

**INTEVIA**  
**Instituto Técnico de la Vialidad y del Asfalto**

**CURSO DE**  
**TALUDES EN OBRAS LINEALES**  
**MADRID, 17 a 19 de Febrero de 2.003**

# **CLAVETEADO DEL TERRENO**

**Fernando MUZÁS LABAD**  
**Profesor Titular de Mecánica del Suelo y Cimentaciones**  
**E.T.S. de Arquitectura – Universidad Politécnica de Madrid**

# CLAVETEADO DEL TERRENO

Índice	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. FUNCIONAMIENTO DE LAS INCLUSIONES	3
3. PREDIMENSIONADO DE UN MURO DE SUELO CLAVETEADO	5
4. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD	7
4.1. Estabilidad general	7
4.2. Resistencia de las inclusiones	8
4.3. Comprobación del paramento exterior	9
5. ASPECTOS DE DISEÑO Y EJECUCIÓN	9
5.1. Deformaciones	9
5.2. Coeficientes de seguridad	10
5.3. Ejecución y control	10
6. EJEMPLO DE APLICACIÓN	11
BIBLIOGRAFÍA	13
FIGURAS	

## 1. INTRODUCCIÓN

Entre las técnicas utilizadas habitualmente para la estabilización de taludes, o mejorar masas de suelo, varias de ellas tienen por objeto incrementar la resistencia interna del terreno mediante la incorporación dentro de su masa de elementos adecuados.

En el sistema conocido como “**cosido, claveteado o agujeteado del terreno**” estos elementos son de reducida sección y resisten fundamentalmente a tracción, aunque también se ven sometidos a esfuerzos cortantes. Con ellos se pretende aumentar la resistencia al corte del conjunto y mejorar la estabilidad de taludes naturales o de rellenos artificiales. El sistema se utiliza para el **refuerzo “in situ” de masas de suelo existentes** y consiste en la instalación de barras, cables o tubos de acero en taludes de suelo natural o de rocas blandas, mediante la hincada de los mismos, o el sellado con inyecciones en el interior de perforaciones previamente realizadas. Su comportamiento es similar, en líneas generales, al de la “**tierra armada**”, si bien en este caso se trata de reforzar rellenos artificiales en lugar de un terreno natural.

En principio el **cosido o claveteado del terreno** se puede utilizar para resolver los problemas que se recogen en la **Fig.1** (MOPU, 1989). En todas las soluciones reflejadas, el sistema consiste en la inclusión de una serie de elementos que cosen la masa de suelo que se desea reforzar a otra masa de mayor resistencia o mayor estabilidad. En consecuencia los elementos tienen dos zonas, una que recibe las acciones de la masa de suelo a mejorar y otra que las transmite a la masa de suelo con la que se consigue aumentar la estabilidad del conjunto. El sistema requiere, además, la disposición en el exterior de las inclusiones, de una coraza estructural que las enlace, para conseguir un comportamiento conjunto de las mismas. De todas las aplicaciones representadas en la Figura 1, lo más frecuente es utilizar el “**claveteado**” para los casos siguientes:

- Taludes potencialmente inestables en los que no han ocurrido movimientos, o estos son pequeños, pero donde el coeficiente de seguridad es bastante bajo para indicar que existe una fuerte posibilidad de movimientos futuros.

- Taludes reptantes en los que el movimiento se está produciendo.
- Excavación del terreno natural mediante la creación de muros de suelo armado en fases descendentes.

Junto con el suelo natural, los clavos forman una estructura mixta coherente, capaz de detener el movimiento de taludes inestables, o soportar excavaciones. El claveteado difiere de los sistemas tradicionales de muros anclados ya que se trata de elementos pasivos que no están puestos en tensión previamente y que, además, se colocan, habitualmente, mucho más cerca que los anclajes de arriostamiento.

La técnica del claveteado ha sido utilizada principalmente para la estabilización de excavaciones temporales. Existe algún conocimiento respecto al grado de corrosión de los clavos de acero utilizados. Sin embargo nuevos tipos de clavos de alta resistencia a la corrosión han sido desarrollados. Para un posterior incremento de confianza en el uso de este método para la estabilización de taludes permanentes, se está realizando investigación adicional en el campo del comportamiento de estructuras de suelo-claveteado.

Existe un cierto número de casos históricos relacionados con el uso del claveteado para el soporte de excavaciones temporales recogidos en la literatura internacional, relacionados con el diseño, construcción y comportamiento de taludes de hasta 23 m de altura. Parece que no se han publicado casos en los que se haya aplicado el claveteado del suelo para estabilizar deslizamientos activos o taludes en movimiento.

