



Software de diseño de revestimiento superficial tipo soil nailing verde

Dr. Ing. Petrucio Santos Junior





Ing. Petrucio Santos Junior, D.Sc.

Maccaferri América Latina

Gerente Técnico de América Latina

Ingeniero civil, Mestre en Ingeniería Civil con énfasis en Geotécnica y Doctor en Ingeniería Civil en el área de Estructuras y Geotecnia. Profesor Asociado de Mecánica de Suelos en la Escuela de Ingeniería Padre Anchieta. Gerente del departamento técnico de Maccaferri América Latina, donde es responsable por el desarrollo técnico de sus productos y soluciones de ingeniería. Desde 2006 publica artículos en congresos y revistas técnicas nacionales e internacionales.





Malla MacMat® HS

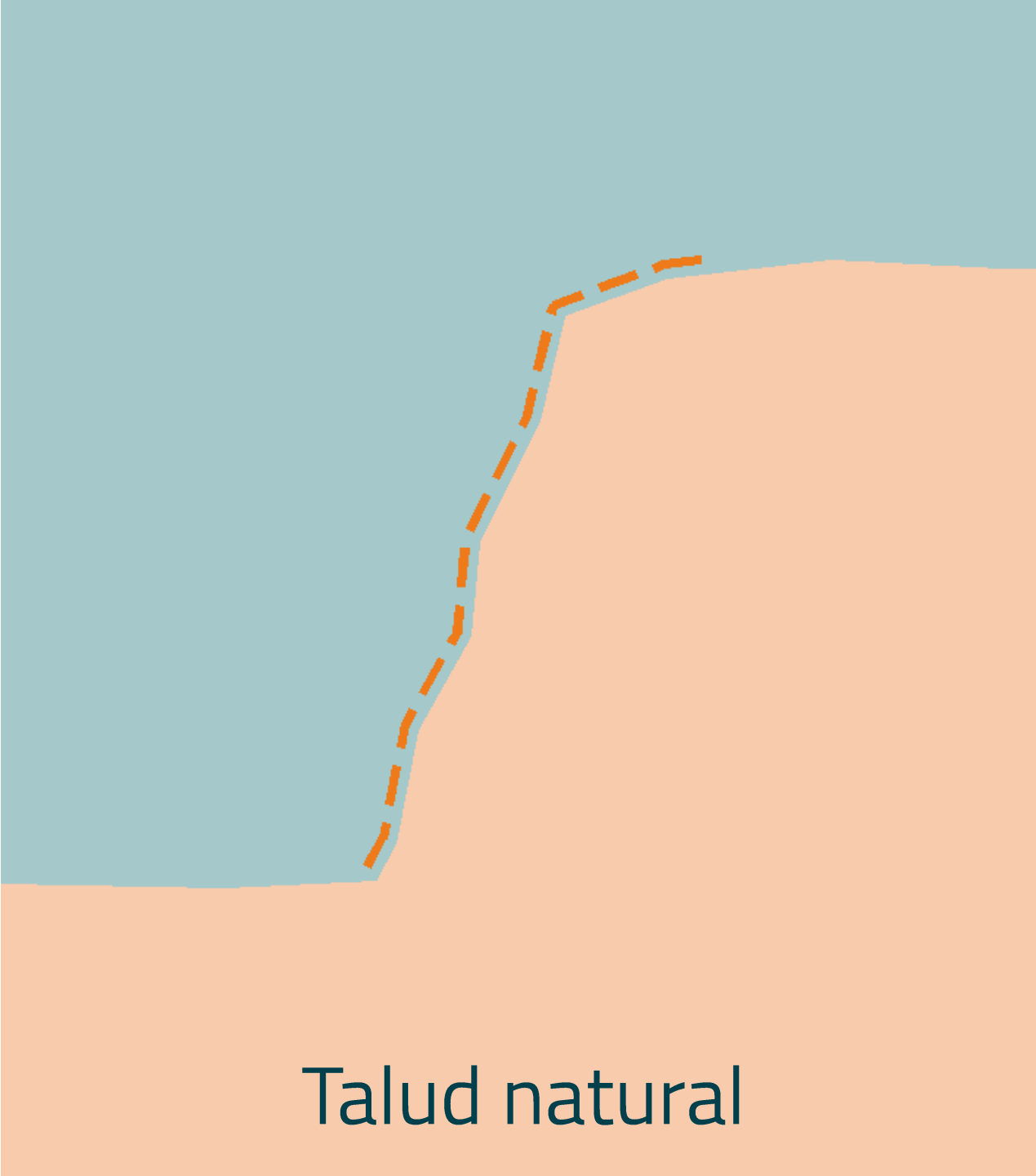




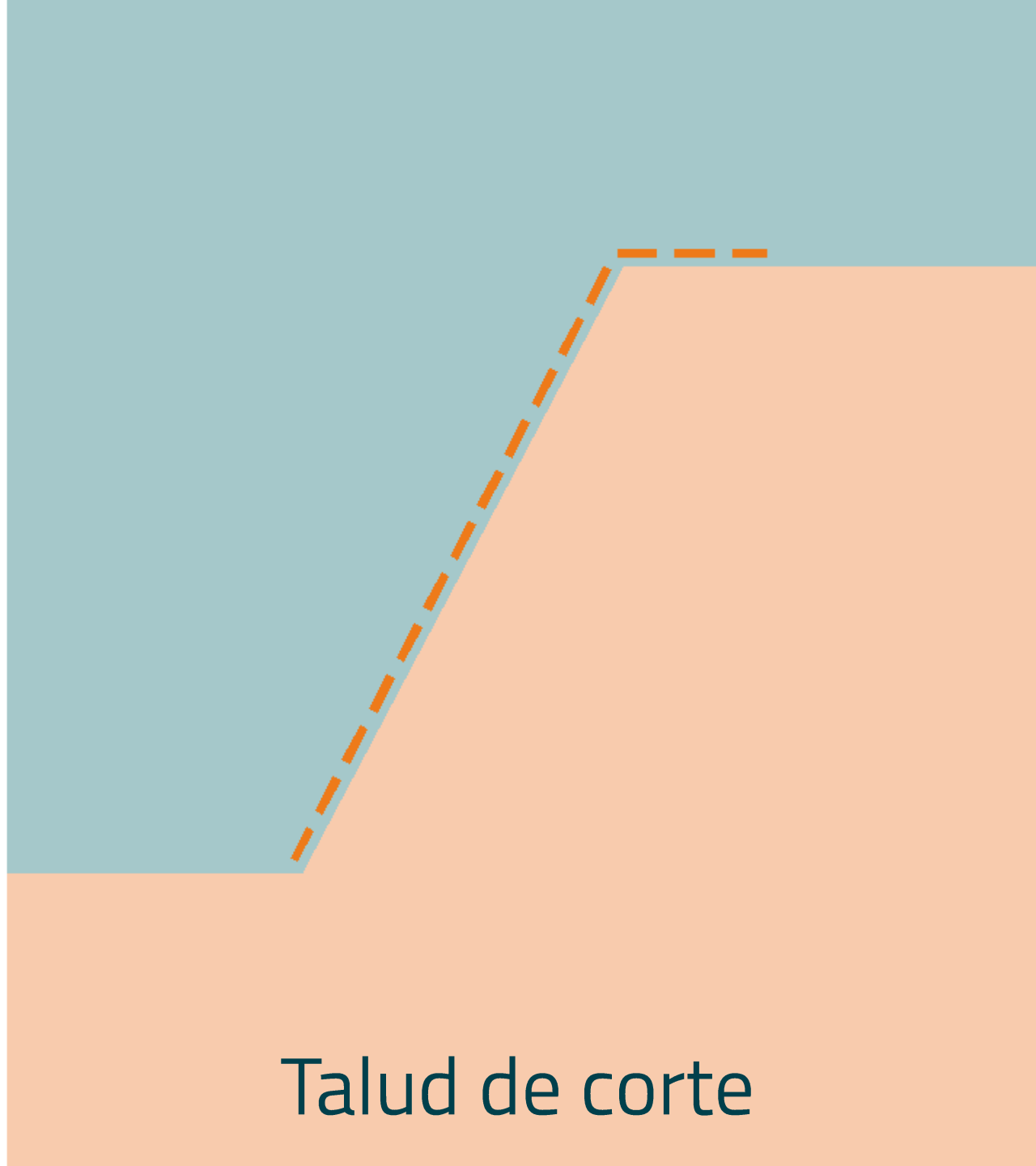
Talud natural



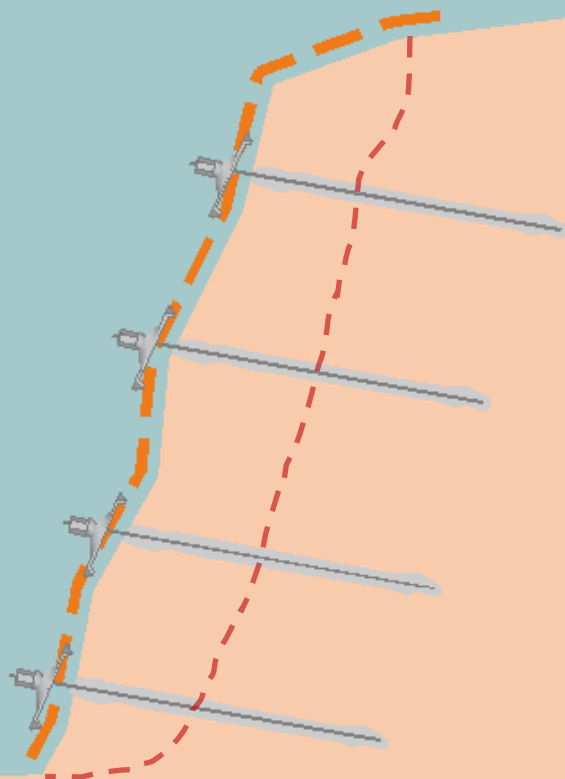
Talud de corte



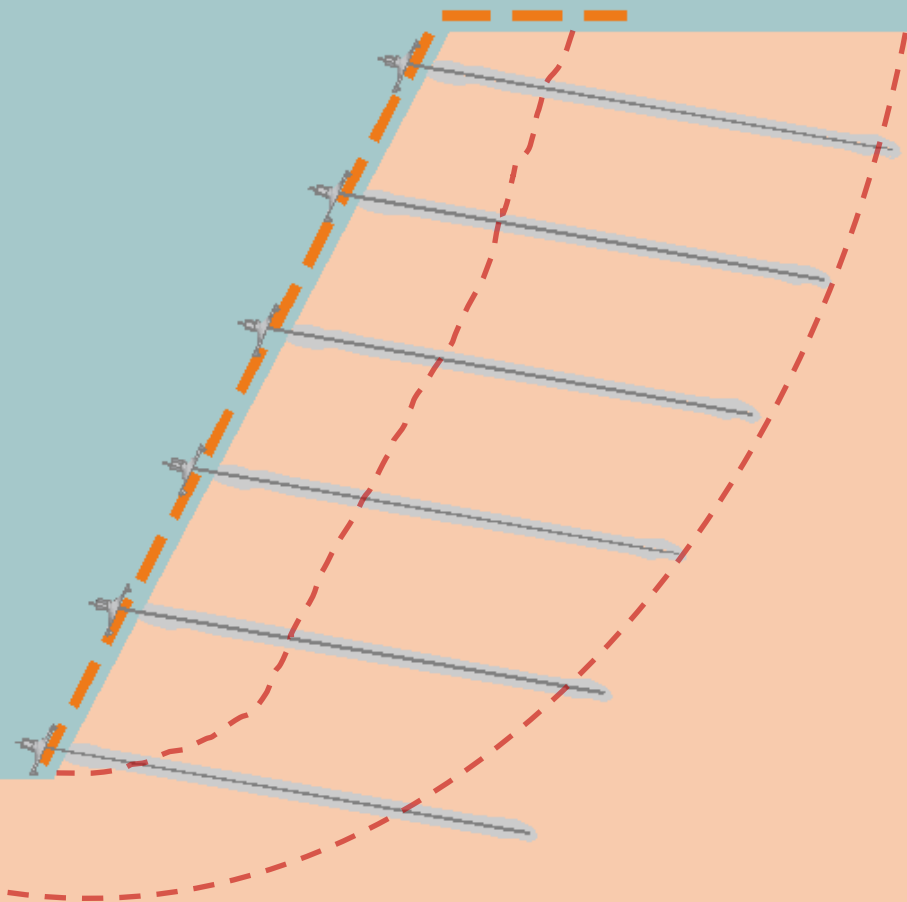
Talud natural



Talud de corte



Revestimiento superficial
(Análisis superficial)

