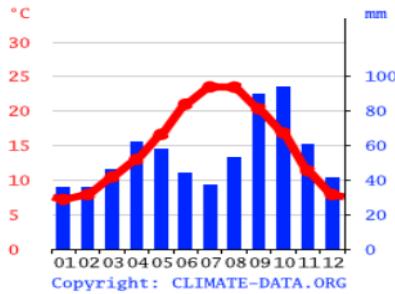


Figura 4: Detalle del diagrama ombrotérmico de Sant Cugat del Vallès.

Teniendo en cuenta el terreno que se presenta, procedemos a calcular la longitud de bulbo con la siguiente fórmula:

$$L_B = P_{nd} / (\pi * D_n * A_{adm})$$

Donde:

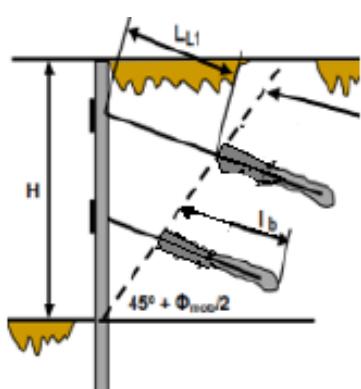
P_{nd} : Carga nominal (en este caso la carga a rotura de barra de 25mm la podemos ver en la tabla de abajo, por tanto, consideramos una carga nominal 150kN).

D_n : Diámetro de la perforación (40mm)

A_{adm} : Resistencia media (en este caso, consideramos 400 kN/m²)

SAS 500 / 550 - grade 75							
\varnothing -nominal nom.- \varnothing	Carga en límite elástico	Carga última ultimate load	Sección cross section area	Peso weight	Elongación elongation		
[mm]	[kN]	[kN]	[mm ²]	[m/to]	A_{el} [%]	A_{10} [%]	
12	57	6	113	1123,6	0,89		
14	77	8	154	826,4	1,21		
16	100	13	201	632,9	1,58		
20	160	15	314	404,9	2,47		
25	245	270	491	259,7	3,85		
28	310	340	618	207,0	4,83	6	
32	405	440	804	158,5	6,31		
36	510	560	1020	125,2	7,99		
40	630	690	1260	101,3	9,87		
43	726	799	1452	87,7	11,40		
50	980	1080	1960	64,9	15,40		

Por tanto, obtenemos una longitud de bulbo (L_B) de 2.9841ml ≈ 3ml



Como la idea es recrecer la calzada al menos 1 metro, y el talud presenta una altura de 3m con una inclinación de entre 60°-68°, se procede a calcular la “longitud libre” (L_L) de bulón en esta zona de “cuña” de recrecido (figura 5) para finalmente saber la longitud total de bulón necesaria.

Para ello, se ha calculado el ángulo de fricción interna del suelo afectado por un factor de seguridad (Φ_{mob}). Considerando un $\Phi_{arcillas}=15^\circ$, y un Factor de seguridad (FS) de 1.5. Por tanto, tenemos que:

Figura. 5: Croquis de simulación indicando la longitud de bulbo y la longitud libre.

$$\Phi_{mob} = \operatorname{tg}^{-1} * \left(\frac{\operatorname{tg}\phi}{F_S} \right)$$

$$\Phi_{mob} = 10,128^\circ$$

Para poder determinar la longitud libre del anclaje, se usa la ley de senos obteniendo la siguiente expresión:

$$\frac{L_L}{\operatorname{sen}(45 - \frac{\Phi_{mob}}{2})} = \frac{H}{\operatorname{sen}[180 - (90 - \Psi) - (45 - \frac{\Phi_{mob}}{2})]}$$

Donde:

$$\Phi_{mob} = 10,128^\circ$$

$$H = 3$$

$$\Psi = 45^\circ \text{ (ángulo de inclinación del anclaje)}$$

Obteniendo que la $L_L = 1.933ml \approx 2ml$

Por lo que la longitud de bulón (L_T = longitud total) necesaria será:

$$L_T = L_B + L_L$$

$$L_T = 5ml$$

Con estos datos, se llevó a cabo la simulación en el programa Slide de Rocscience (Figura 6.), donde se consideró:

- una carga de 20 kN/m² en la zona de calzada, ya que por esa zona de manera habitual transitarán personas y ciclistas, generalmente habrá ausencia de vehículos, a excepción del vehículo pequeño de mantenimiento.
- Un nivel freático en condiciones completamente saturadas.
- La longitud de anclajes obtenida en los cálculos anteriores.
- Una adherencia lechada-terreno con el valor más desfavorable para el terreno existente que es de 0,2MPa, y un tirante rodeado de lechada de cemento con 10mm de recubrimiento las cuales, se ha considerado de la “Guía para el diseño y ejecución de anclajes en el terreno en obras de carretera” del Ministerio de fomento.