Se ha utilizado un sistema, para la estabilización de un talud, consistente en utilizar una malla geosintética en lugar del hormigón proyectado en la superficie, anclada con clavos

Una técnica similar para el refuerzo del terreno in situ, la constituye la utilización de determinados tipos de micropilotes más conocidos como pilotes raíz, desarrollados por Lizzi en los años 1950's que se instalan de una manera tridimensional similar a una distribución geométrica de las raíces.

## 2. FUNCIONAMIENTO DE LAS INCLUSIONES

La sollicitación a que se ve sometida una inclusión en su punto de intersección, "O", con la superficie potencial de rotura del terreno puede tener, en general y siguiendo la notación de Schlosser (1985), tres componentes:

1. Esfuerzo axial de tracción,  $T_n$
2. Esfuerzo cortante,  $T_c$
3. Momento flector,  $M_f$

**El esfuerzo axial,  $T_n$** , es, en principio, el fundamental, con el cual se establece el cosido de la masa de terreno potencialmente inestable, a la masa de suelo subyacente. Este esfuerzo debe ser menor que la resistencia a tracción de la inclusión  $R_n$  y al mismo tiempo menor que la resistencia al arranque, definida por el rozamiento lateral unitario entre el terreno y el suelo  $r_s$ . Por tanto, se debe cumplir:

$$T_0 \leq r_s \cdot \pi \cdot D \cdot L_a / F$$

Siendo:  $\pi \cdot D$ : el perímetro de la superficie lateral resistente de la inclusión  
 $L_a$ : la longitud de sellado de la inclusión en el terreno, más allá de la superficie de rotura  
 $F$ : el coeficiente de seguridad

En la bibliografía (Guilloux, 1984; Gigan, 1986) se citan los siguientes valores de la adherencia límite:

### VALORES DE LA ADHERENCIA LÍMITE $r_s$

Tipo de terreno	Armaduras selladas	Armaduras hincadas
Margo-calizas	30 t/m <sup>2</sup>	--
Margas	>10 t/m <sup>2</sup>	--
Arcilla plástica	4 t/m <sup>2</sup>	2 a 4 t/m <sup>2</sup>
Limo arcilloso	4 a 9 t/m <sup>2</sup>	4 t/m <sup>2</sup>
Limo	6 t/m <sup>2</sup>	4 a 6 t/m <sup>2</sup>
Arena fina limosa	8 a 10 t/m <sup>2</sup>	6 a 8 t/m <sup>2</sup>

**El esfuerzo cortante  $T_c$** , así como el **momento flector  $M_f$** , en el punto O, son consecuencia del desplazamiento relativo experimentado por las masas de suelo a un lado y otro de la potencial superficie de rotura. En la **Fig.2** puede verse el comportamiento de un clavo cuando se ve sometido a esfuerzos transversales. Como consecuencia del desplazamiento, aparecen en el terreno unas presiones laterales “**p**” que tienen como límite presión límite o última “**p<sub>u</sub>**” que pueda resistir el suelo.

El estudio de este comportamiento puede efectuarse, en principio, asimilando el terreno a un medio de Winkler, caracterizado por el coeficiente de balasto, **K**, correspondiente al tipo de terreno y a la anchura y longitud de la inclusión.

Si se supone que el desplazamiento entre la masa de terreno potencialmente inestable y el substrato es igual a **2y<sub>0</sub>**, que el terreno se caracteriza por un coeficiente de balasto constante, **K**, y que la inclusión tiene un ancho **D** y una rigidez **E.I**, la unidad elástica vale:

$$U = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{K \cdot D}}$$

Normalmente, dada la pequeña inercia de los clavos, la unidad elástica **U** es pequeña, lo que equivale a que los clavos se pueden considerar como elementos muy largos al ser **L<sub>a</sub> > 3 U**.

En estas condiciones, el momento flector en el punto O, resulta **M = 0**, por simetría, siendo la deformación debida al esfuerzo cortante **T<sub>c</sub>**:

$$y_0 = \frac{2 \cdot T_c}{K \cdot D \cdot U}$$

La reacción del terreno en el punto “O”, vale **p<sub>0</sub> = K · y<sub>0</sub>** y el cortante:

$$Q_0 = \frac{1}{2} p_0 \cdot D \cdot U$$

El momento flector máximo se produce en los puntos A y A', a una distancia del punto "O" de valor:

$$x_o = \pi \cdot U / 4$$

Este momento tiene como valor:

$$M_{\text{máx}} = 0,32 T_c \cdot U$$

Puede ocurrir que la presión  $p$  del terreno alcance, en una cierta longitud, la presión  $p_u$  de plastificación del mismo, antes de que se llegue a la plastificación del clavo en el punto A, donde la inclusión está sometida a tracción compuesta, o viceversa que se agote primero la resistencia de la inclusión.