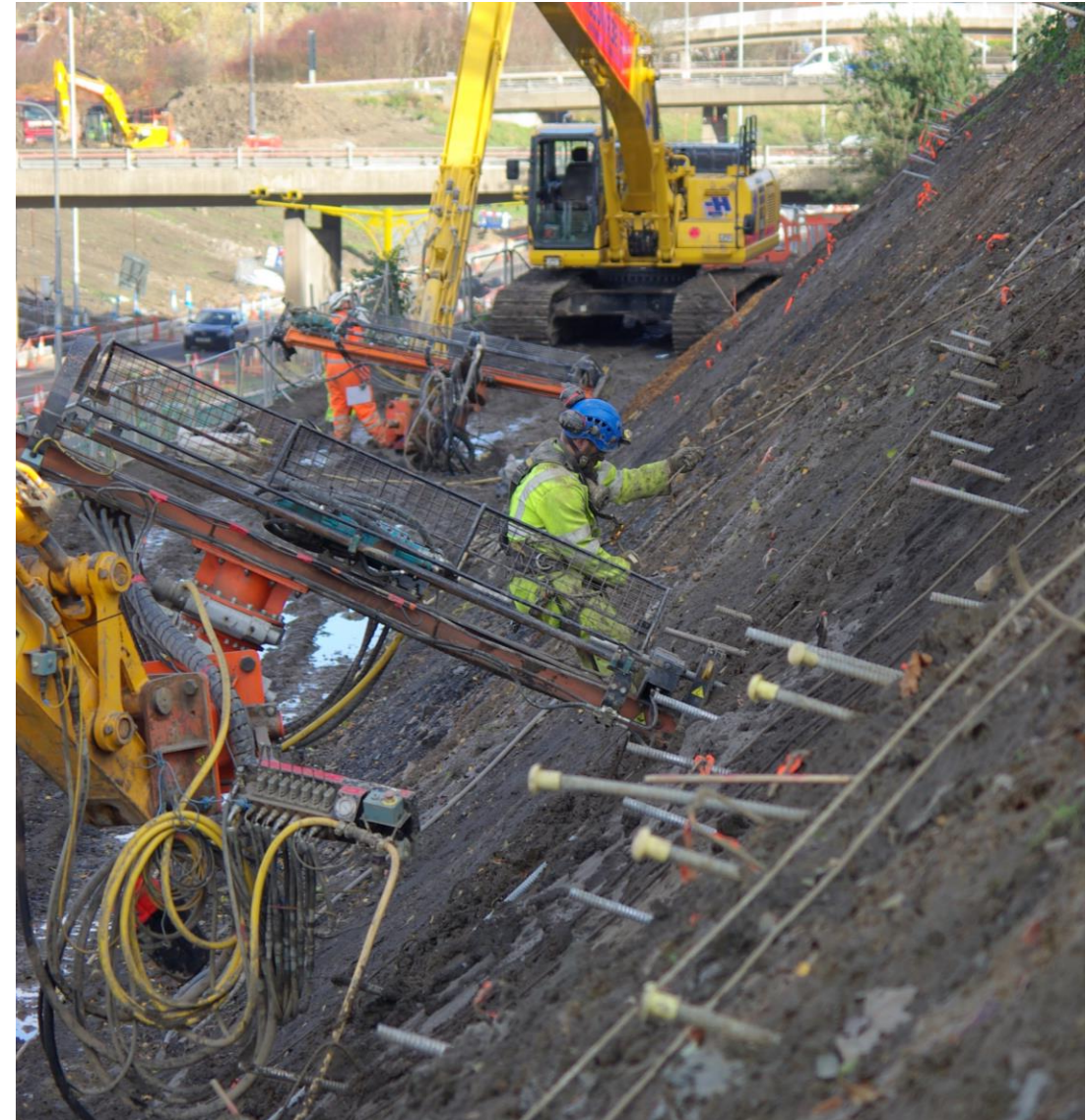


Soil nailing
(Análisis superficial + global)

M SEGURIDAD

M PERFORMANCE

M EFECTIVIDAD



ANTECEDENTES

DISEÑO DE APLICACIONES DE SOIL NAILING

SESIÓN DE PREGUNTAS Y RESPUESTAS



ANTECEDENTES

Qué es

El soil nailing es una técnica utilizada **para estabilizar pendientes con baja cohesión o comportamiento puramente friccional.**

Se recomienda para suelos sin presencia de agua subterránea, parcialmente saturados, con una matriz granular variable (desde grava arenosa hasta limo arcilloso) y con una rejilla de cementación baja a media, o para rocas alteradas. (Cola et al., 2011)

Soil Nailing



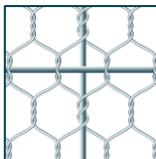
Pernos

aumentar la estabilidad del talud



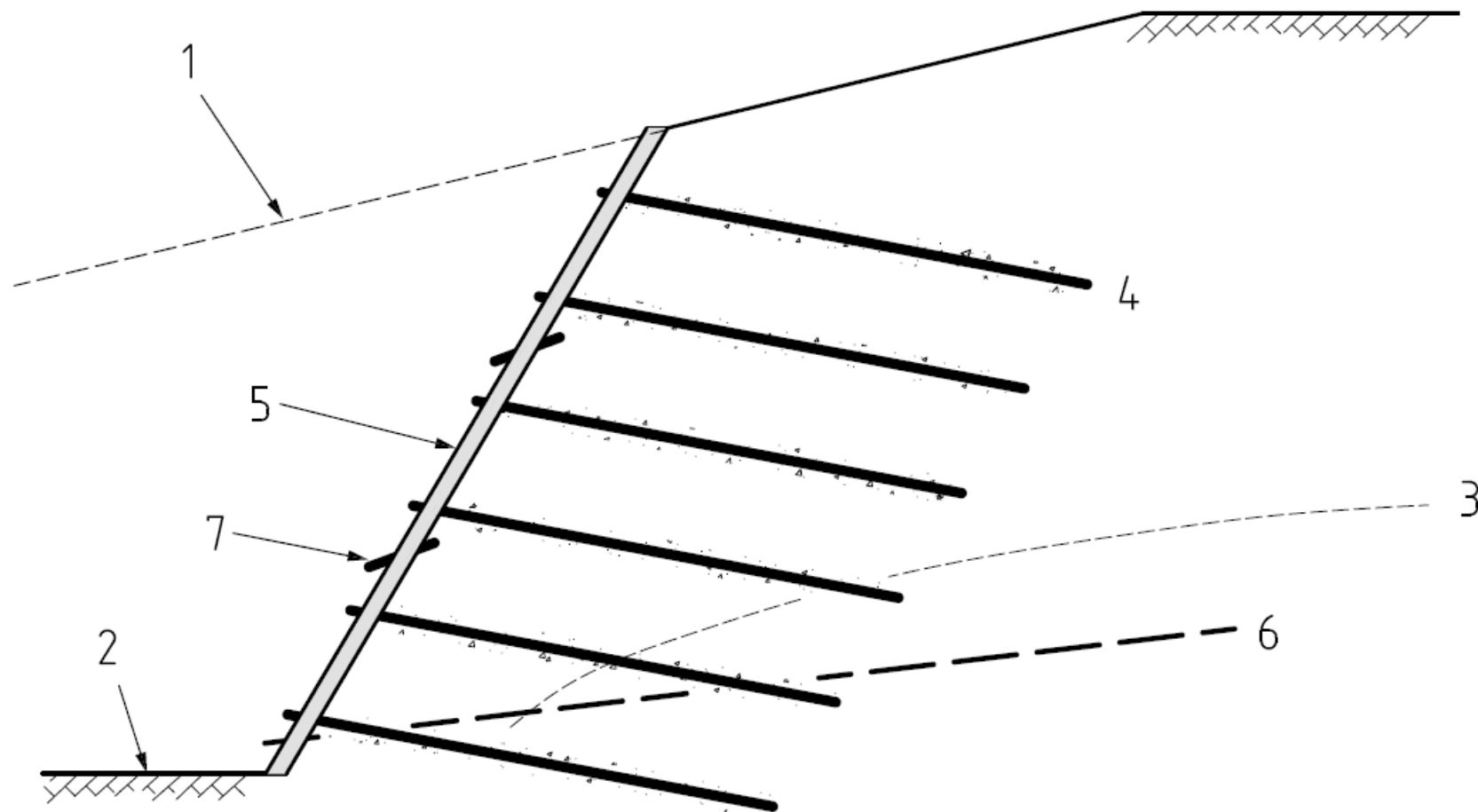
Paramento

contiene el movimiento del suelo entre los pernos



Elementos observados em projetos

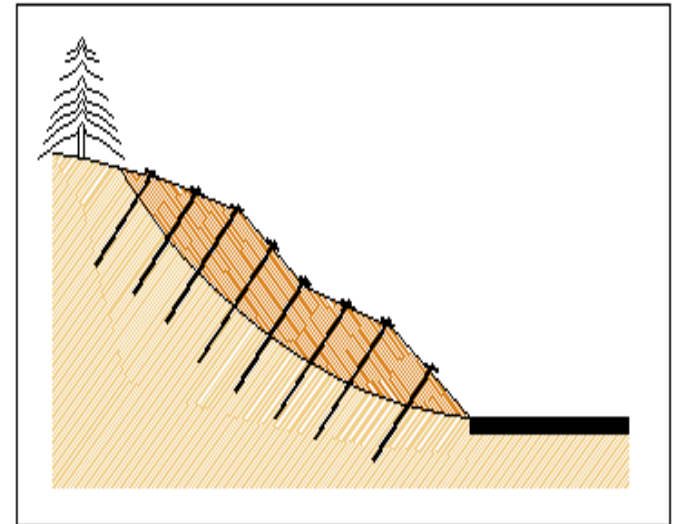
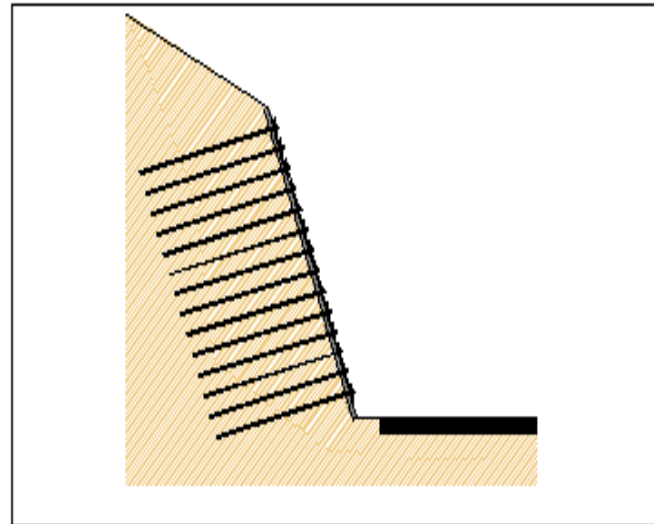
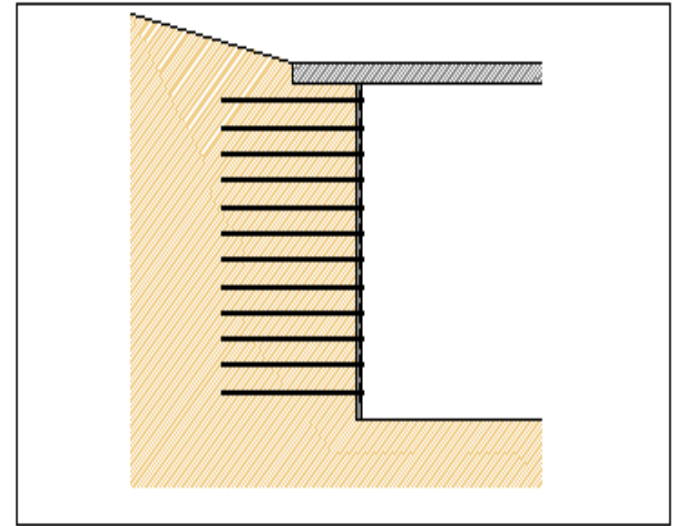
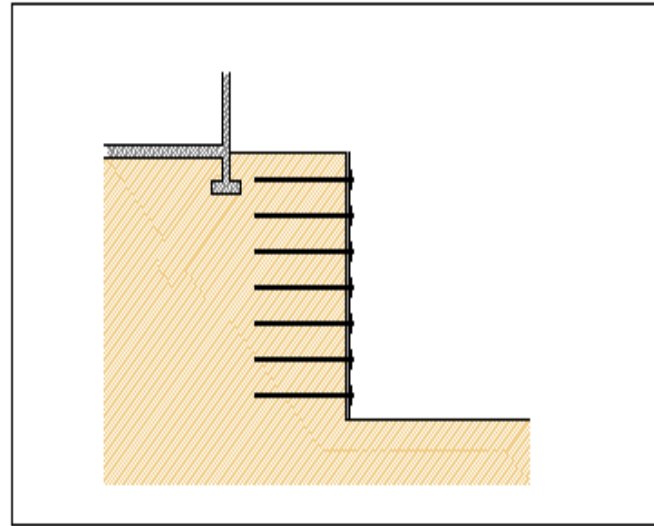
- 1 – superficie del terreno natural
- 2 – nueva base de terreno
- 3 – napa freática
- 4 – perno
- 5 – revestimiento
- 6 – drenaje profundo
- 7 – drenaje de revestimiento



