

CORRECCION DE LADERAS ARCILLOSAS MEDIANTE LA EJECUCION
DE PANTALLAS DRENANTES SUBTERRANEAS

ERASO, A.

ABSTRACT: The paper deals with the problems of slump in clayish slopes which frequently affect civil works in the south of Spain. A special technique is developed, which resolves the problem by influencing the reasons and modifying them accordingly. This special technique merely consists in the coordinated use of other specific and well know techniques, and its success lies in its simplicity and common sense. In all cases the obtained result has been a complete success, remaining as only question the life of these draining curtains, of which the oldest one is working already for four years without problem.

RESUME: L'auteur décrit les problèmes de glissement des pentes argileuses qui se produisent souvent dans les travaux de génie civil au sud de l'Espagne. Une technique spéciale est développée, qui résolve le problème en influençant les causes et les modifiant adéquatement. Cette technique spéciale consiste simplement dans l'utilisation coordonnée d'autres techniques spécifiques et bien connues, et son succès réside dans sa simplicité et sens commun. Dans tous les cas le résultat obtenue était un succès complet, et la seule question est encore la durée de ces écrans de drainage, dont la plus ancienne fonctionne depuis déjà quatre ans sans aucun problème.

RESUMEN: Se describen los problemas de deslizamiento de laderas arcillosas que afectan frecuentemente a las obras civiles en el sur de España. Se desarrolla una técnica especial, que resuelve el problema por incidir sobre las causas modificándolas adecuadamente. Dicha técnica especial consiste simplemente en la utilización coordinada de otras técnicas específicas bien conocidas, residiendo su brillantez en su sencillez y sentido común. El éxito conseguido en todos los casos es total, planteándose únicamente la duración en el tiempo de las referidas pantallas drenantes, de las cuales la más antigua funciona ya desde hace cuatro años, sin problemas de ningún tipo.

Dr. en Ciencias Geológicas. Director de la Asesoría de Geología Aplicada.
División de Investigación y Métodos. Agromán Empresa Constructora, S.A.
Raimundo Fernández Villaverde 43. Madrid 3.

SIAMOS-78. Granada (Españo)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entre los puntos kilométricos 157 y 158 de la línea de ferrocarril de Córdoba a Málaga (tramo situado en la margen derecha del río Guadalhorce), y entre las localidades de Alora y Pizarra, las arcillas gris pardas del Paleógeno, que allí aparecen y sobre las que se instala la vía ferrea, deslizan lenta pero inexorablemente hacia el río, a pesar de que su pendiente natural es del orden de 20°, arrastrando consigo los railes, circunstancia que se ve favorecida por las cargas dinámicas debidas al paso de los trenes.

La situación descrita viene reflejada en la figura 1, donde se aprecia que los niveles piezométricos del terreno se hallan muy próximos a la superficie natural, es decir, que el terreno se encuentra saturado por la existencia de lentes de arena, más permeables, intercalados entre las arcillas, que funcionan a la manera de zonas de alimentación de las aportaciones pluviométricas, a favor de las pequeñas ramblas existentes, que las ponen al descubierto.

Los reconocimientos efectuados, mostraron un panorama bastante problemático.

Los límites de ATTERBERG dieron los siguientes resultados en 30 probetas experimentadas:

	Mínimo	Máximo	Media
<i>Límite líquido</i>	26,-	51,5	41,-
<i>Límite plástico</i>	12,-	21,5	19,-
<i>Índice de plasticidad</i>	14,-	30,-	24,-
<i>Humedad natural</i>	30,-	42,-	38,-

Los ensayos triaxiales efectuados indicaron para el ángulo de rozamiento interno φ y para la cohesión c valores comprendidos entre los siguientes valores extremos:

$$\begin{aligned} \varphi &= 15^\circ 30' & - & 16^\circ \\ c &= \text{nula} & - & 0,1 \text{ kgr/cm}^2 \end{aligned}$$

que suponen un elevado coeficiente de empuje activo para dichas arcillas:

$$\lambda_a = \text{tg}^2 (45 - \varphi/2) = 0,578 - 0,568$$

Y los ensayos de resistencia al corte S_u para valores de humedad natural, es decir, del orden de la correspondiente al límite líquido, se encuentran entre los siguientes valores extremos:

$$S_u = 0,01 - 0,05 \text{ kg/cm}^2$$

NIVEL PIEZOMETRICO NATURAL

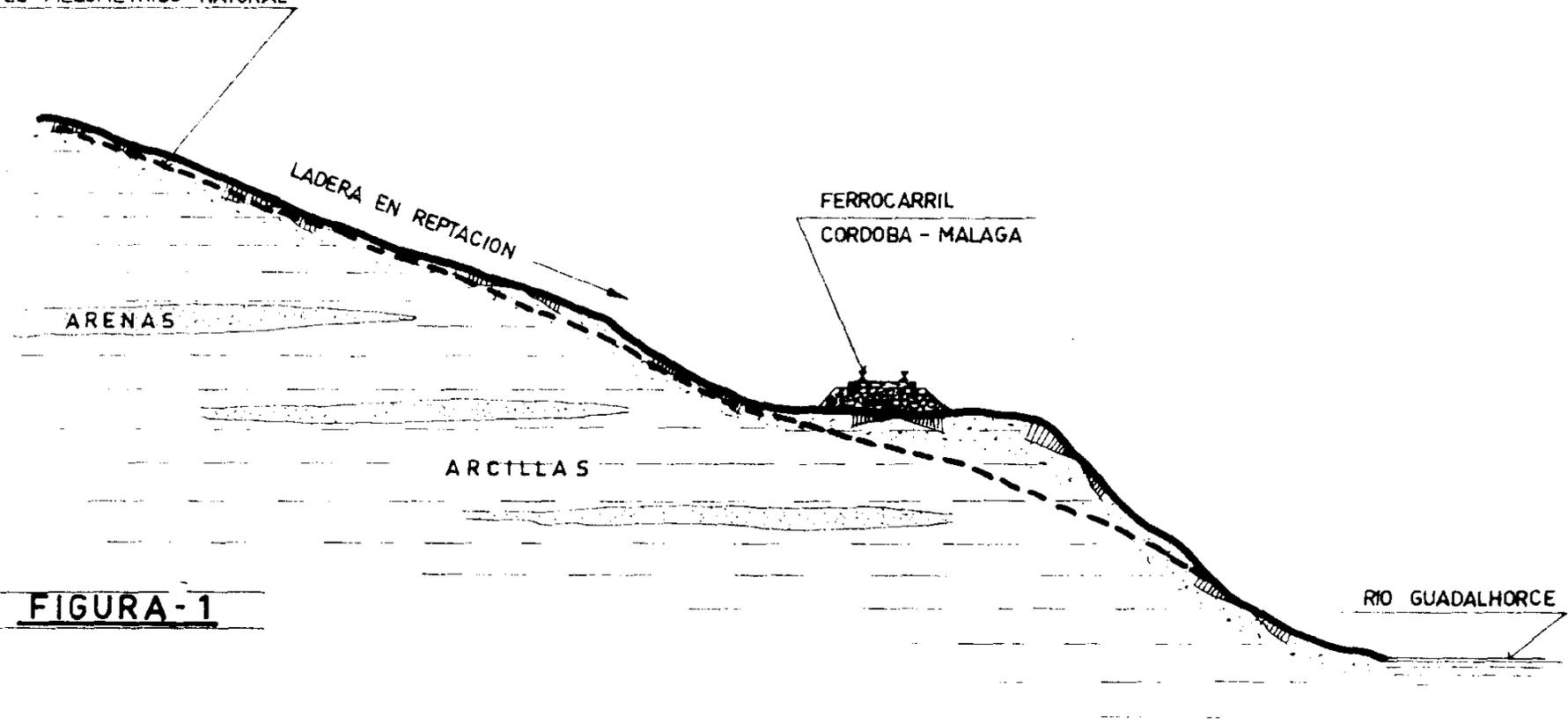


FIGURA - 1

SIAMOS-78. Granada (España)

En resumen:

- que la pendiente natural es mayor que el ángulo de rozamiento interno del terreno
- que la humedad natural es del orden del valor del límite líquido
- que la resistencia al corte, para dicha humedad natural, es muy baja.

definiéndose un terreno muy inestable, saturado en agua, propenso a la reptación y al deslizamiento, lo que motiva la necesidad de reparar la vía cada pocas semanas, para situarla de nuevo en el trazado original.

SOLUCION ADOPTADA

A la vista del cuadro tan negativo de características geomecánicas del terreno, la solución intuitiva parece centrarse en proceder al drenaje del terreno.

Efectivamente, ensayando la resistencia al corte a humedades próximas al límite plástico, aquélla aumenta fuertemente, siendo sus valores extremos:

$$S_u = 0,98 - 1,23 \text{ kg/cm}^2$$

evidenciando que el terreno drenado deja de estar en condiciones de fluencia.