### 3. PREDIMENSIONADO DE UN MURO DE SUELO CLAVETEO

La técnica del claveteado se viene usando desde hace unos 30 años en obras de carretera, fundamentalmente para la creación de muros de suelo que, de manera general, se construyen mediante excavación del terreno por fases descendentes.

La aplicación de esta técnica para la creación de dichos muros, es más efectiva en suelos granulares densos con finos y arcillas limosas rígidas de baja plasticidad, debido, precisamente, al proceso constructivo utilizado. El suelo debe tener suficiente resistencia para mantenerse estable en un corte vertical de aproximadamente 2 m de altura, sin fallo o deformación excesiva. Por ello esta técnica no resulta efectiva en suelos granulares flojos o arcillas blandas. La presencia de un nivel freático alto, puede plantear dificultades de construcción e invalidar su aplicación.

Habitualmente se coloca un clavo para una superficie del orden de 1 a 6 m<sup>2</sup> del

paramento de suelo a estabilizar. La estabilidad del terreno entre los clavos se consigue con una delgada capa (10 a 15 cm) de hormigón proyectado, reforzado con un mallazo, o también con placas de acero cubiertas posteriormente con hormigón proyectado.

En la bibliografía existen diversos trabajos dedicados al predimensionamiento de un muro claveteado. La **Fig.3** reproduce uno de los ábacos elaborados por Gigan (1986), para un terreno horizontal y un muro de altura H, con paramento vertical, constituido por el claveteado del terreno, en un espesor de longitud L igual al 80% de la altura H.

Este autor ha estudiado la influencia de la inclinación del claveteado, del talud del paramento y de la inclinación del terreno en superficie, viendo que es, éste último factor, el único que tiene influencia destacable, cosa lógica si se recuerda la variación que experimentan los coeficientes de empuje sobre muros, al aumentar la inclinación.

En el ábaco de la Figura 3, se entra con el valor de  $\text{tg } \varphi$ , en abscisas, y el coeficiente  $N = c / (\gamma \cdot H)$ , en ordenadas, obteniendo el punto M. Si se desea un coeficiente de seguridad F, se determina el punto A de la figura, dividiendo los parámetros anteriores por dicho coeficiente, de manera que la distancia  $OA = OM / F$ . Este punto A permite definir el parámetro “d” que corresponde a lo que se denomina **densidad del claveteado**, definida por la relación:

$$d = \frac{T_L}{\gamma \cdot S_h \cdot S_v \cdot L}$$

Siendo:

$T_L$	Tracción límite convencional, por fallo de la adherencia
$\gamma$	Peso específico del terreno
$S_h$	Espaciamiento horizontal de los clavos
$S_v$	Espaciamiento vertical de los clavos
L	Espesor del muro definido por el claveteado



## 4. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD

La estabilidad del suelo reforzado con clavos está relacionada con varios fenómenos como son:

- Estabilidad general del conjunto del terreno reforzado con las inclusiones.
- Resistencia de las inclusiones, para los distintos esfuerzos de tracción, esfuerzo cortante y flexión a que se pueden ver sometidas.
- Resistencia al arrancamiento debida a la fricción o adherencia movilizada en la interfase entre el suelo y el clavo.
- Tensiones desarrolladas a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento y en sentido perpendicular, según la dirección del movimiento relativo clavo-terreno.
- Enlace de las inclusiones al paramento exterior del muro, de manera que puedan recoger los empujes del terreno.

A continuación se recogen algunos comentarios sobre las principales comprobaciones a realizar.

### 4.1. ESTABILIDAD GENERAL

Existen diversos análisis para comprobar la estabilidad general de un muro de suelo claveteado, entre los cuales quizá los más recientes sean los de Elias and Juran (1991) y Byrne (1992). Los sistemas suelo-claveteado son relativamente flexibles y deberían resistir a cargas sísmicas. Sin embargo el conocimiento sobre el comportamiento dinámico de estructuras de este tipo es muy limitado y se necesita desarrollar métodos de proyecto para zonas sísmicas.

El método de cálculo más antiguo es el de Kranz (**Fig.4**) que se aplica, frecuentemente, para el estudio de pantallas ancladas, estableciendo el equilibrio de una masa de suelo definida por el trasdós de los clavos y una recta que pasa por el pie del muro.

Un cálculo más elaborado es el que aparece en la **Fig.5**, (Método de Stocker et. alt., 1979), en el que la rotura del terreno se define por dos líneas rectas. Otros autores han utilizado otras superficies de rotura, bien de tipo parabólico, como puede verse en la **Fig.6** (Método de Shen, 1978), o utilizando espirales logarítmicas, según se recoge en la **Fig.7**.(Método de Juran, 1990).