ANTECEDENTES

Dónde se utiliza y por qué

- M** Fácil y rápido de instalar
- M** Requiere excavaciones limitadas
- M** Ecológico
- M** Se puede aplicar en nuevas excavaciones o en taludes existentes



BS 8006-2:2011

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
16920-2



U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Publication No. FHWA-NHI-14-007
FHWA GEC 007
February 2015



BRITISH STANDARD
8006-2:2011+A1:2017

Se ocupa de aplicaciones de **soil nailing** realizadas con **revestimiento suave, flexible y rígido**.



- Solo se ocupa de soluciones de **soil nailing de soporte a largo plazo**
- Incluye un paramento de **shotcrete o placas de hormigón**.

**SOLO PARA
PARAMENTOS
RIGIDOS**



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 16920-2:2021
28 páginas

© ABNT 2021

FHWA-NHI-14-007

Referencias importantes

Los pernos según la British Standard



LOS PERNOS

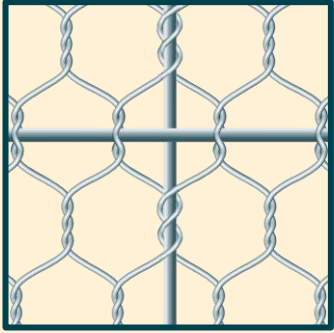
bsi.

BS EN 14490:2010

“Soil nail: elemento de refuerzo instalado en el suelo, generalmente en un ángulo sub-horizontal, que moviliza la resistencia con el suelo a lo largo de su longitud..”



Paramento según la British Standard



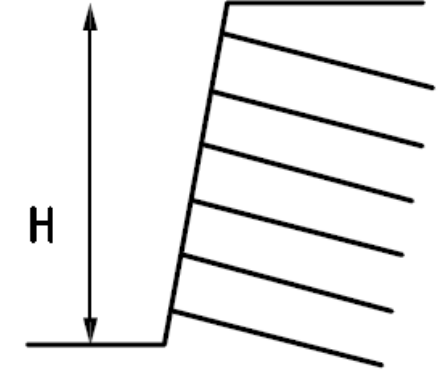
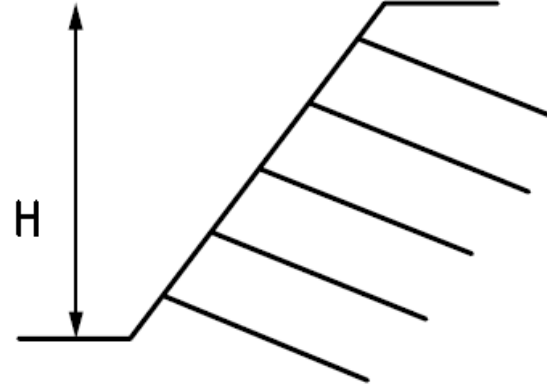
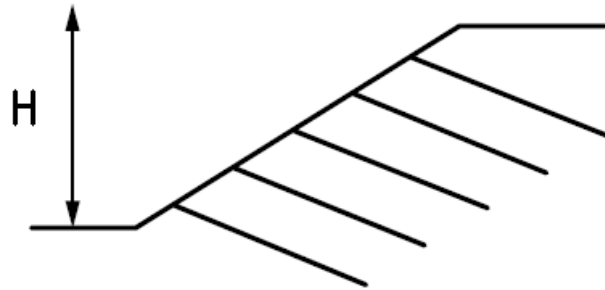
EL PARAMENTO

bsi.

BS EN 14490:2010

“Paramento: cubriendo de la cara expuesta del suelo reforzado que puede proporcionar una función estabilizadora para retener el suelo entre los pernos, proporcionar protección contra la erosión y tener una función estética.”





ángulo del talud
(con respecto a la horizontal)

hasta 45 grados

45 a 60 grados

60 a 90 grados

Largo del perno
(L/H)

0,5 a 2,0

0,5 a 1,5

0,5 a 1,2

Esp. pernos

- vertical

1,5m a 3,0m

1,0m a 2,0m

0,75m a 1,5m

- horizontal

1,5m a 3,0m

1,0m a 2,0m

0,5m a 2,0m

Paramento

Generalmente no estructural, para el control de la erosión, pero con placas agrandadas en la cabeza de los pernos

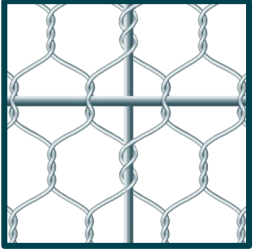
Cara típicamente flexible, que juega un papel estructural en el mantenimiento de la estabilidad

Típicamente cara rígida, que juegan un papel estructural en el mantenimiento de la estabilidad y permiten que se movilicen altas fuerzas en la conexión de la cara.

ANTECEDENTES

MACCAFERRI

Paramento según la British Standard



bsi.

BS 8006-2:2011

La BS 8006-2:2011 identifica tres opciones de revestimiento diferentes: revestimientos rígidos, flexibles y blandos

RIGIDO



FLEXIBLE



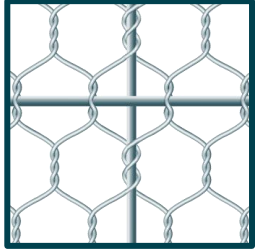
BLANDO



ANTECEDENTES

MACCAFERRI

Paramento según la British Standard



bsi.
BS 8006-2:2011

La BS 8006-2:2011 identifica tres opciones de revestimiento diferentes: revestimientos rígidos, flexibles y blandos

RIGIDO



FLEXIBLE



INCLUDED IN
Mac S-Design

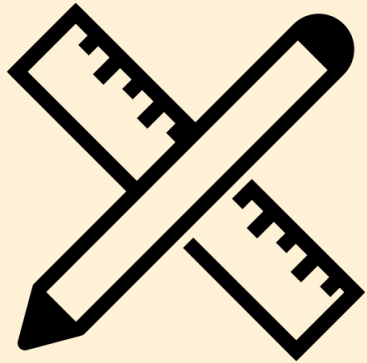
BLANDO



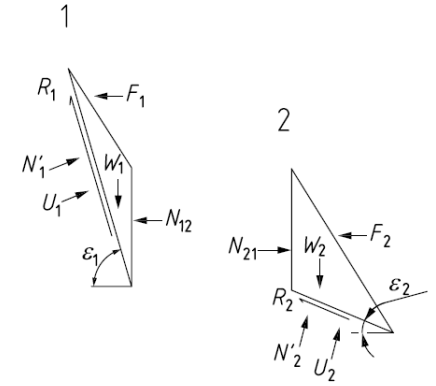
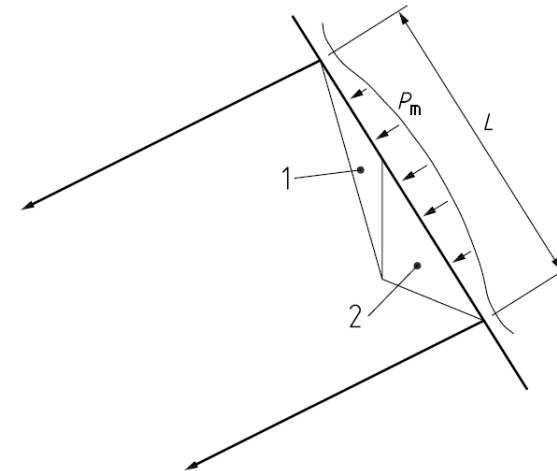
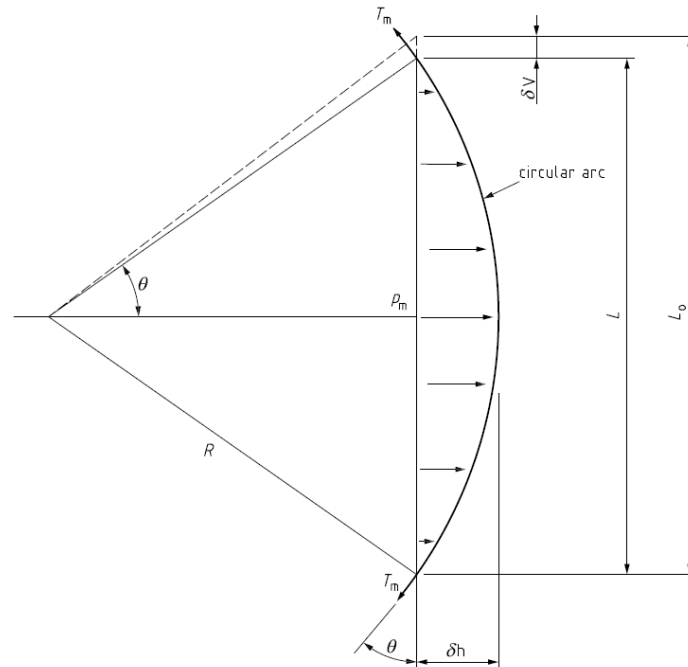
ANTECEDENTES

