

TERRENOS GEOTÉCNICAMENTE COMPLEJOS: LA VARIANTE DE LANJARÓN

JC Hernández del Pozo. Profesor de la Universidad de Granada.

Isidro Ocete Ruiz. Geotécnia y Mecánica de Suelos. Geotécnica del Sur S.A.

Abelardo Genaro Moya. ICCP. Giasa

JC Hernández Garvayo. Gerente. Geotécnica del Sur S.A.

RESUMEN:

La circunvalación de Lanjarón, en Granada, se está construyendo sobre un substrato de travertinos, limonitas y brechas. La existencia de galerías mineras antiguas, puestas en evidencia en trabajos anteriores, así como la proximidad al casco urbano de esta nueva vía, con viviendas colgadas sobre la planta, han obligado a rectificaciones del trazado que intenta ajustarse lo más posible al suelo urbano actual para escaparse de los cortados que lo limitan al suroeste.

Los autores definen el perfil estratigráfico estimado comparado con el real. Así mismo se presentan las incidencias geotécnicas y las soluciones planteadas.

Dada la necesidad de dimensionar pantallas de micropilotes, pantallas de pilotes y muros anclados, nos hemos permitido incluir una idea aproximada de los costos que pueden suponer estos elementos, al objeto de completar la información que pretendemos presentar. Este trabajo se concluye con unas recomendaciones de tipo metodológico sobre cómo proceder en terrenos como los citados.

1.- INTRODUCCIÓN

El entorno andaluz es extremadamente propenso a presentar áreas o zonas donde los problemas geotécnicos son de índole tan variada y numerosa que las soluciones ingenieriles a plantear son de extrema dificultad y complejidad, siempre tratando de mantener un estrecho equilibrio entre la técnica y la economía. Las situaciones de trazado existentes en

la actualidad, principalmente en áreas urbanas, han derivado en ocupar áreas que los antiguos habían desechado por sus conocimientos intrínsecos de los problemas que podían plantearse de su ocupación. En estos casos la Geotécnica, entendida como ciencia impredecible, se erige como problema culmen a estudiar y solucionar para plantear la viabilidad de las futuras obras. El caso que nos ocupa se sitúa en la población de Lanjarón, al Sureste de la capital granadina, donde como se verá más adelante se desarrolla una variante, que durante numerosos años ha sido reclamo de todos los vecinos por ser su calle principal la entrada natural a toda la comarca de Las Alpujarras.

2.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y HUMANA



La localidad de Lanjarón se enclava dentro de una región accidentada, con alineaciones montañosas orientadas aproximadamente en dirección E-W, tales como Sierra Nevada al Norte, Sierra de los Guájares al Suroeste y las Alpujarras hacia el Sureste, en algunas de las cuales se llega a superar los 3.400 m. de altitud (S. Nevada). Lanjarón es la puerta de la Alpujarra, cuyo acceso comprende un trazado sinuoso y difícil que responde a la topografía del terreno produciendo un efecto negativo sobre el desarrollo de la economía y las comunicaciones.

3.- MARCO GEOLÓGICO

En el área estudiada afloran materiales preorogénicos de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas, pertenecientes a los Complejos Nevado-Filábride y Alpujárride; y materiales postorogénicos del Neógeno-Cuaternario, que se localizan en sectores

deprimidos como Padul -Dúrcal, Órgiva, Este de Cádiar y la Vega de Motril- Salobreña, este último en el litoral.

El Complejo Nevado-Filábride está integrado por rocas metapelíticas que se agrupan en dos conjuntos litológicos: el inferior, compuesto por micasquistos grafitosos y cuarcitas y el superior, constituidos por micasquistos feldespáticos, mármoles, gneises y metabasitas. Este complejo está formado por varios mantos de corrimiento, localizados dentro de la cuenca estudiada.

4.- DESCRIPCION DE LA TRAZA

Comenzaremos diciendo que la longitud de la variante es de 1.280m. Con relación a las mediciones que afectan al movimiento de tierras diremos que existen 79782 m³ en terraplén y 7410 m³ en desmante. Los muros tienen una altura media de 6 m ocupando una longitud total de 850 m y una superficie de 5.500 m².

Las alineaciones rectas se unen entre sí mediante curvas circulares cuyos radios no superan los 500 m, ni descienden de los 70 m, distribuidas a lo largo de los 1.280 m.