Hoy en día existen diversos programas de cálculo de estabilidad de taludes, con superficies de rotura circular o de otro tipo, que permiten introducir la existencia de barras de refuerzo horizontal o inclinado, determinando la superficie de rotura más desfavorable y el coeficiente de seguridad correspondiente.

## **4.2. RESISTENCIA DE LAS INCLUSIONES**

Teniendo en cuenta las diversas posibilidades de agotamiento, Schlosser estableció un criterio de rotura conjunto, reflejado en la **Fig.8**.(Multicriterio de resistencia, Schlosser, 1982). En esta figura se tienen en cuenta los siguientes criterios de rotura:

- C<sub>1</sub>. Criterio de rozamiento lateral suelo/clavo. Fallo de adherencia del clavo, por llegar al límite del rozamiento lateral con el suelo.
- C<sub>2</sub>. Criterio de presión lateral suelo/clavo. Plastificación del suelo, cuando la presión lateral sobre el clavo alcanza un valor límite.
- C<sub>3</sub>. Criterio de tracción–cizallamiento. Resistencia del clavo, por combinación de esfuerzos de tracción y de corte.
- C<sub>4</sub>. Criterio de plastificación de la inclusión. Plastificación del clavo por combinación de esfuerzos de tracción y de flexión.

### **4.3. COMPROBACIÓN DEL PARAMENTO EXTERIOR**

El cálculo del paramento exterior comporta las etapas siguientes:

1. Determinación de los esfuerzos en la cabeza de los clavos y de la presión de las tierras sobre el paramento.
2. Verificación de la resistencia del paramento.

Se supone que los esfuerzos máximos de los clavos se reparten uniformemente en la superficie del paramento afectada por ellos y se puede calcular como una placa apoyada localmente en las cabezas de los clavos, bien como elementos independientes, o bien como bandas horizontales.

## **5. ASPECTOS DE DISEÑO Y EJECUCIÓN**

### **5.1. DEFORMACIONES**

Los paramentos de muros cosidos experimentan pequeñas deformaciones horizontales que resultan necesarias para la movilización del rozamiento entre las inclusiones y el terreno y la puesta en carga de las barras.

La mayor parte de las deformaciones se produce durante la ejecución y suelen variar entre el 1 por mil y el 3 por mil de la altura H.

## 5.2. COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Aunque existen propuestas recientes sobre la adopción de coeficientes de mayoración de acciones y minoración de resistencias, en mecánica del suelo es más habitual considerar coeficientes globales, pudiendo adoptar los que se indican a continuación.

PARÁMETRO	COEFICIENTE
Rozamiento del terreno $\text{tg } \varphi$	1,15
Cohesión del terreno $c$	1,5
Tensión normal del terreno	2,0
Rozamiento suelo-inclusión	2,0
Tensión de trabajo de las barras	1,5 a 2,0
Deslizamiento del muro claveteado	1,3 a 1,5
Rotura general	1,25 a 1,40
Capacidad portante del cimiento	1,5 a 2,0

## 5.3. EJECUCIÓN Y CONTROL

Las barras suelen ser de acero corrugado en tamaños de 25 a 32 mm de diámetro. Los aceros especiales con rosca, tipo GEWI o DYWIDAG, resultan indicados por la facilidad del apriete final. En ocasiones se han utilizado cables.

Las perforaciones no deben ser inferiores a 100 mm de diámetro para garantizar un recubrimiento y un bulbo adherente suficientes. Las barras deben llevar separadores.

El relleno de las perforaciones debe efectuarse con lechadas o morteros de baja retracción con relación agua/cemento igual o inferior a la unidad.

En la cabeza de las barras es conveniente colocar una placa de reparto con tuerca de

apriete, sujetando con ella el mallazo del paramento exterior, constituido con gunita u hormigón proyectado.

Debe prestarse especial atención a las posibles surgencias de agua en el frente de excavación, procediendo a las oportunas captaciones y medidas de drenaje.

Es recomendable proceder a efectuar ensayos previos de arrancamiento de las barras a utilizar, al menos en 3 unidades, o en un pequeño porcentaje (2 al 5%) del total a utilizar.

Conviene disponer elementos de control próximos al paramento y a las estructuras que puedan verse afectadas, con objeto de controlar el movimiento del muro, durante la fase de construcción y luego posteriormente.

Finalmente es conveniente también la observación periódica, al menos una vez al año, de los muros claveteados, para detectar manchas de corrosión, fisuras en el paramento o deformaciones anormales indicativas de fallos locales de estabilidad.