Efectivamente, si el índice de fluidez viene dado por:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$$

siendo:

$$\begin{aligned} W &= \text{humedad natural en \%} \\ W_L &= \text{límite líquido en \%} \\ W_p &= \text{límite plástico en \%} \end{aligned}$$

de donde:

$$\begin{array}{ll} \text{si} & W = W_L \quad \dots\dots\dots I_L = 1 \\ \text{y si} & W = W_p \quad \dots\dots\dots I_L = 0 \end{array}$$

siendo correlacionable el referido índice de fluidez con la resistencia a cortante S_u , observándose que cuando I_L pasa de 1 a 0, S_u aumenta hasta casi 100 veces su valor.

SIAMOS-78. Granada (Españo)

Para proceder al drenaje del frente de ladera, que debe de realizarse sin interrumpir el tráfico ferroviario, la solución que mejor ha resultado, consiste en la ejecución de una pantalla subterránea continua drenante, que recoja las aguas de la ladera, y que las vierta por gravedad mediante una tajea o corto túnel bajo la vía, a cotas más bajas, modificando las condiciones iniciales de la figura 1, por las expresadas en la figura 2.

La realización de la referida pantalla, precisa de la combinación coordinada de numerosas técnicas, cada una de ellas conocida y utilizada aisladamente, sin la cual los problemas presentados no podrían olvidarse.

La primera técnica a emplear es la de *excavación subterránea de zanja continua* por bataches, mediante cuchara bivalva guiada, con la que pueden alcanzarse profundidades de hasta 35 m.

Sin embargo, al estar el nivel piezométrico tan próximo a la superficie, y al liberarse en las arcillas tan lentamente las presiones intersticiales, las paredes verticales de la pantalla excavada en cuestión no se mantendrán, siendo necesario estabilizarlas.

La solución nos la aporta el empleo de la técnica de *lodos de perforación*, capaces de mantener estables paredes verticales en las condiciones de nuestro problema. Debemos pues excavar la pantalla por bataches, bajo lodo bentonítico.

Sin embargo, los lodos, en su cometido estabilizante, entarquinan y sellan las paredes de la zanja excavada, de la cual, no olvidemos, solicitamos una función drenante.

Hay pues que eliminar el lodo, pero sin perturbar la estabilidad de las paredes de la pantalla ya excavada.

La estabilidad se consigue mediante el vertido de *filtros*, a la manera de la técnica utilizada en los pozos de captación de agua.

La eliminación del lodo se consigue reemplazándolo con agua, mediante circulación en circuito cerrado, gracias a la aplicación de la técnica de *circulación inversa*, por insuflado de aire, empleada en la perforación de pozos de gran diámetro para captación de aguas.

Una vez logrado esto, queda todavía la costra (cake) o entarquinado, que sella las paredes y que es preciso eliminar.

Para ello, sin dejar de circular el agua, como en la operación anterior, se procede a flocular el referido entarquinado parietal, que es necesario desprender, para lo que se utiliza la técnica de *estimulación de pozos mediante acidificación*.

Cuando el agua salga ya limpia, sin residuos de costra, se da por terminada la operación de ejecución de la pantalla drenante propiamente dicha.