Su trazado en vertical discurre entre acuerdos verticales cuyo parámetro Kv no supera el valor 8000, con unas pendientes no superiores al 10 %.

5.- MARCO GEOTÉCNICO. CATALOGO DE INCIDENCIAS Y RECORRIDO GEOTECNICO

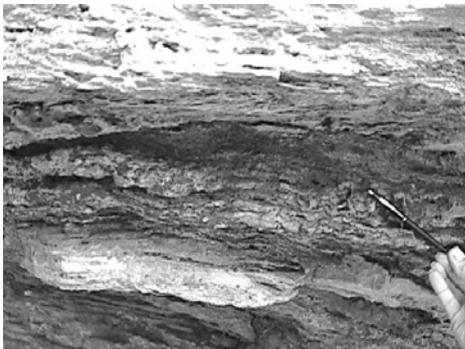
En los primeros 100 m, la carretera discurre prácticamente en el entorno urbano de la población. La existencia del casco urbano ha impedido realizar un seguimiento de los materiales aflorantes en la zona.

Los trabajos realizados han puesto de manifiesto la existencia, bajo los materiales de firme, de un potente paquete de rellenos de naturaleza antrópica, con abundantes restos cerámicos. El paquete de rellenos alcanza en este sector profundidades superiores a los cuatro metros, donde se debe de localizar el sustrato generalizado formado por travertinos. Aproximadamente en el P.K. 0+100 los materiales de relleno afloran directamente, detectándose cerca de este P.K. la existencia de un vertedero incontrolado.

Entre los P.K. 0+100 y P.K. 0+150 la traza discurre básicamente en terraplén hasta alcanzar el siguiente sector. Los materiales aflorantes están compuestos principalmente por travertinos con intercalaciones de óxidos de hierro de potencia decimétrica. Sobre éstos se sitúan unos materiales de relleno, de escasa potencia, con abundantes restos antrópicos. La zona viene definida por su cercanía, en el sector oeste, a una zona de contacto por fractura, de tipo tectónico y dirección SE-NW que las separa de los materiales de los mantos alpujarrides de naturaleza filítica y carbonatada.

Esta zona de contacto ha definido un escarpe muy importante, de elevada altura, en cuya base se han desarrollado numerosos depósitos de tipo coluvial con bloques ocasionalmente de gran tamaño.

El principal problema derivado de este sector viene definido por el riesgo potencial del avance del talud, a favor de procesos de socavación del río, apoyado además en el comportamiento tectónico de la zona, máxime considerando que el pie del terraplén queda a tan solo unos 7 u 8 m. de la cabeza del talud.



Detalles de los materiales aflorantes.

Se ha optado por considerar la zona como macizo rocoso figurado para proceder a su clasificación. Con esta clasificación pretendemos identificar un macizo rocoso y como actuaría éste, si lo consideramos una unidad. Los materiales que forman este macizo están compuestos principalmente por rocas de tipo travertínico, con abundantes niveles limoníticos. Estos travertinos están compuestos principalmente por carbonato cálcico. Presentan un relieve muy abrupto, con unas pendientes muy elevadas. Utilizando la clasificación de Selby lo estimamos como un macizo de carácter poco homogéneo que ofrece una resistencia moderada.

No obstante creemos pertinente hacer la consideración de que, si bien su resistencia es moderada, este material presenta unas elevadas pendientes que inducen movimientos de masas por caída libre o rodadura, en algunos casos y previsiblemente de gran tamaño, como se ha observado en la zona.

De este modo detectamos en esta zona una amplia área potencialmente inestable, de pendientes muy elevadas, desarrollada en material travertínico, definido como un macizo rocoso de calidad moderada.

Los riesgos observados corresponden a caída de rocas y vuelcos de material travertínico. Entre los P.K. 0+150 y 0+300 se ha observado un amplio púlpito de travertinos, ocasionalmente con más de 150 m. de potencia, con intercalaciones detríticas, arenosas y conglomeráticas.

Este travertino presenta, localmente, mineralizaciones de oxihidróxidos y óxidos de hierro y manganeso (explotadas hasta hace pocos años). Tanto el travertino como las mineralizaciones están, genéticamente, relacionadas con los manantiales de Lanjarón.

