

# TECNICA DE MICROPILOTAJE E INYECCIÓN PARA LA MEJORA DEL TERRENO. ACCESO A LA ESTACIÓN DE ESQUI DE SIERRA NEVADA, GRANADA

Juan Carlos Hernández del Pozo

ICCP. Profesor Titular de Universidad. Prof. Responsable de Geotecnia y Cimientos de la Universidad de Granada

Francisco Rubio García

ICCP. Doctorando de la Universidad de Granada

Isidro Ocete Ruiz

Licenciado Ciencias Geológicas. Jefe Departamento de Suelos de Geotécnica del Sur S.A.

JC Hernández Garvayo

ICCP. DEA por la Universidad de Granada. Doctorando Universidad de Granada.

**RESUMEN:** En el presente documento se presentan las técnicas usadas para la mejora de un terreno sometido a múltiples variables que desarrollan un pésimo nivel sobre el que asentar una obra lineal de gran afluencia de tráfico y claras connotaciones económicas, como fue el caso del acceso a la Estación de Esquí de Sierra Nevada. Para ello se conjugan dos factores tradicionalmente separados y contrapuestos, como son las mejoras geotécnicas del terreno y la adecuación ambiental de la obra, concluyéndose de este estudio la total compatibilidad de los sistemas de corrección de taludes en el marco medioambiental de la zona, con medidas localizadas sin necesidad de maquinaria pesada pero de una tremenda efectividad, como ha demostrado el seguimiento de la obra.

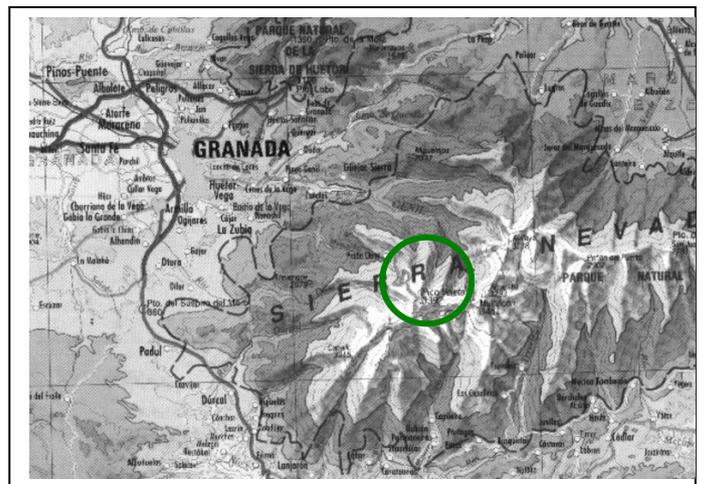
## I.- INTRODUCCION

A raíz de las intensas lluvias acaecidas en diciembre de 1.995 se produjeron importantes patologías en el firme del vial de acceso a la estación de Inverno de Sierra Nevada, en Granada, afectando a unos 1.000 metros. El conjunto de movimientos se sitúa en una sección de calzada consistente en un terraplén contenido por muros de tierra armada, en disposición ligeramente a media ladera. Durante los estudios realizados se pudo de manifiesto que los materiales sobre los que se asentaba el vial existente correspondía con rellenos antiguos o terreno natural sin consolidar, junto con la existencia de un antiguo deslizamiento.

La técnica usada en la actuación presenta un doble connotación, consistente por un lado en limitar todas las afluencias de agua hacia la zona afectada y compuesta por saneamiento y evacuación de aguas de la plataforma y los taludes, así como las medidas conducentes a la estabilización y mejora de los terrenos afectados y consistentes en la realización de inyecciones, muros anclados y micropilotados tendentes a mejorar las características del terreno y contrarrestar los empujes horizontales que se produzcan.