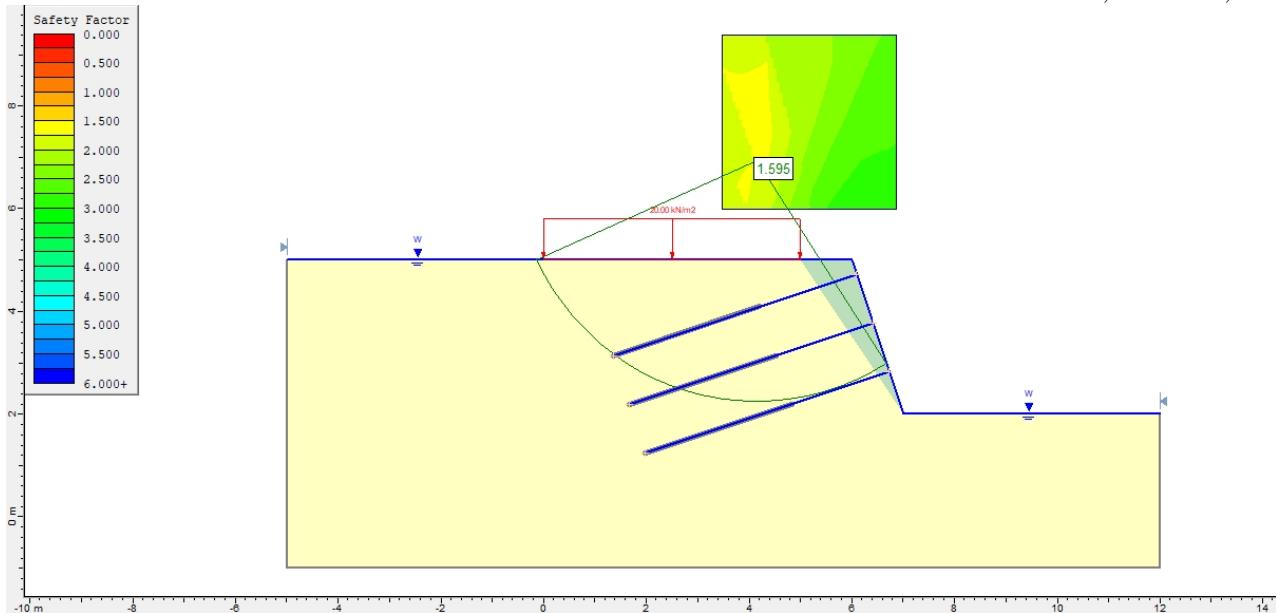


Figura 6: Simulación del terraplén con sostenimiento a una cuadrícula 1x1 m, con anclajes de 5 ml de longitud donde 3 metros es longitud de bulbo y 2 m son de longitud libre teórica.

Por tanto, con todos estos factores, con una disposición de anclajes a una cuadrícula definida de 1x1, con una longitud de bulón obtenida, se aumentaba el factor de seguridad, obteniendo un valor superior a 1,5 indicando una condición general estable.

4. CONCLUSIONES

En conclusión, llevar a cabo la técnica propuesta, proporcionó la posibilidad de “embeber”, literalmente, las encinas ejemplares en el terraplén reforzado, quedando completamente intactas. Además, se redujo de manera general, el impacto ambiental sobre la vegetación, y se minimizó considerablemente el tiempo de ejecución.

Su eficiencia es óptima en sustitución de otras soluciones habituales “duras” con el medioambiente, como muros tradicionales de hormigón, o muros de gavión.

Las ventajas y mejoras frente a desventajas son numerosas:

- Económicas. Los costes se ven reducidos notablemente al ser mucho más rápidos y efectivos. A medio plazo todo el sistema del paramento vertical, queda sustituido por vegetación, que funciona de forma autosuficiente, como elemento estabilizador del terreno y los anclajes, ayudan a aumentar la capacidad portante del terreno.
- Estéticas. Estas técnicas son sostenibles, totalmente integradas en el paisaje conservando y potenciando la vegetación. Por tanto, durante la ejecución se intenta conservar el medio lo más “natural” posible.
- Ecológicas. El sistema permite el desarrollo potencial de la vegetación de forma progresiva.

- Técnicas. Aumento gradual de la estabilidad mediante el crecimiento progresivo de la vegetación elevando la cohesión del terreno con las raíces y los troncos de los posibles árboles que quedan literalmente “integrados”.

5.- REFERENCIAS

Cornelini, P., Preti, F., 2003. Elementi di geotecnica applicata all'i.n.: Aspetti generali, criteri di imensionamento e verifiche di stabilità. Vol. 2 del Manuale di I.N. della Regione Lazio.

Volpelleres Viu. Sant Cugat del Vallès 2017. <https://www.volpelleresviu.com/volpelleresviu.html>

Leicester, R. H., Wang, C-H, Nguyen, M. N., Thornton, J. D., Johnson, G., Gardner, D., Foliente, G. C., Mackenzie, C., 2003. An engineering model for the decay in wood in ground contact. Document No IRGWP 03- 20260. International Research Group on Wood Protection, Stockholm.

Ministerio de Fomento. Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. 2001. Servicio de Geotecnia de la Dirección General de Carreteras. Pº de la Castellana 67. 28071 Madrid.