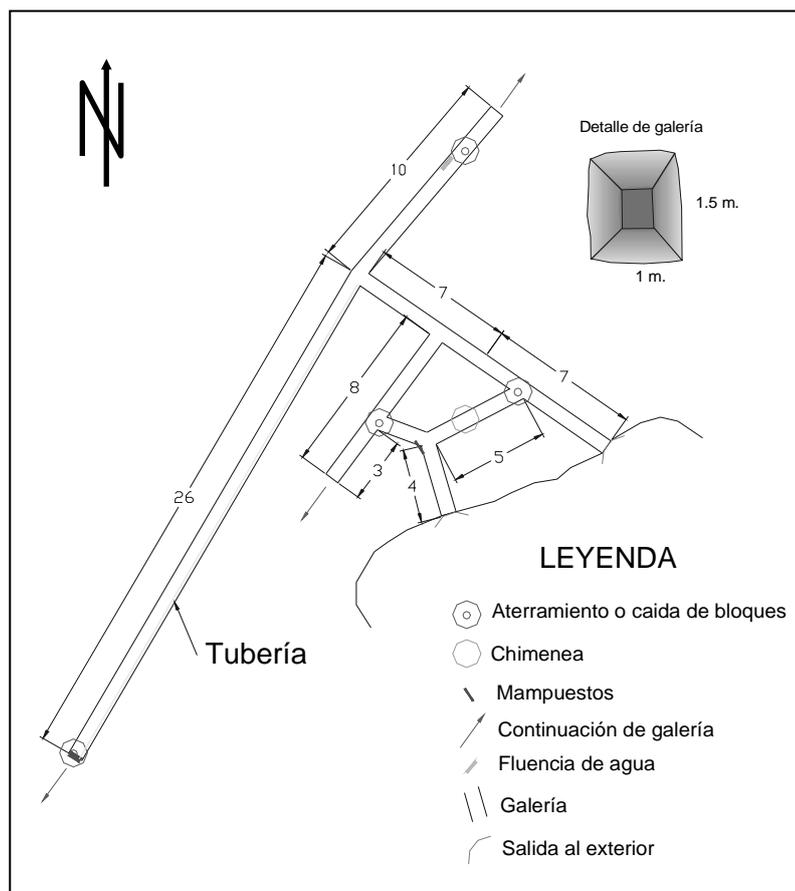
Hay que hacer notar que se ha detectado un nivel relativamente potente de limonitas, con pequeños niveles travertínicos, que presentan valores de SPT y de extracción de inalteradas bastante bajo y con humedades extremadamente altas, que pueden inducir fenómenos de hundimiento y colapso. En el sector que nos ocupa han sido localizadas varias mineralización de este tipo, compuestas principalmente por niveles muy ricos en limonitas que se intercalan entre el paquete de travertinos.

En los yacimientos a los que hacemos referencia se explotaban los “ocres” como formas terrosas de limonita, amarillas y pardas, que se usan como pinturas. Estas explotaciones debieron de ser relativamente importantes y cesaron hace aproximadamente 20 años. Con el fin de conocer la disposición y estructura de las explotaciones mineras que pudieran afectar a la futura carretera se ha realizado un reconocimiento de las mismas.



Detalles de las perforaciones

La disposición de la estratificación o deposición de la explotación, es pseudohorizontal; Los niveles están formado por una secuencia repetitiva de materiales travertínicos y limonita ocres pardo amarillentas. Las explotaciones principales se localizan junto a los lavaderos existentes, a unos 45 m. al Sur del eje de la futura carretera, junto a una pequeña vaguada, cuyo acceso es muy complicado. El croquis de dicha explotación se detalla a continuación:



El sector que se ocupa entre los P.K. 0+300 y 0+640 es, geotécnicamente hablando “más tranquilo”. El área de mayor problemática geotécnica se define en las proximidades del PK 0+300, donde se ha localizado un paquete considerable de materiales de relleno, frecuentes fluencias de agua, y patologías en los muros existentes.

Se han observado varias patologías identificadas en edificación y definidas por el hundimiento de parte de la solera de estas construcciones a favor de galerías de circulación de agua que han desarrollado un lavado de materiales finos hasta producir la inestabilidad de los materiales de soporte.

El tramo entre los P.K. 1+200 y 1+300 define el final de la futura carretera. El entronque con la futura carretera se realiza mediante un importante terraplén hasta ganar la cota de la vía que hoy cruza el pueblo de Lanjarón.