## **6. EJEMPLO DE APLICACIÓN**

Como consecuencia del ensanche de la Autovía de circunvalación de la ciudad de Burgos, se planteó la necesidad de efectuar una excavación de 3,50 m de anchura que afectaba a un talud excavado en terreno natural, de altura máxima igual a unos 33,0 m, y al terraplén sobre el que apoyaba el estribo de un paso superior. En estos dos puntos, durante la realización del proyecto se planteó como solución reforzar el terreno, en las zonas de excavación, mediante la técnica del claveteado procediendo por fases descendentes, con objeto de restituir el coeficiente de seguridad existente previamente, en la situación inicial.

El claveteado diseñado consistió, según aparece en la **Fig.9**, en el armado del terreno mediante inclusiones constituidas por barras de acero de 40 mm y 32 mm de diámetro, alojadas en el eje de una perforación de 200 mm de diámetro, rellenas de lechada de cemento. La separación de las inclusiones fue, en el caso del estribo, de 1,00 m en sentido vertical y 1,50 m en sentido horizontal. En el caso del desmonte, la separación fue de 1,50 m, tanto en sentido vertical como horizontal.

Como resistencia al deslizamiento de los clavos en el terreno, se consideró el valor de 15,00 t/m<sup>2</sup>, en el caso del estribo del Paso Superior apoyado sobre gravas, y de 10,00 t/m<sup>2</sup> en el caso del desmonte excavado en margas horizontales de baja resistencia.

En el exterior se proyectó un revestimiento formado por una primera capa provisional de hormigón proyectado, de 12 cm. de espesor, y un revestimiento definitivo hormigonado “in situ”, de 20 cm. de espesor.

La comprobación de la estabilidad de estos taludes y el diseño de los distintos elementos de refuerzo, se efectuó siguiendo las directrices que se recogen en el “Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls”, publicación N° FHWA-SA-96-069R del U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (Octubre 1998).

Dadas las notables diferencias existentes entre los dos casos aquí estudiados y las aplicaciones contempladas en el Manual citado, determinados aspectos debieron de adaptarse adecuadamente, manteniendo en todo caso las líneas generales allí recogidas, sobre el comportamiento del sistema.

Para estimar la necesidad de refuerzo se utilizó el programa de cálculo en ordenador STABGM que permite analizar la estabilidad de taludes por el método de Bishop, en un terreno que puede estar constituido por diversos materiales y en el que cabe considerar la existencia de refuerzos horizontales, a distintos niveles.

## **BIBLIOGRAFÍA**

BANGRATZ, J.L. y GIGAN, J.P. (1984): “Méthode rapide de calcul des massifs

cloués". Colloq. Int. Renforc. En place des Sols et des Roches, París.

BYRNE, R.J. (1992): "Soil Nailing. A Simplified Kinematic Analysis". Proceedings Conference on Grouting, Soil improvement and Geosynthetics, Nueva Orleans ASCE.

ELIAS, V. y JURAN, I. (1991): "Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations". Departamento de Transportes FHWA, USA.

GIGAN, J.P. (1986): "Applications du clouage en soutènement.". Bull. Liaison Labo. P. et Ch.

GIGAN, J.P. (1986): "Stabilité d'une paroi de soutènement clouée. Etude comparative par plusieurs méthodes". Bull. Liaison Labo. P. et Ch.

GILLOUX A. (1984): "Evaluation du frottement latéral sol-inclusion dans le clouage des sols". Colloq. Int. Renforcement en place des sols et des roches, París.

GILLOUX A. y SCHLOSSER F. (1985): "Soil nailing. Practical applications". Symp. Rec. Dev. In Ground Improv. Bangkok, 1982.

JURAN, I et. Al.. (1990): "Kinematical Limit Analysis for Design of Soil-Nailed Structures". ASCE, J. Geot. Eng. Vol 116.

JURAN, I et. Al.. (1990): "Design of soil nailed retaining structures". ASCE, Geot. Sp. Publ. N 25, Ed. Lambe y Hansen.

MOPU, (1989): "Manual para el proyecto y ejecución de estructuras de suelo reforzado". Publ. Tecnol. N 31.

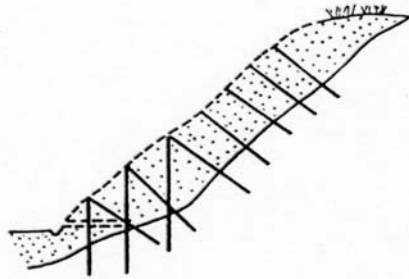
PROJET NATIONAL CLOUTERRE (1991): "Recommandations Clouterre 1991". Presses de l'école national des Ponts et Chaussées.