## II.- MARCO GEOGRÁFICO

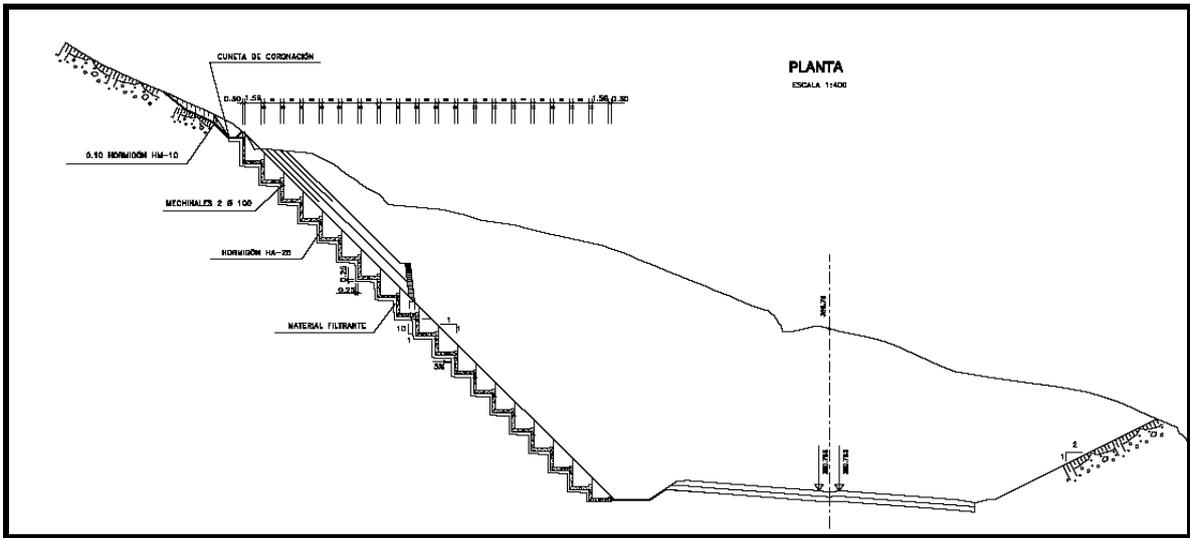
La obra que se ha estudiado se encuadra en la provincia de Granada, se encuentra emplazada a 30 km de la capital, muy cerca de la estación de esquí de Sierra Nevada. Calificada como Parque Nacional, presenta una media anual pluviométrica en la Estación de 694 mm anuales para un periodo de más de treinta años.



## III.- MARCO GEOLÓGICO

El área que nos ocupa se encuadra dentro de las denominadas Cordilleras Béticas, y más concretamente, en la Zona Bética. En un marco más





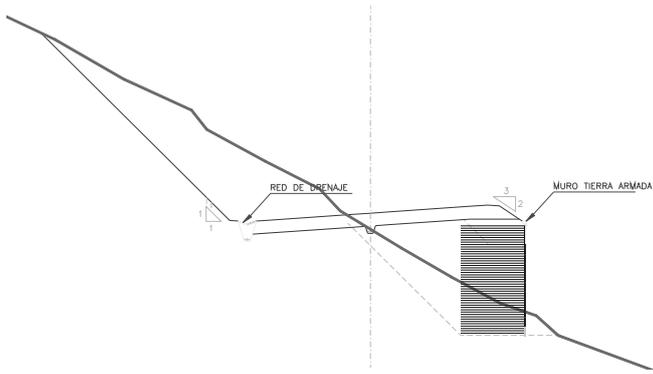
*Detalles de colocación de bajantes prefabricadas de hormigón*

- Subdrenes de zanja: muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos en suelos saturados subsuperficialmente. En estos casos se dispone de un dren de PVC ranurado de 100 mm

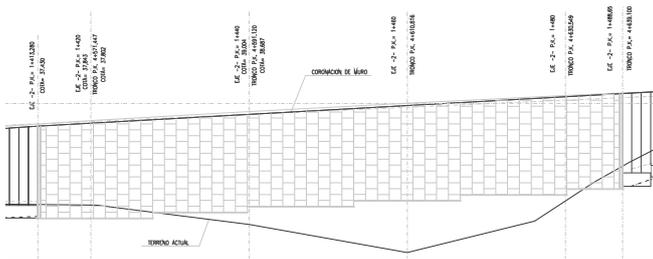
de diámetro por debajo de las capas del firme para captar las aguas infiltradas. El dren desagua a un

COLECTOR		ARQUETA	REJILLA
$\Phi$ 400 y $\Phi$ 600	1.00 x 1.00		1.00 x 1.00
$\Phi$ 800 y $\Phi$ 1.000	1.20 x 1.20		1.00 x 1.00





*La tierra armada en general se colocaba para ejecutar los terraplenes a media ladera*



De una manera simplificada, el método utilizado para el montaje de los muros de tierra armada es el siguiente: inicialmente se prepara la superficie que servirá de soporte al muro en sí. El diseño de esta superficie dependerá de los datos geotécnicos que se tengan del terreno. Posteriormente, y en forma alternativa, se van colocando en cada capa de tierra los tirantes de acero que una vez fijados a las placas prefabricadas harán trabajar en forma permanente al muro como conjunto.