La zona esta caracterizada por la existencia de un deslizamiento o de varios de carácter remontante. Los materiales implicados, según la observación realizada “in situ” están formados por un material de derrubio de naturaleza heterogénea, donde se aprecian cantos travertínicos, filíticos, esquistos, etc., envueltos en una matriz arcillo-limosa de tonos rojizos. Todos los datos disponibles indican que nos situamos sobre unos derrubios, que debido a su naturaleza, de por si inestable, se emplazan sobre el substrato, muy húmedo debido a las aguas circundantes y que muy probablemente se encuentran en parámetros residuales.

En definitiva y como resumen de las incidencias geotécnicas observadas se puede hacer el siguiente esquema:

1. Existencia de paquetes importantes de rellenos de naturaleza antrópica al inicio de la futura traza.
2. Localización de algún vertedero incontrolado.
3. Existencia de contactos por fracturas, de tipo tectónico.
4. Riesgo potencial del avance de taludes.
5. Movimientos de masas por caída libre o rodadura.
6. Fenómenos de hundimiento y colapso.
7. Existencia de explotaciones mineras.
8. Patologías en muros.
9. Patologías por hundimiento en edificación.
10. Localización de un deslizamiento o de varios de carácter remontante.

6.- MODELOS CONSTRUCTIVOS

La variante de Lanjarón no contiene estructuras que puedan calificarse de singulares, aunque si tienen trascendencia en cuanto al tipo de cimentación dadas las características del terreno.

Concurren una serie de circunstancias en las diferentes zonas donde se prevé la necesidad de ejecutar muros:

- Sujeción de tierras tanto en desmonte como terraplén

- Terreno de cimentación de mala o muy mala calidad
- Cimentaciones profundas
- Proximidad de edificaciones, con los peligros inherentes a la correspondiente excavación durante la fase de ejecución de un muro tradicional
- Deslizamientos del terreno
- Flujos de agua

A continuación se hará una breve descripción de los muros realizados o que podrían realizarse así como de los cambios llevados a cabo una vez que se ha conocido el terreno y sus circunstancias.

Muro nº 1: Se sitúa entre los P.K. 0+120 a 0+137,50. Cimentación mediante zapata a 1,50 m de profundidad. El objetivo de este muro es reforzar los cimientos de una casa, recibir las cargas y contener el terraplén. El muro se ha realizado tal y como se proyectó, ya que los ensayos coincidían con lo que se había previsto.

Muro nº 2: Se ubica entre los P.K. 0+130 a 0+208,50. Entre los P.K. 0+130 y 0+160 el muro se encuentra cerca a un farallón al que no es aconsejable transmitir cargas, por lo que la cimentación en este tramo se realiza mediante micropilotes. Una vez realizadas las perforaciones, se observó que, en ciertas zonas de este tramo, las limonitas aparecían antes de lo previsto y por lo tanto la solución que planeaba el proyecto hubo de ser modificada sustituyendo la solución de cimentación con micropilotes por pilotaje.

Muro nº 3: Situado entre los P.K. 0+250 a 0+290. Dada la existencia de profundas galerías de minería en la zona era necesario mejorar las condiciones del terreno para proceder a la construcción del muro. La galería se picó y posteriormente se saneó con lechada de hormigón. Según el proyecto, el material que debía aflorar no era de naturaleza rocosa y se construiría una pantalla de micropilotes. Tras ver el material que aparecía en el lugar, rocoso, se construyó una zapata de micropilotes con viga de arriostamiento en cabeza.

Muro nº 4: En esta zona, (P.K. 0+300 a 0+370), existe un deslizamiento del terreno que se encuentra a unos seis metros de profundidad bajo el muro. La contención de dicho deslizamiento se contendrá mediante los pilotes, y la cimentación del terraplén se mejorará mediante pilotes de grava.

Muro nº 5: Situado entre los P.K. 0+375 a 0+495. La cimentación se realiza mediante micropilotes verticales e inclinados, éstos últimos con 15° respecto a la vertical.

Muro nº 6: Variante P.K. 0+460 a Calle 1 P.K. 0+160. En el proyecto se solucionó el problema geotécnico con la propuesta de una cimentación mediante zapata ya que el terreno que se preveía debería presentar una buena resistencia. Tras la ejecución de los sondeos, aparecieron materiales de poca capacidad portante optándose por realizar un micropilotaje.