Diseño según la British Standard

MACCAFERRI



DISEÑO DE
REVESTIMIENTO
FLEXIBLE

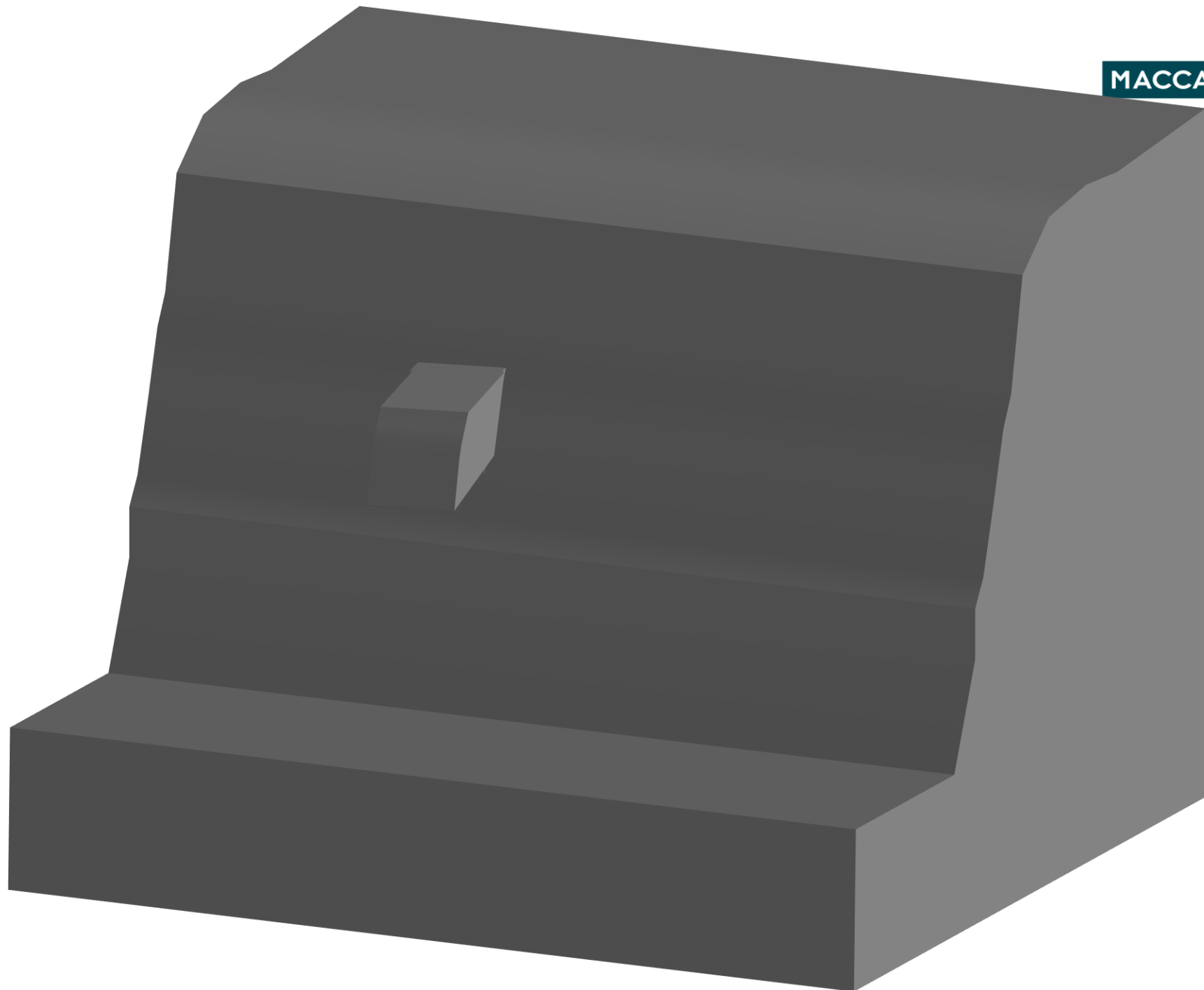


$$(F_1 + F_2)_d = \frac{W_1(\tan \varepsilon_1 - \tan \varphi_d) + \frac{U_1 \tan \varphi_d}{\cos \varepsilon_1}}{(1 + \tan \varepsilon_1 \tan \varphi_d)} + \frac{W_2(\tan \varepsilon_2 - \tan \varphi_d) + \frac{U_2 \tan \varphi_d}{\cos \varepsilon_2}}{(1 + \tan \varepsilon_2 \tan \varphi_d)}$$

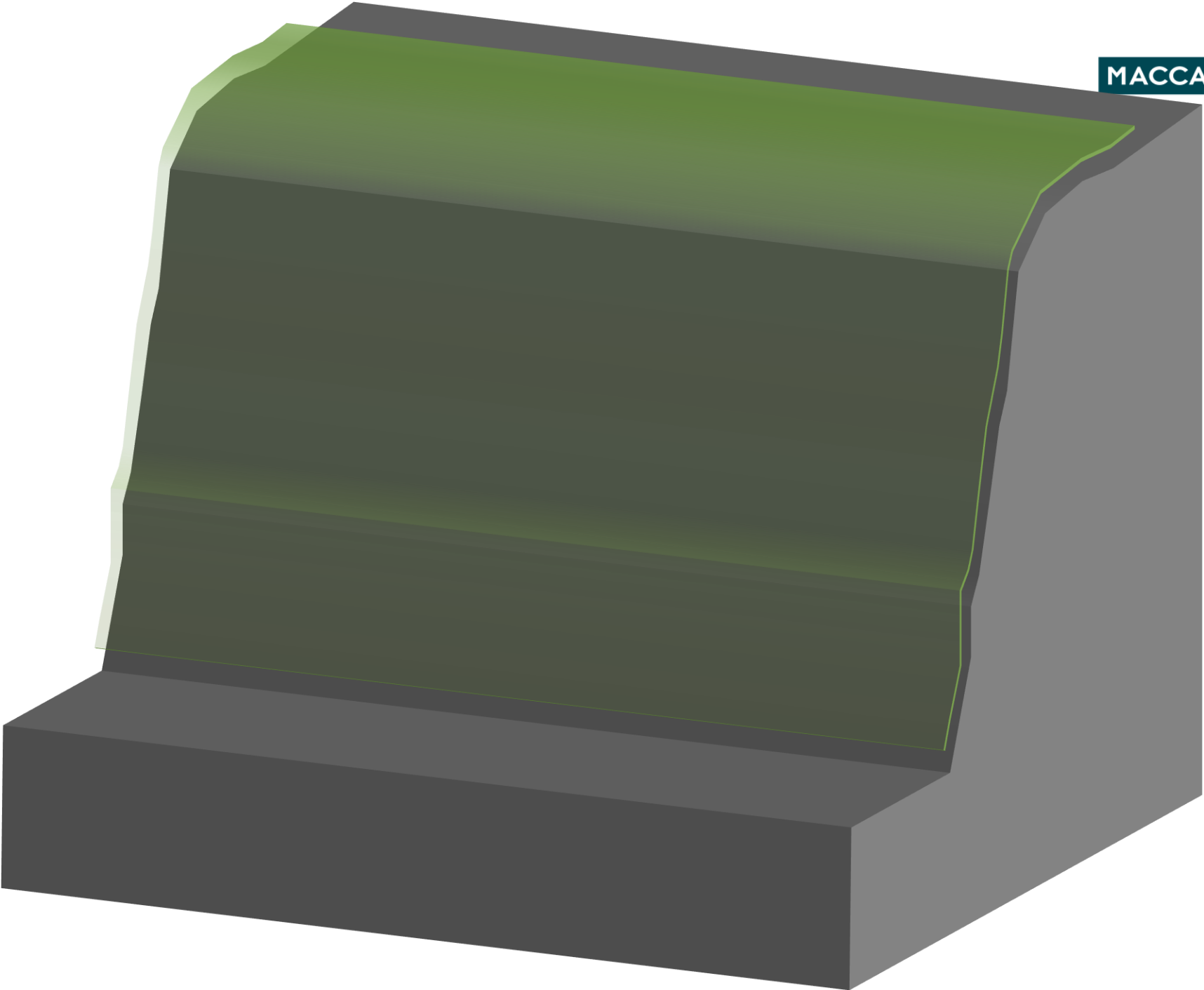
EL REVESTIMIENTO DE LA
FACHADA FUNCIONA COMO UN
ELEMENTO DE MEMBRANA