SHEN, C.K. et alt. (1981): "Field measurement of an earth support system". ASCE, J. Geot. Eng. Div. Vol. 107.

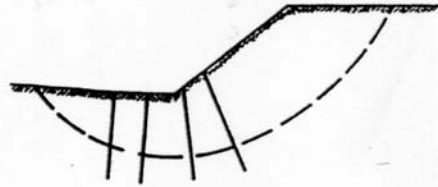
STOCKER, M. et alt. (1979): "Soil nailing". Coll. Int. Sur le renforcement des Sols, 2". París 1979.

STOCKER, M. y RIEDINGER, G. (1990): "The bearing behaviour of nailed retaining structures". ASCE, Geot. Sp. Publ. N 25, Ed. Lambe y Hansen.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1998): "Manual for design and construction monitoring of soil nail walls." Publicación N° FHWA-SA-96-069R.



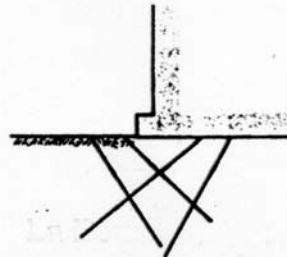
a) COSIDO DE UN MANTO COLUVIAL.



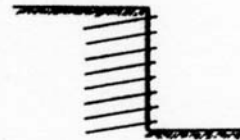
b) MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE UN TALUD EN TERRENO BLANDO.



c) MEJORA DEL CIMIENTO DE TERRAPLENES



d) REFUERZO DEL TERRENO EN CIMENTACION DE ESTRUCTURAS



e) COSIDO Y ANCLAJE DE EXCAVACIONES SUBVERTICALES.

**FIG.1. Aplicaciones del claveteado del terreno (MOPU, 1989)**



CLAVO SOMETIDO A ESFUERZOS TRANSVERSALES

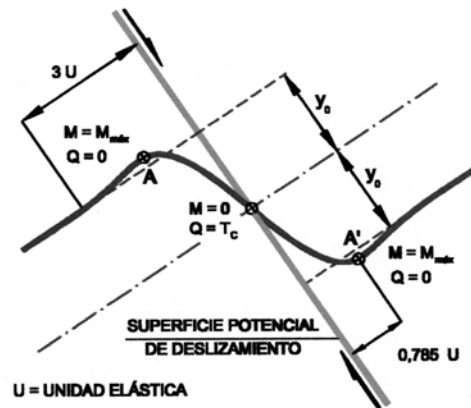


FIG.2. Comportamiento de un clavo sometido a esfuerzos transversales

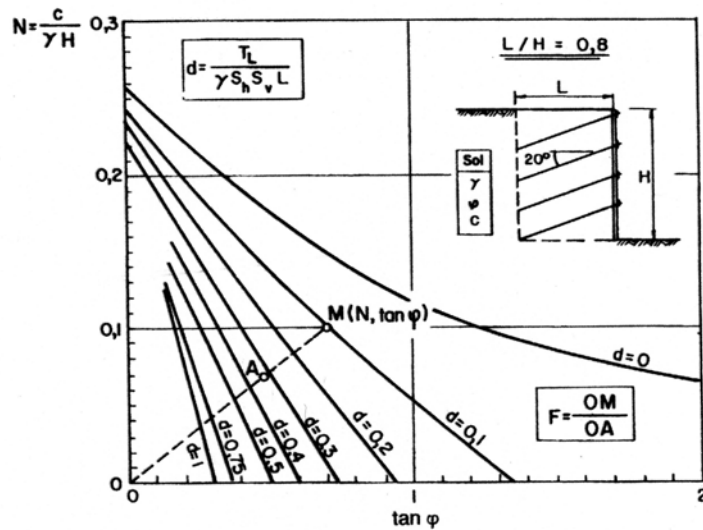


FIG.3. Ejemplo de ábaco de predimensionamiento (Gigan, 1986)