Muro nº 7: P.K. 0+0399,6 Ramal 3-Glorieta 2 a Variante P.K. 0+570. La tipología consiste en una pantalla de micropilotes anclados con una viga de atado en cabeza de hormigón armado. La cimentación se realiza mediante una fila de micropilotes verticales e inclinados 15° con respecto a la vertical.



Muro nº 8: Situado entre los P.K. 0+615 a 0+620. Se ha decidido no proceder a su construcción momentáneamente y barajar otras posibles alternativas.

Muro nº 9: Se ubica entre los P.K. 0+600 y 0+775. En esta zona el terreno previsto en proyecto eran brechas y travertinos, sin embargo no fue así a lo largo de todo el tramo, siendo de peores condiciones, por lo que se decidió mejorar sus características. Se ha bulonado en dos filas, se ha cubierto con un mallazo y finalmente se ha gunitado. Una vez acabado, según el comportamiento que presente la tierra armada, se podrá revestir con mampostería para mejorar su estética.

Muro nº 10: Se trata quizás del caso más elocuente, localizándose entre los P.K. 0+725 y 0+790. Los datos de proyecto indicaban la existencia de un paquete importante de travertinos, sobre los que habría de asentarse el muro en cuestión. Durante los trabajos realizados se ha podido comprobar que el terreno aflorante es de mucha peor calidad, siendo necesario la modificación del modelo de cimentación por zapata a micropilotaje.

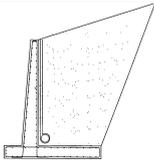
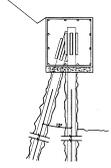
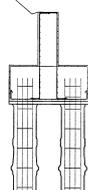
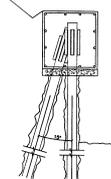
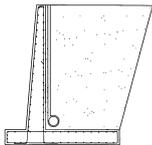
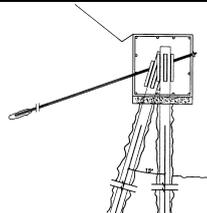
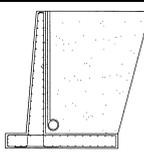
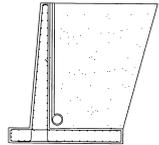
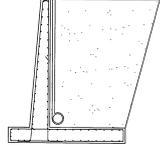
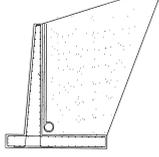
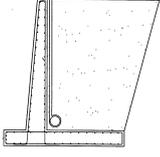
Muro nº 11: En este caso, situado entre los P.K. 0+945 al 1+1015, los terrenos obtenidos durante las labores de construcción del muro han demostrado que corresponden con los materiales esperados y definidos en el proyecto, siguiéndose las recomendaciones de cimentación mediante zapata.

Muro nº 12: El terreno que apareció, durante las labores, no eran exclusivamente travertinos, como definía el proyecto, sino que éstos estaban mezclados con limonitas. La zona fue tratada de forma análoga al muro 9 para poder construir posteriormente.

Muro nº 13: Se sitúa entre el P.K. 1+170 a Ramal 1-Glorieta 3 P.K. 0+025. En esta zona el terreno ha resultado según indicaba el proyecto y por lo tanto no ha sufrido modificación alguna. Su cimentación es mediante pilotes.

Muro nº14: Es el último una vez que se realice el entronque final, situándose entre los P.K 1+165 a Ramal 2-Glorieta 3 P.K. 0+015. Al igual que el anterior muro, en éste tampoco se prevé cambio alguno, luego se construirá según indica el proyecto.