Con la utilización de este sistema constructivo, se obtienen las siguientes ventajas:

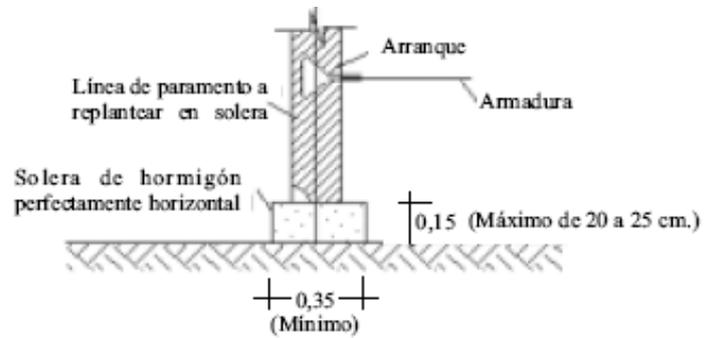
Mayor flexibilidad de la estructura de retención, pues permite adaptarse a terrenos con características geotécnicas difíciles. El sistema admite asentamientos diferenciales del orden de un 1% en muros de hasta seis metros de altura.

El comportamiento ante sobrecargas estáticas y dinámicas, así como ante solicitaciones sísmicas, ha sido demostrado por diversos ensayos realizados por los fabricantes.

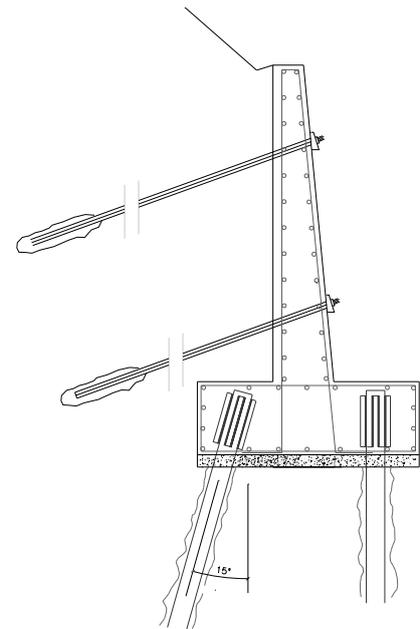
No es necesaria la utilización de andamiajes, encofrados y vaciado en sitio, por lo que su ejecución se abarata.

No son necesarias cimentaciones especiales ya que sólo se requiere de una superficie relativamente plana para el inicio de los muros.

Proporciona una estética integrada. El mosaico de paramento obtenido a partir de los paneles cruciformes y la óptima calidad de la superficie conseguida, permite una excelente estética.



- Micropilotes y anclajes: efectivos en movimientos poco profundos. El suelo debajo de la superficie de rotura debe ser competente para permitir el hincado y soporte de los micropilotes. Los anclajes son bastantes efectivos en estos terrenos, ya que la roca de base se encuentra claramente estratificada. Estos sistemas se combinan con muros de hormigón armado y constituyen estructuras útiles de contención de masas de tamaño pequeño a mediano.



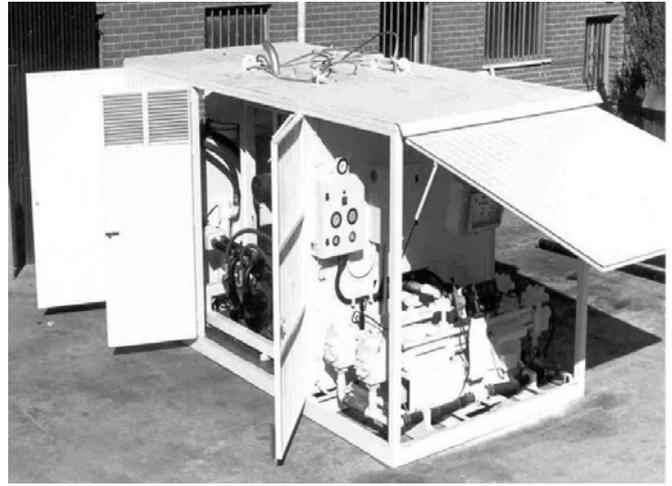
Se disponen dos filas de micropilotes con la tipología 150/114.3/9 inyectados en sistema IRS, donde el diámetro de la perforación es de 150 mm y la armadura tiene un diámetro exterior de 90 mm y espesor de 7 mm. El acero que se recomienda utilizar para el tubo del micro es un ST-52, con un límite elástico de 500 MPa. La separación entre el borde de la zapata y el micropilote es de 0.25 cm, por lo que el brazo de cálculo será de un metro. Según el cálculo, la longitud de los micros es de 12 metros. El tope estructural de este micro a compresión es de 48 Tn, mientras que a cortante se sitúa en el entorno de las 25 Tn. Es fundamental garantizar la adherencia entre el

micropilote y la zapata del muro, por lo que se sueldan cuatro conectores formados por redondos de 16 mm. Según proyecto, los anclajes propuestos se forman con torones o cordones de 7 alambres en acero de alta resistencia y calidad Y-1860-s7 según la norma UNE 36.094-97, carga unitaria máxima o de rotura  $\sigma_{sk} \geq 189.8 \text{ kp/mm}^2$  y diámetro nominal de 0.6" ( $\Phi=15.2 \text{ mm}$ ). La carga de diseño es función del número de torones:

Número de torones (n)	Carga de diseño del anclaje ( $T_y T_n$ )
4	50
6	75
7	90
8	100

#### IV.3.- MEJORAS DEL SUELO

Son métodos que aumentan la resistencia del suelo. Incluyen procesos físicos y químicos que aumentan la cohesión y/o la fricción de la mezcla suelo-producto estabilizante o del suelo modificado. Para el caso concreto que nos ocupa, las mejoras al suelo se introdujeron mediante inyecciones. El método es utilizado para mejorar la resistencia o reducir la permeabilidad de macizos rocosos y en ocasiones de suelos permeables. Los más usados son el cemento y la cal, ya sea en forma de inyección o colocándolo en perforaciones sobre la superficie de rotura. El caso del cemento es un proceso de cementación y relleno de los vacíos del suelo o roca y las discontinuidades de mayor abertura, aumentando la resistencia del conjunto y controlando los flujos internos de agua.



*Bomba para jet-grouting*

En un tramo localizado se aplicó la tecnología de jet-grouting, mejorando notablemente las condiciones del sustrato de apoyo.



El jet-grouting es un proceso que consiste en la desagregación del suelo (o roca poco compacta), mezclándolo, y parcialmente sustituyéndolo, por un agente cementante (normalmente cemento). La desagregación se consigue mediante un fluido con alta energía, que puede incluir el propio agente cementante.

Los parámetros de trabajo utilizados en el proyecto se resumen a continuación:

Parámetros de trabajo	Doble fluido (aire)
Presión de la lechada (MPa)	30
Caudal de la lechada (l/min)	250
Presión de aire (MPa)	0.9
Caudal de aire (m <sup>3</sup> /min)	8

## V.- CONCLUSIONES

En la presente comunicación se han presentado algunos de los numerosos métodos de estabilización de laderas de aplicación. Es de especial importancia el hallarnos dentro de un espacio protegido, como es el Parque Nacional de Sierra Nevada, ya que todas las actuaciones deben integrarse perfectamente en el medio, minimizando las afecciones ambientales.

A tal fin se diseñan medidas correctoras que precisen de maquinaria ligera, recientemente denominadas microtecnología, que acompañadas de actuaciones complementarias superficiales garanticen la estabilidad de la ladera. Entre las primeras se encuentran los sistemas de micropilotaje, anclaje e inyecciones, totalmente compatibles con el planeamiento ecológico siempre y cuando no se afecten a los acuíferos existentes. Como medidas complementarias hemos englobado todas aquellas que drenan el terreno y reducen las presiones que han de soportar las estructuras de contención. Se presenta igualmente la escollera como un método estabilizador que puede alcanzar gran armonía con el espacio ecológico circundante.

Por último, se recomienda estudiar estos diseños en obras donde la potencia del círculo de rotura no sea excesiva, del orden de los 6 metros, ya que se alcanzan los factores de seguridad recomendados con una integración ambiental de la obra.

## VI.- BIBLIOGRAFIA

- BENSLIMANE, I. JURAN AND D. A. BRUCE (1997). "Group and Network Effect in Micropile Design Practice". XIV International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. . Hamburg, Volume 2. pp. 767-770.
- BUSTAMANTE, M. and DOIX, B., (1985). "Une Méthode pour le Calcul des Tirants et des Micropieux Injectés," Bull. liaison laboratoire Ponts et Chaussées, 140, nov-déc, p. 75-92.
- COYLE, H. M. and REESE, L. C. (1966). Load Transfer For Axially Loaded Piles In Clay. Journal Of The Soil Mechanics And

Foundation Division, ASCE, Vol. 92, No. SM2, 1-26.

- HERNÁNDEZ DEL POZO, J.C. ET AL, (2003). "Cimentaciones Profundas. Procedimientos de Ejecución y Cálculo". Área de Ingeniería de la Construcción. Área de Ingeniería del Terreno. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Granada.
- HERNÁNDEZ DEL POZO, J.C. ET AL, (2002). "Micropilotes Inyectados". Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Granada.
- HERNÁNDEZ DEL POZO, J.C., RUBIO F. ET AL. (2004). "Problemas resueltos de cimentaciones profundas". Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Granada.
- MASCARDI, C. A., (1982), "Design Criteria and Performance of Micropiles," Symposium on Soil and Rock Improvement Techniques including Geotextiles, Reinforced Earth and Modern Piling Methods. December, Bangkok, Paper D-3.
- ROMANA RUIZ, M. (2003) "Micropilotes. Uso en Recalces. Conferencia en el "II Curso sobre Recalces, Inclusiones, Inyecciones y Jet-Grouting" organizado por STMR en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de Valencia. Universidad de Valencia.