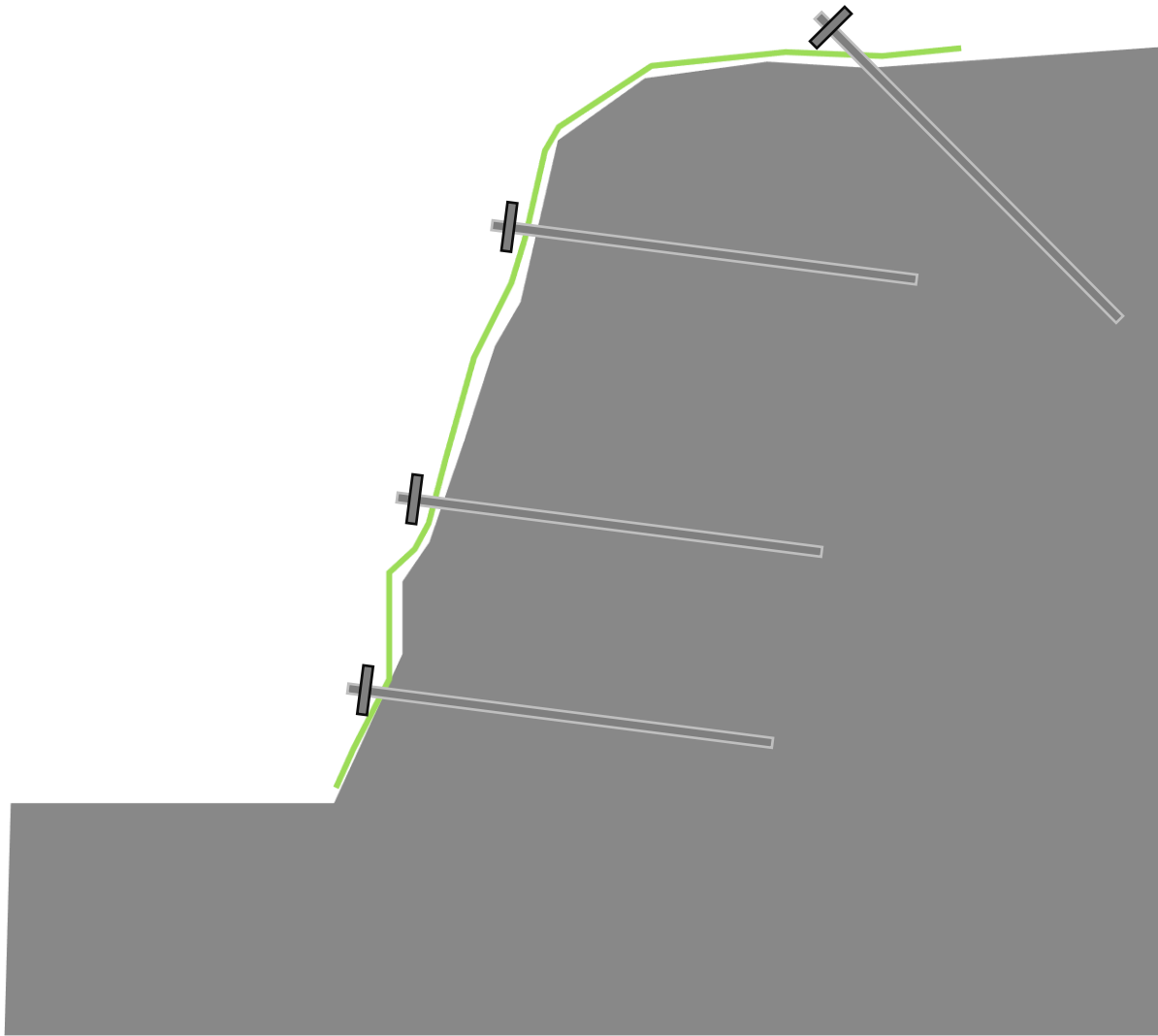


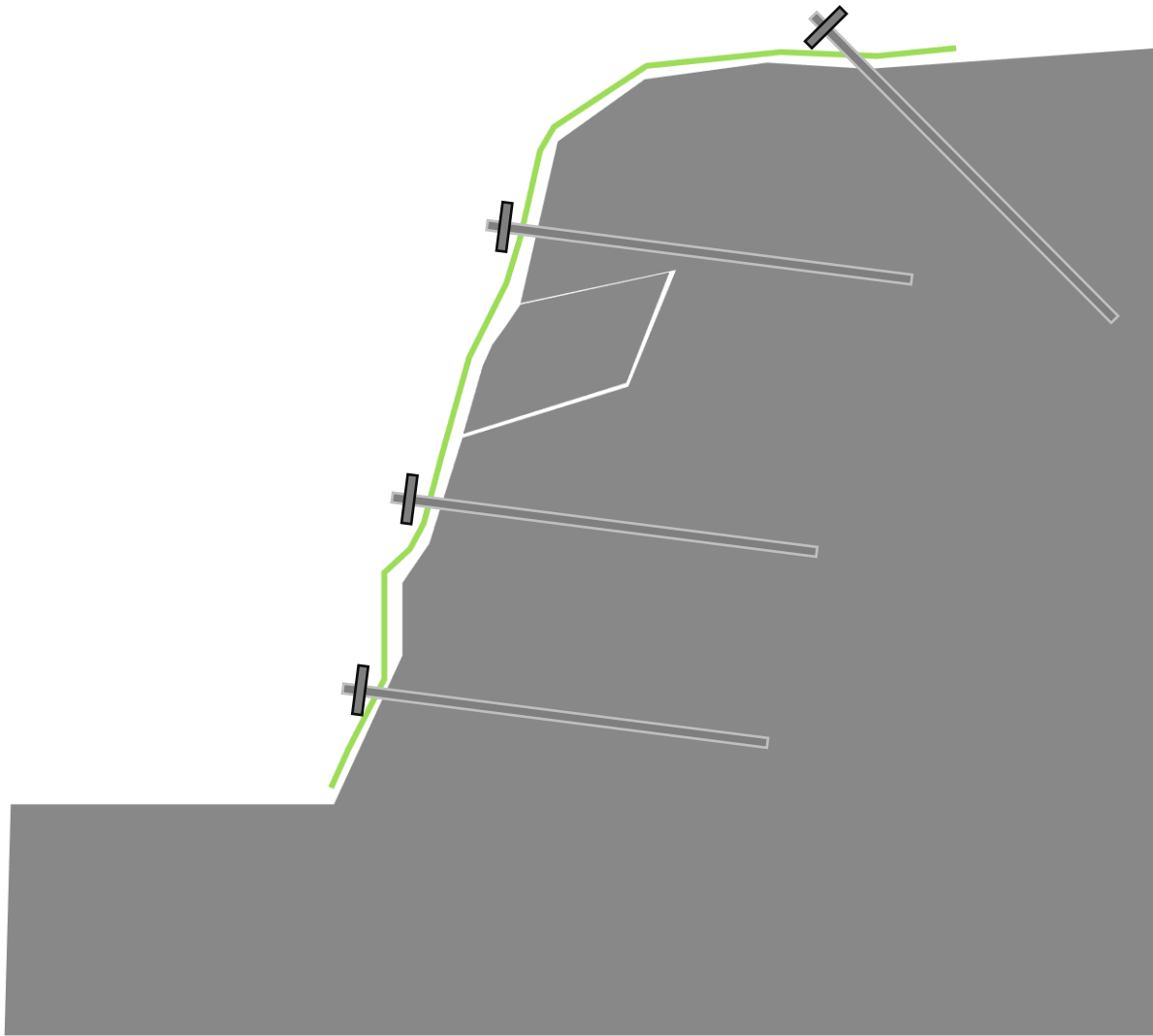
MACCAFERRI

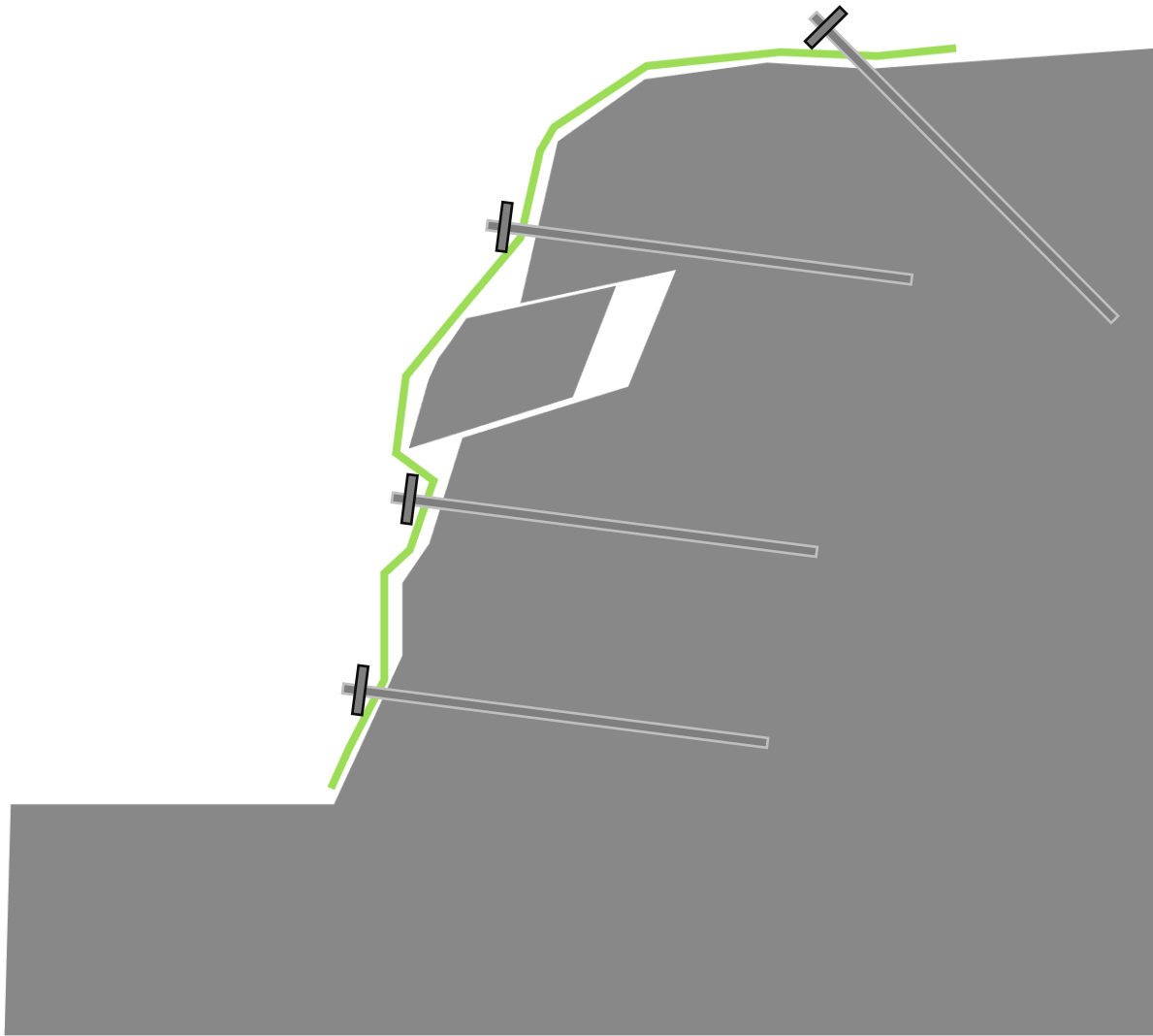


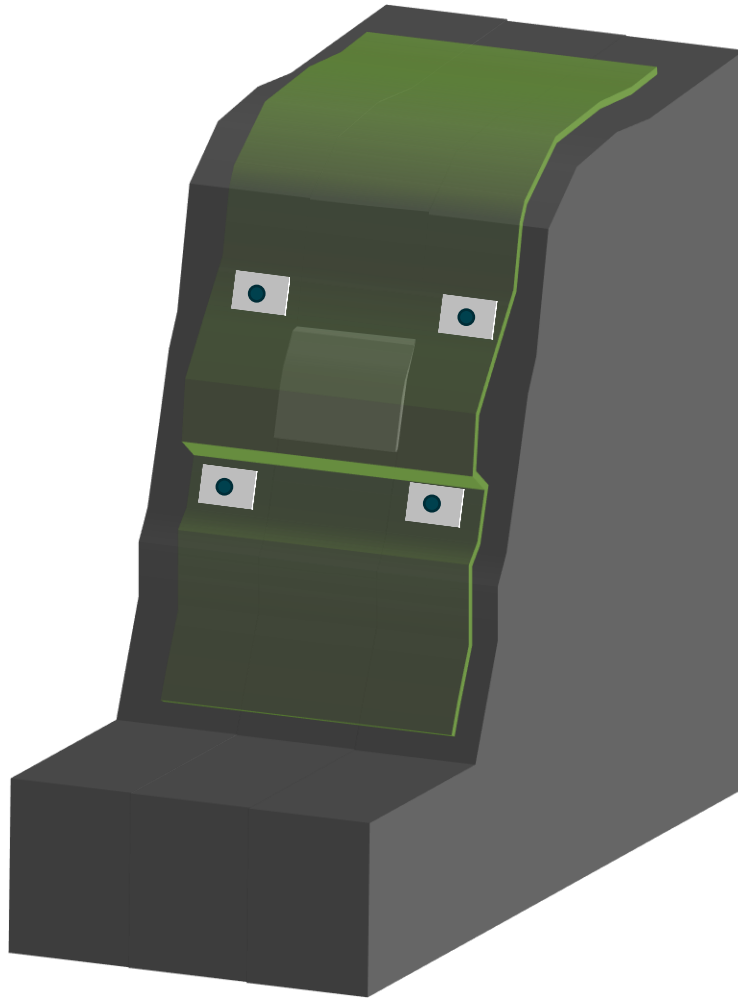
MACCAFERRI











**EL COMPORTAMIENTO DE
MEMBRANA ES LO QUE NOS
PERMITE ESTABILIZAR LA MASA
DE SUELO ENTRE LOS PERNOS
Y TAMBIÉN DETERMINAR, EN
FUNCIÓN DE SU
DESPLAZAMIENTO, CUÁL DEBE
SER EL ESPACIO ENTRE
PERNOS**