6.1.- Resumen

Muro	Tipología de Proyecto	Modificación al proyecto	Muro	Tipología de Proyecto	Modificación al proyecto
1		No se ha modificado	2		Cimentación por pilotaje
3		Cimentación por micropilotaje	4		No se ha modificado
5		No se ha modificado	6		Cimentación por micropilotaje
7		No se ha modificado	8		No se procede a su construcción
9		Bulonado y gunitado	10		Cimentación por micropilotaje
11		No se ha modificado	12		Bulonado y gunitado
13		No se ha modificado	14		No se ha modificado

7.- CONCLUSIONES

Ocasionalmente, en el mundo de la ingeniería, es posible encontrarse con una zona de dimensiones geográficamente reducidas donde los problemas geotécnicos son múltiples y muy variados. Estas áreas habrán de ser estudiadas desde una nueva perspectiva que debe rechazar los estudios geotécnicos globales, a los que estamos tan acostumbrados. De este modo proponemos para estas zonas las siguientes premisas:

1. Consideramos imprescindible, cuando se sospeche de la situación referida, la realización de una cartografía geológica y geotécnica de extremado detalle a escala no superior a 1:1.000.
2. Ejecución de los suficientes reconocimientos geotécnicos que permitan definir, en la medida de lo posible, todas las incidencias que afectarán a la obra en cuestión.
3. Donde no sea posible la realización de perforaciones habrá de plantearse la necesidad de ejecutar trabajos de reconocimiento geofísico, que complementen dichas perforaciones.
4. Definición de un exhaustivo perfil geotécnico que permita comprender y cuantificar los problemas existentes.
5. Realización de un catálogo de todas las incidencias que se observen en superficie y que de un modo u otro orienten a la definición de problemas.
6. Es de vital importancia que se sea consciente de una situación, que por muy definida que se encuentre habrá necesariamente de depararnos "sorpresas" que el trabajo geotécnico previo no haya definido o simplemente que nos sea correcto, si por correcto entendemos completo. Este hecho se encuentra fácilmente avalado por la concepción de la geotécnica como una ciencia estadística que necesariamente habrá de interpolar entre puntos de reconocimiento, y como toda ciencia estadística está sujeta a la casuística. El avance en Geotecnia mediante experiencias empíricas, sigue siendo hoy en día un hecho. La realización de perfiles geotécnicos realizados "in situ", durante la ejecución de las obras, habrán de complementar los trabajos geotécnicos previos, permitiéndose y facilitando la toma de decisiones que puedan modificar las planteadas en un proyecto, basado en los trabajos preliminares. Es imprescindible considerar una situación de este tipo como una estructura viva que necesita de un equipo técnico compenetrado y multidisciplinar que sea capaz de responder de manera eficaz ante estos cambios.
7. Igualmente, no podemos olvidar, que situaciones como la descrita a lo largo de este trabajo, con un catálogo de incidencias geotécnicas prácticamente de todos los tipos,

habrá necesariamente de dimensionarse soluciones geotécnicas, como pantallas de micropilotes, de pilotes, muros anclados, etc. Los precios de estas unidades son variables dependiendo del sistema de ejecución, población donde desarrollar los trabajos, número de unidades, etc. A modo orientativo y aproximativo se definen los siguientes precios como más comunes y generalizados para estas unidades:

M.I. de micropilote (90/7) → 80 €

M.I. de pilote (Ø 800) → 135 €

M.I. de anclaje (120 Tn) → 85 €

8.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- HERNÁNDEZ DEL POZO, J.C et al.: "Cimentaciones profundas, procedimientos de construcción y cálculo".
- DAS B.M. "Principles of Geotechnical Engineering". PWS-Kent. 1990. 665 pp.
- DUNN, I.S.; ANDERSON, L.R. & KIEFER, F.W. "Fundamentals of Geotechnical Analysis.". John Wiley & Sons, 1980. 414 pp.
- HOEK,E & BROWN,E.T. "Excavaciones subterráneas en roca". Ed. McGraw-Hill. 1980. p. 634.
- JIMENEZ SALAS J. A. & JUSTO, J. L. "Geotecnia y Cimientos. Tomo I: Propiedades de los suelos y de las rocas". Editorial Rueda. 1975 p. 466.
- MANUAL DE TALUDES. "Instituto Geológico y Minero de España". 1987, 456 pp.
- RODRÍGUEZ ORTÍZ, J.M., A. SERRANO, y C. OTEO, (1982): "Cimentaciones". COAM.
- ROMANA, M. "El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes". Alonso,E.; Corominas,J., Chacón, J., Oteo,C. y Pérez,J. , 1997, IV Simp. Nac. Taludes y Laderas Inestables, Granada", vol III, pp. 955-1011.
- TERZAGHI, K. & PECK, R. P. "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica". Editorial "El Ateneo" S.A.. Ed. 3a Reimp. 1978. p. 722