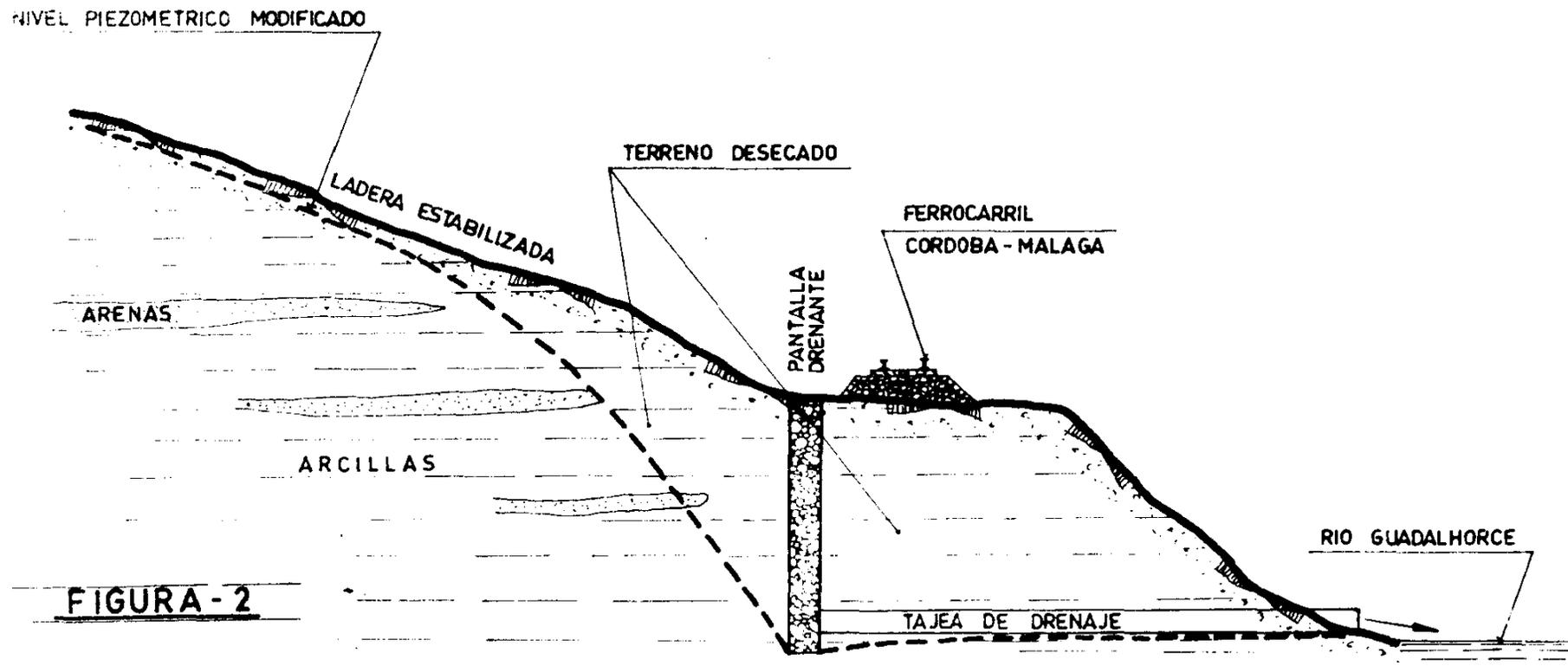


FIGURA - 2

SIAMOS-78. Granada (España)

La última operación, consiste en la perforación del túnel de desagüe; se desarrolla mediante la aplicación de las técnicas de *excavación de túneles*, quedando la pantalla drenante apta para su servicio una vez que el referido túnel cala hasta la pantalla.

Resumiendo, las técnicas que se combinan en la ejecución de una pantalla drenante son:

- Excavación subterránea de zanja vertical en bataches con cuchara bivalva
- Empleo de lodos tixotrópicos como estabilizante
- Introducción de filtros para captación de aguas
- Circulación inversa por insuflado de aire
- Estimulación de pozos mediante acidificación
- Excavación de túnel (y sustentación) de drenaje.

RESULTADOS

El sentido físico de los resultados se interpreta a la vista de la figura 2, donde se recogen los niveles piezométricos modificados por la existencia de la pantalla drenante, de manera que las zonas desecadas por drenaje presentan elevada resistencia a esfuerzo cortante, actuando de cuña estabilizante frente a los empujes de la ladera no desecada más arriba.

A efectos de cálculo habremos de considerar el empuje pasivo de la cuña estabilizante drenada, que en nuestro caso presenta valores de coeficiente de empuje pasivo, comprendidos entre los siguientes extremos:

$$\lambda_p = \operatorname{tg}^2 (45 + \varphi/2) = 1,73 - 1,76$$

En el ejemplo descrito, los resultados han sido espectaculares, ya que desde hace cuatro años que dicha pantalla drenante, primera ejecutada en España, fué realizada, el tramo de vía ferrea afectado, no ha vuelto a moverse, a pesar de que los caudales drenados son muy pequeños, del orden de:

$$Q \leq 1 \text{ litro /seg. por cada } 1000 \text{ m}^2 \text{ de pantalla}$$

Posteriormente se han realizado en diferentes arcillas de Andalucía, varios km lineales de pantalla drenante, siempre con éxito, logrando en todos los casos detener completamente la reptación de las respectivas laderas.

Ahora se cuestiona el problema de saber la vida útil de las referidas pantallas drenantes. Nada podemos decir al respecto, salvo que el referido problema no pasa de ser todavía una mera disquisición académica, ya que en el práctica el problema real aún no se ha planteado.

De todas maneras, su reactivación y estimulación, con los mismos procedimientos descritos, se presenta técnicamente muy viable y discreta en costos y plazos.