HEA Panel®



MacMat® R1



MacMat® HS



MacMat® R1

Geomantas
MacMat®



MacMat® R3

ANTECEDENTES

DISEÑO DE APLICACIONES DE SOIL NAILING

SESIÓN DE PREGUNTAS Y RESPUESTAS

ANTECEDENTES

DISEÑO DE APLICACIONES DE SOIL NAILING

SESIÓN DE PREGUNTAS Y RESPUESTAS

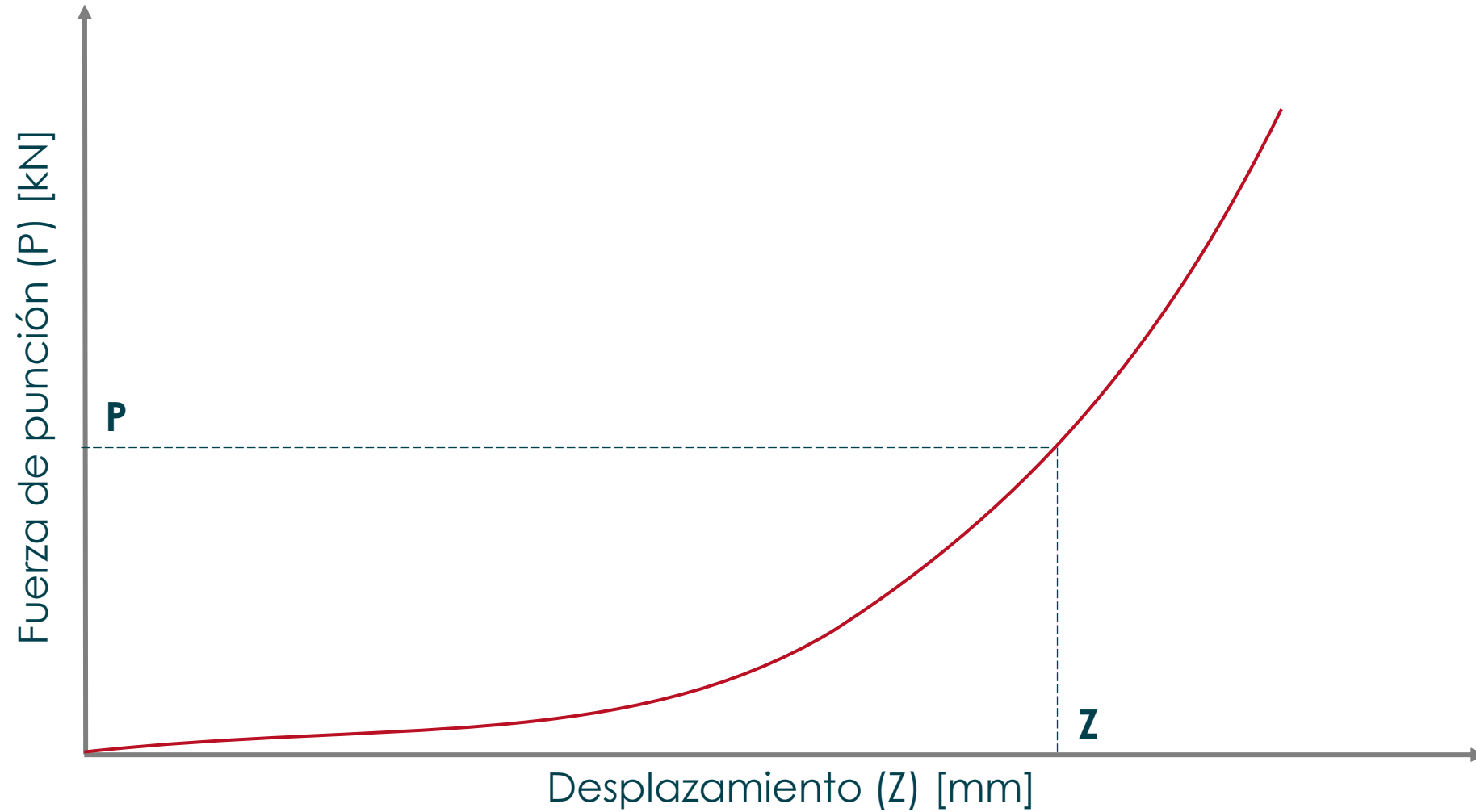
ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE LA MALLA METÁLICA