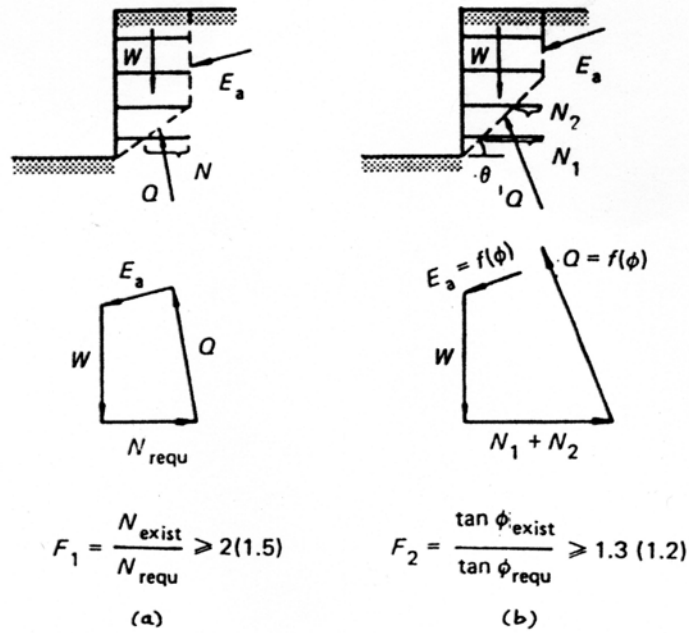


FIG.4. Método de rotura de Kranz

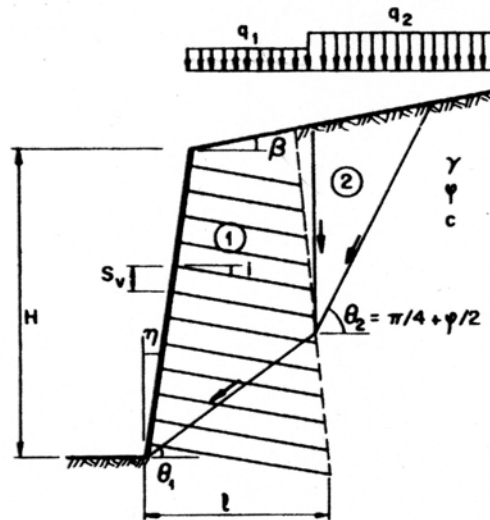


FIG.5. Método de rotura bilinear (Stocker et al., 1979)

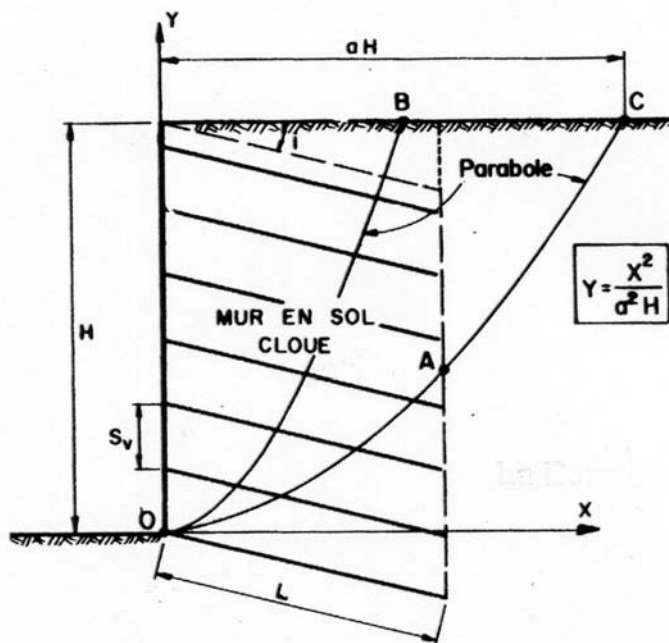
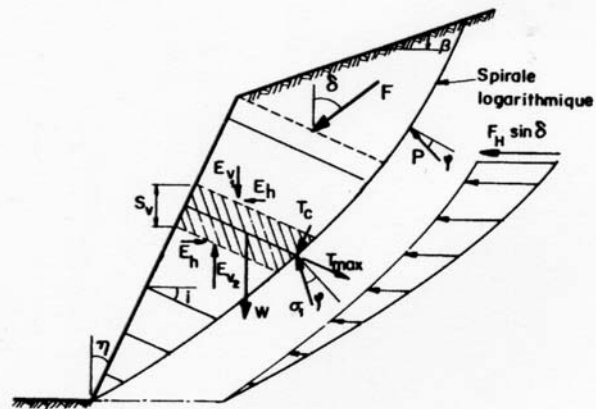
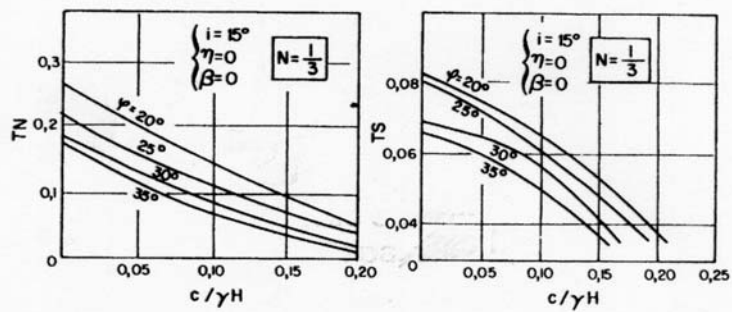


FIG.6. Método de rotura con parábolas (Shen, 1978)



(a)



(b)

**FIG.7. Método de cálculo con espirales logarítmicas (Juran, 1990) y ábacos para el cálculo de los esfuerzos  $T_n = T_{máx}$  y  $T_c$**

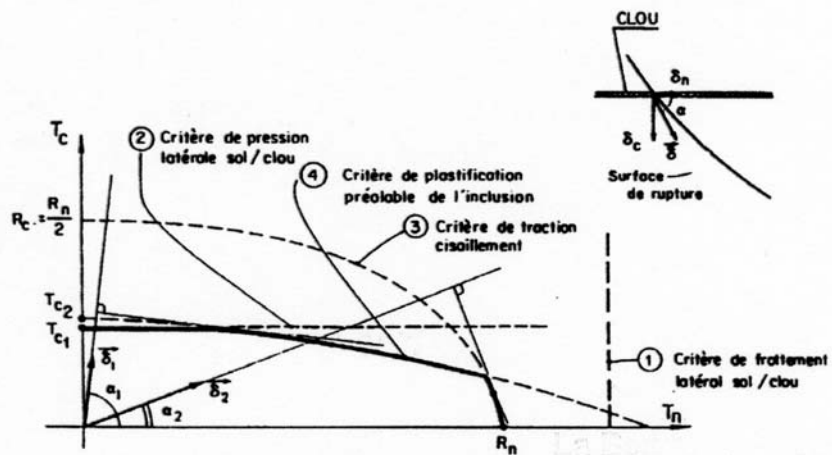
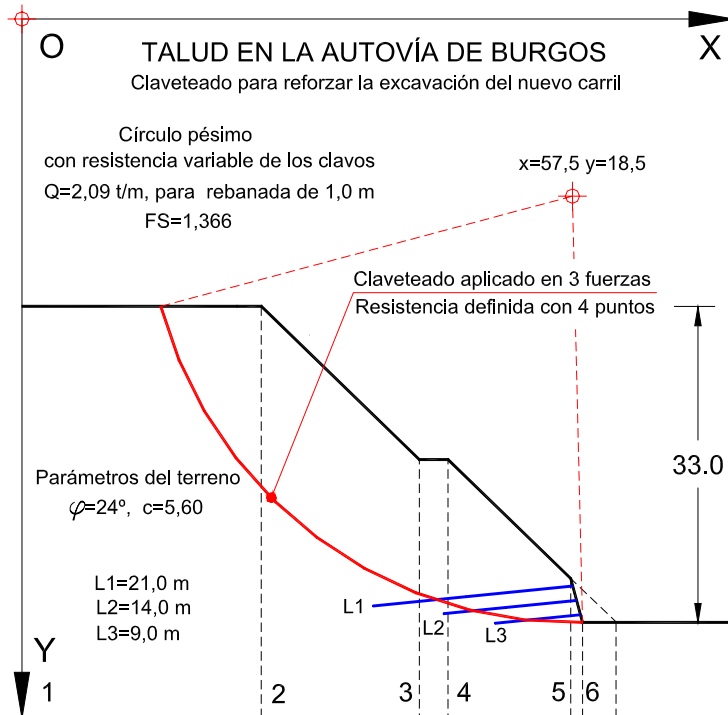
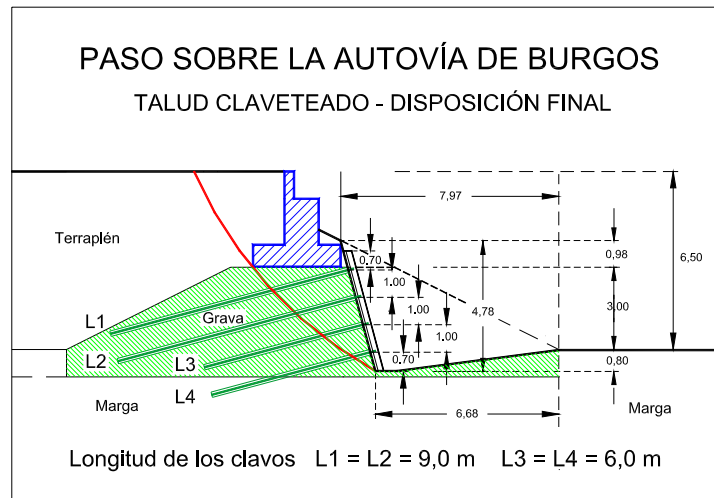


FIG.8. Multicriterio de resistencia de los clavos (Schlosser, 1982)



**FIG. 9. Proyecto de ensanche en la Autovía de Burgos. Claveteados para reforzar el estribo de una obra de fábrica y la base de un desmorte**