Prueba de punción

Según UNI 11437

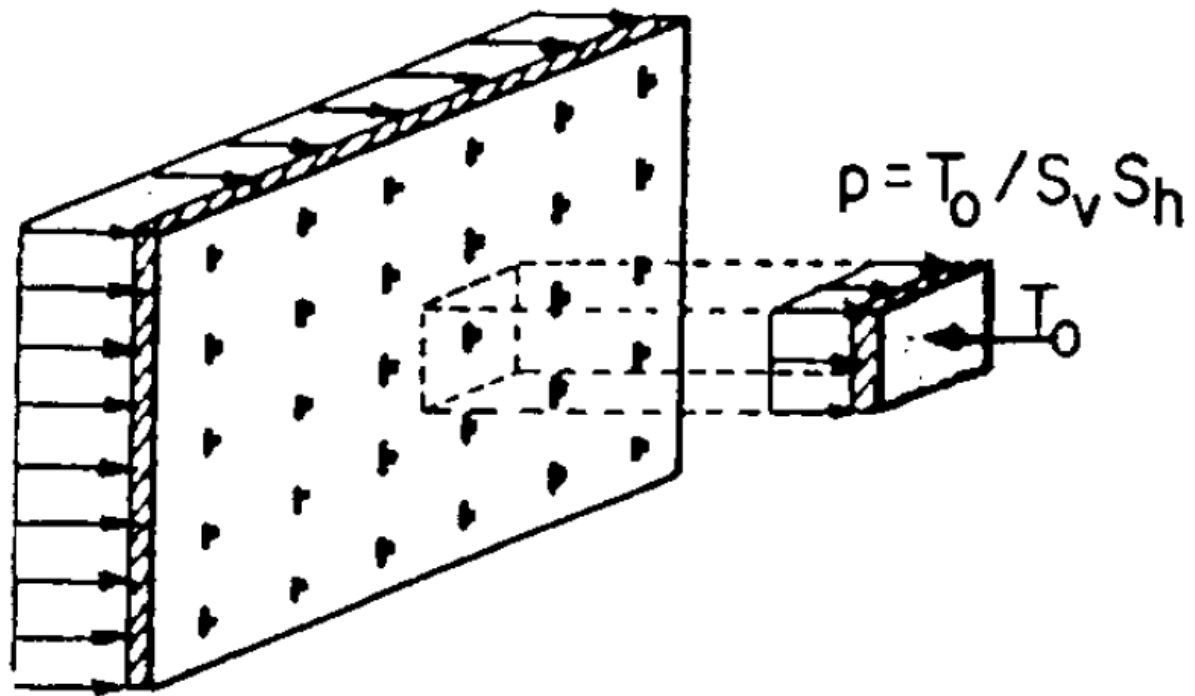


Curva característica

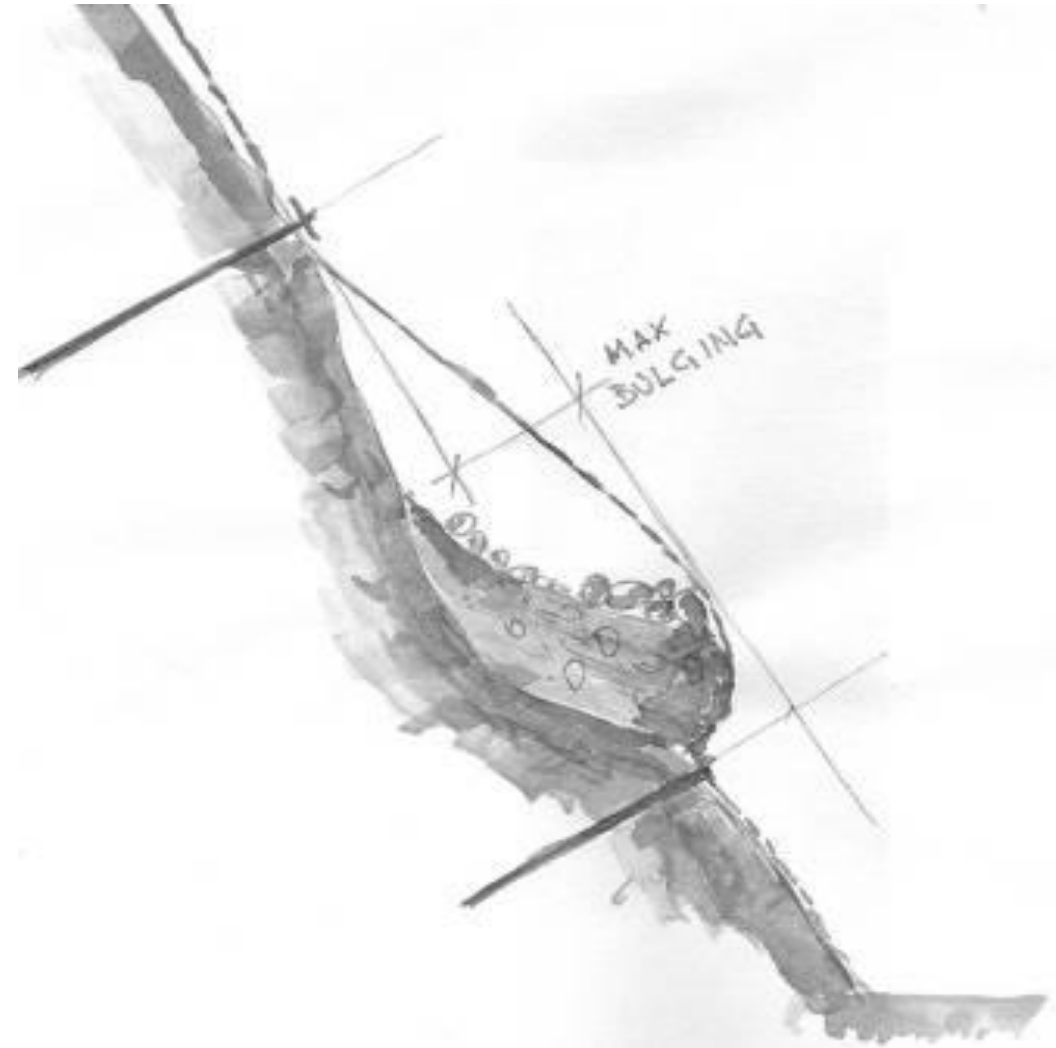


Prueba de punción en condiciones de campo



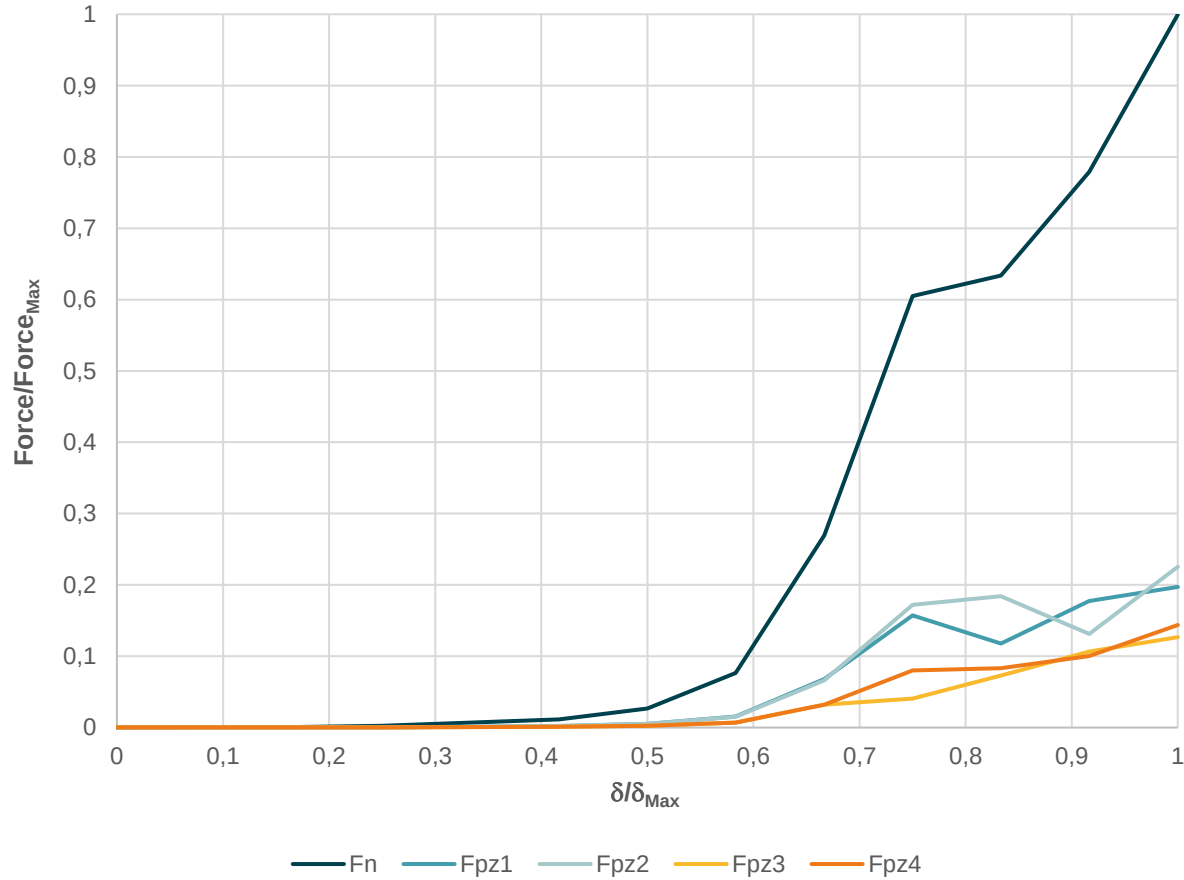


Ref: Clouterre, 1991

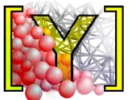


Paramento Flexbile

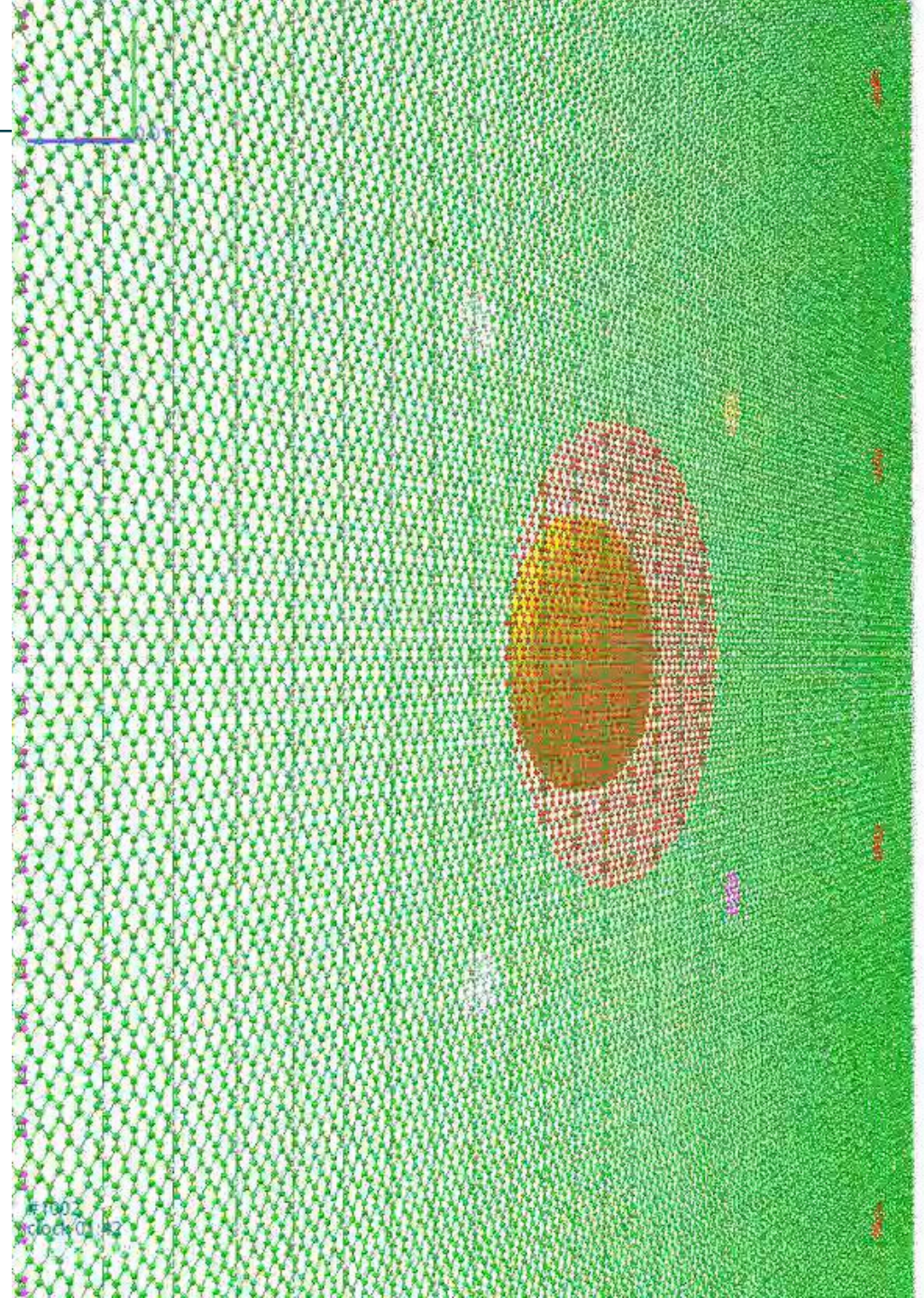
Punching force admisible



Ref.: Petrucio Santos Junior (2021)

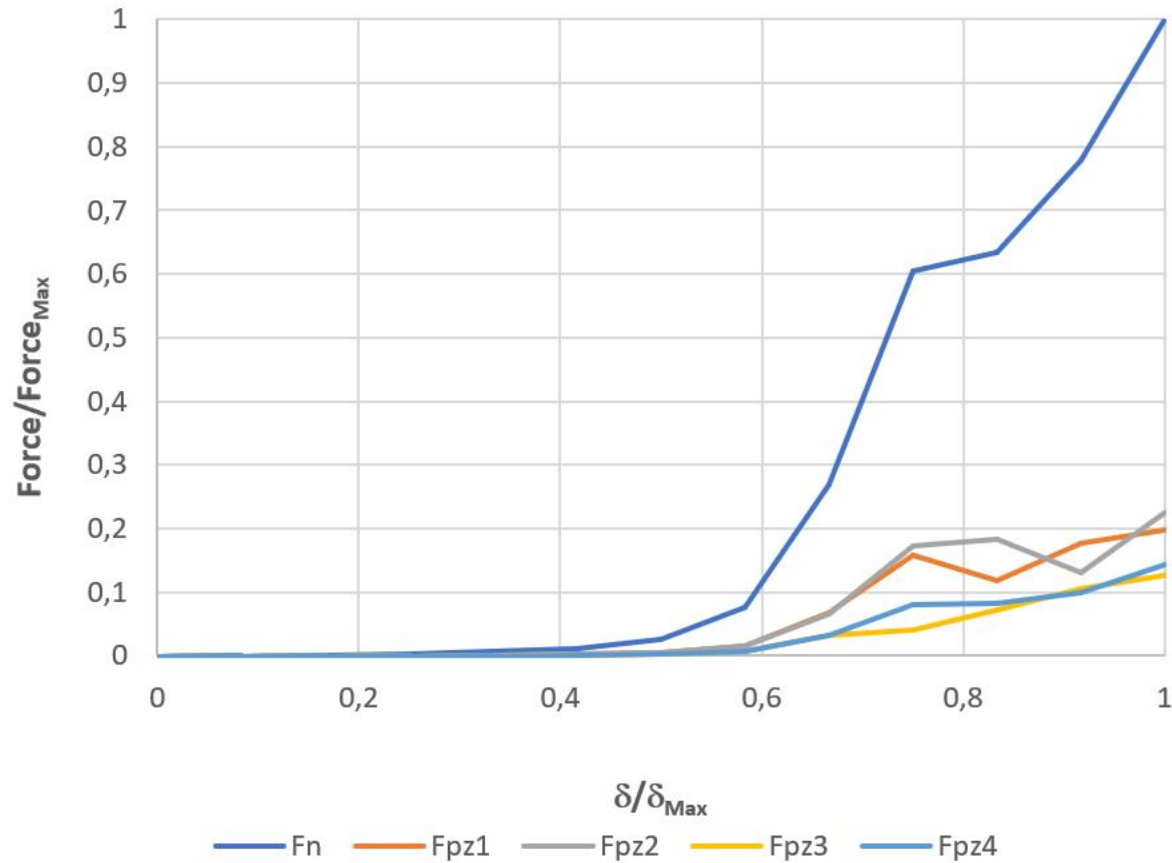


YADE- DEM (Discrete Element Method)



Paramento Flexible

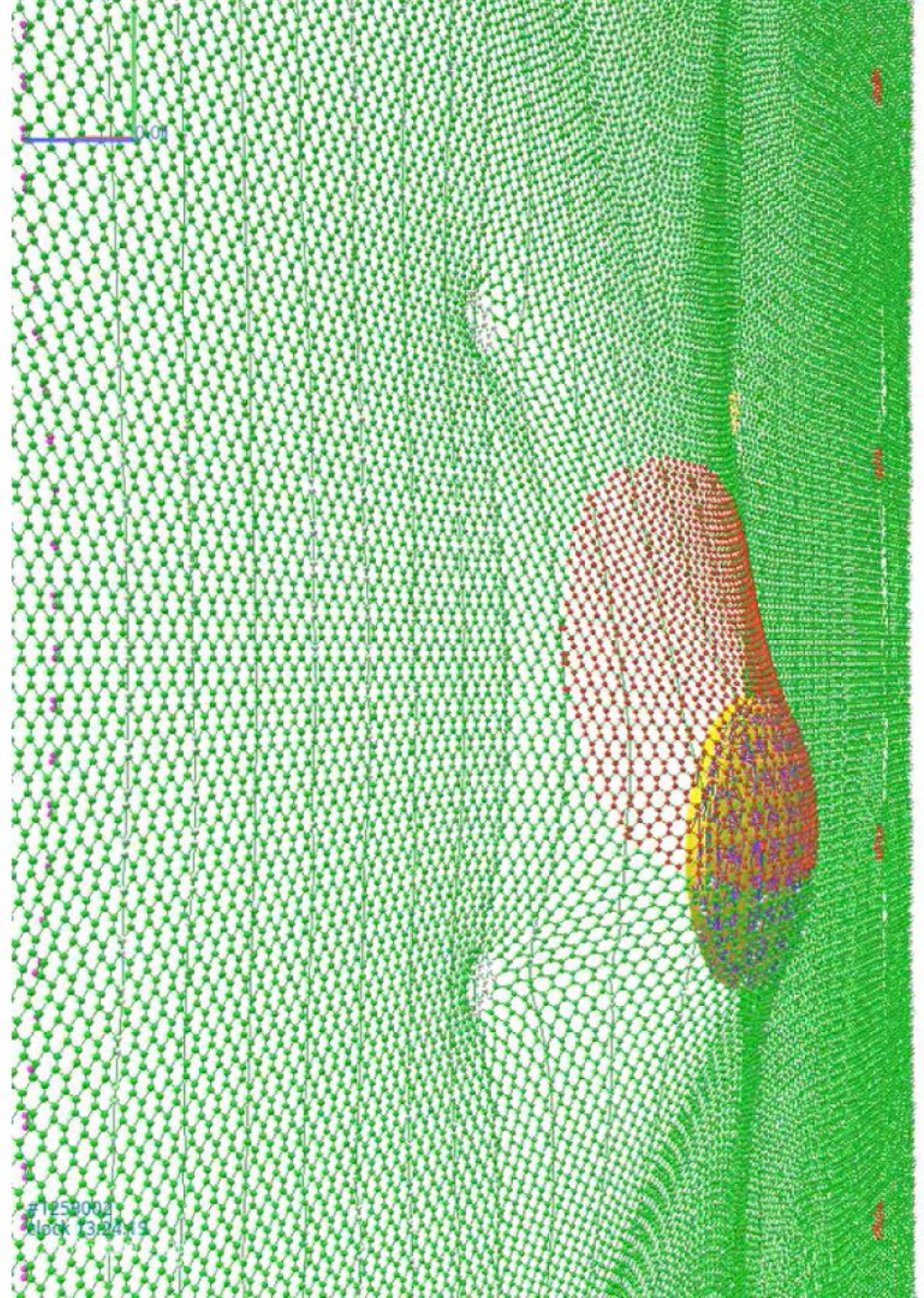
Punching force admisible



Ref.: Petrucio Santos Junior (2021)



YADE- DEM (Discrete Element Method)



Supongamos un cable con un contenido de carbono muy alto...



Va a ser muy difícil torcerlo.

¿Qué pasaría si ese mismo cable estuviera compuesto por un cadena de pequeños elementos conectados por un tipo de rótula?



¿Qué pasaría si ese mismo cable estuviera compuesto por un cadena de pequeños elementos conectados por un tipo de rótula?



Por su peso ya habría alguna deformación, por el hecho de que no hay resistencia a la torsión, pero alta resistencia a la tracción...
... Claro... dependiendo de las conexiones.



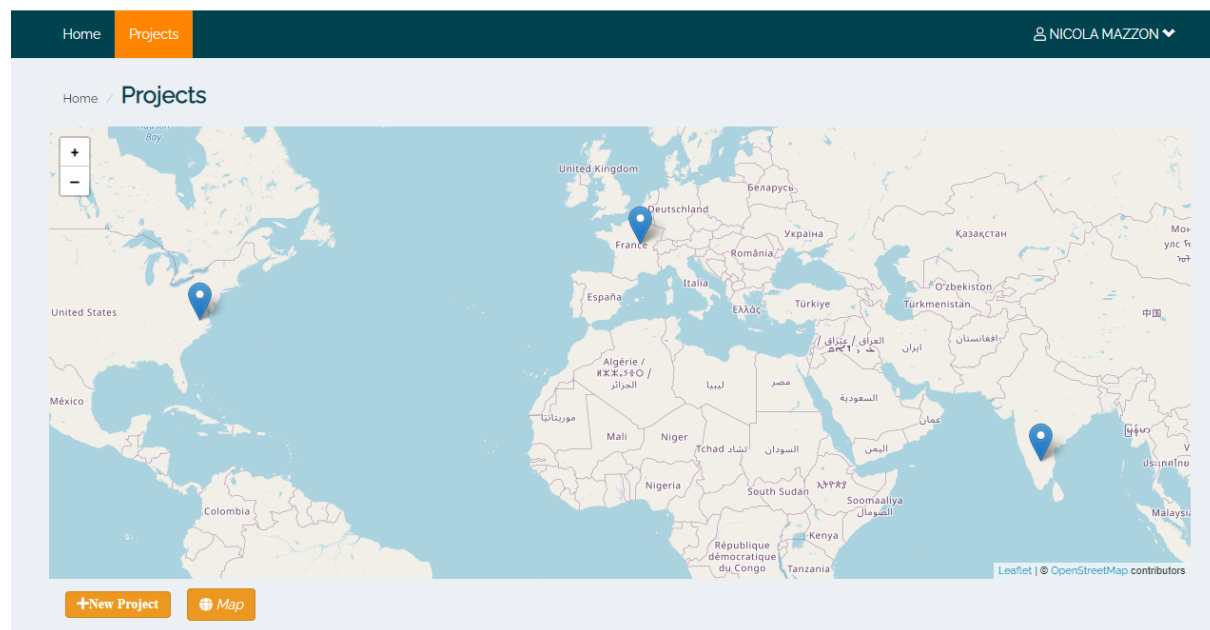


disponible en edesign.maccaferri.com

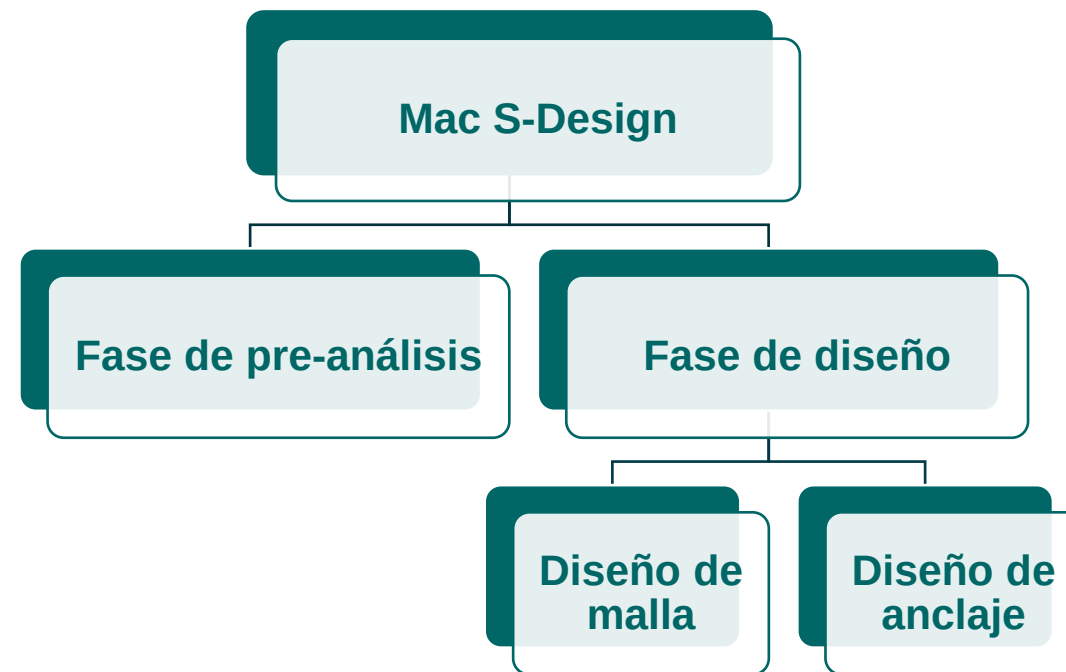
Mac S-Design
es una herramienta basada en la web
accesible a través de
edesign.maccaferri.com

**MACCAFERRI**

Mac S-design

[Back to the Hub](#)

Mac S-Design ha sido desarrollado
con un enfoque modular:





Mac **S**-Design se basa en un enfoque híbrido:

- la **acción estabilizadora** proporcionada por la intervención estructural pasiva se expresa en **función del desplazamiento relativo suelo-estructura**;
- el **equilibrio** de la **masa de suelo** todavía se analiza por medio del habitual equilibrio límite.

¿Cuáles son las principales características del "Enfoque Híbrido"?

- M** Se basa en un **enfoque MEL** (Método de equilibrio límite)
- M** Se puede asumir como una **combinación de ULS y SLS**:
 - i. ULS expresa los parámetros de resistencia del suelo (como se describe, por ejemplo, en los Eurocódigos), mientras que
 - ii. SLS expresa la condición de desplazamientos;
- M** Es consistente con el concepto de **"Mitigación y Prevención de Estructuras"**
- M** El diseño tanto de malla como de anclajes se basa en el sistema de **interacción suelo-malla** mediante el uso de una **curva característica**
- M** Las hipótesis anteriores se pueden resumir en la siguiente ecuación general:

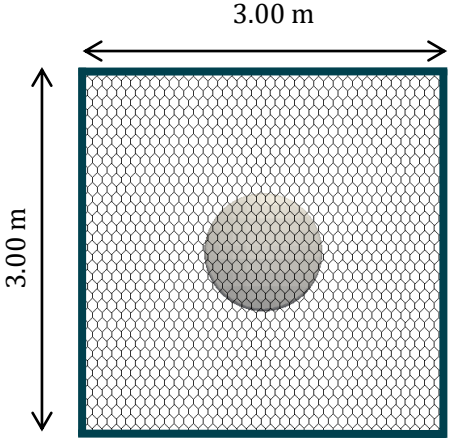
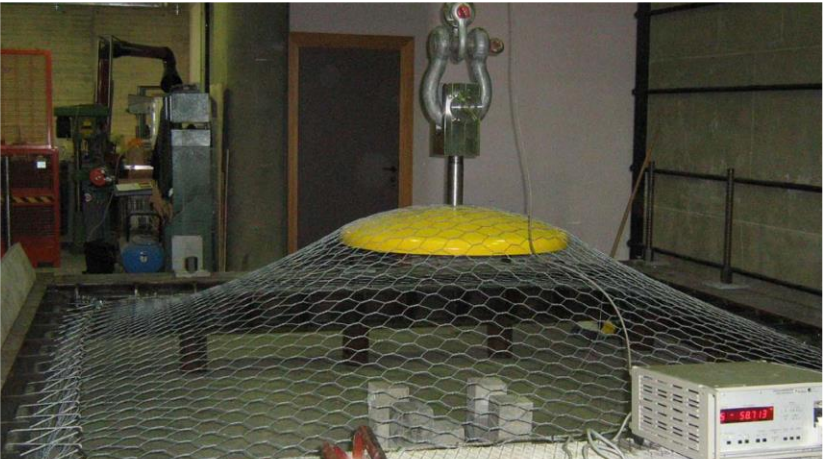
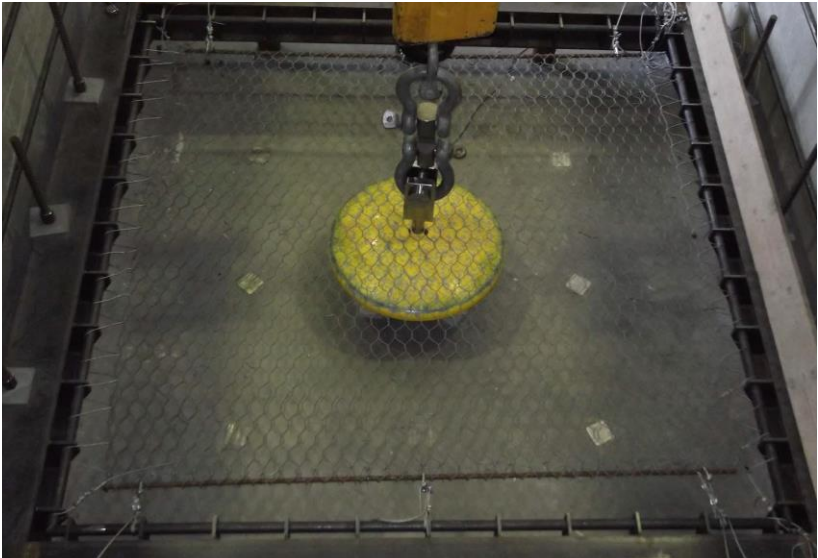
$$E_k^F = \frac{R_k^F}{F_S} + A_k^F(U) *$$

* Donde el término E representa las fuerzas actuantes (por ejemplo, el peso W), R es la resistencia del suelo y A es la acción estabilizadora resultante proporcionada por la malla en función de la interacción suelo-malla

¿QUIERES SABER MÁS SOBRE NUESTRO SOFTWARE DE DISEÑO? ENVÍE UN MENSAJE DE TEXTO CON LA PALABRA **"TRAINING"** EN EL CUADRO DE CHAT



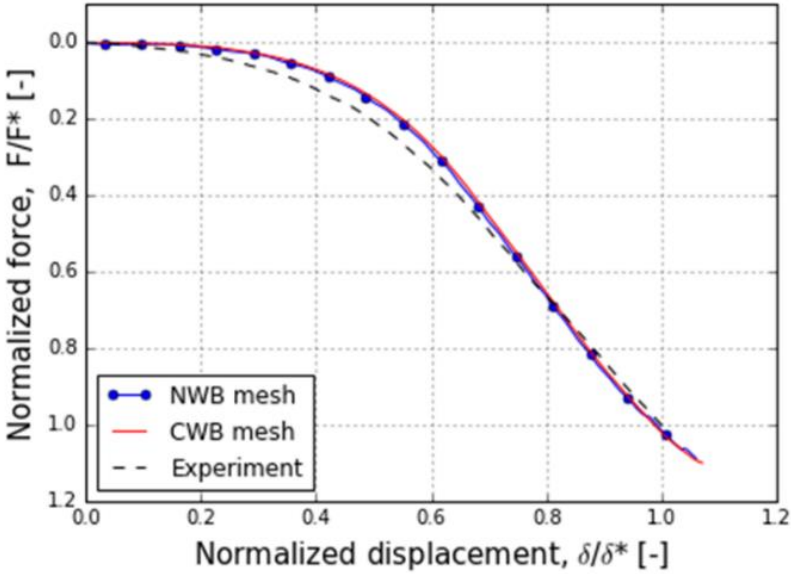
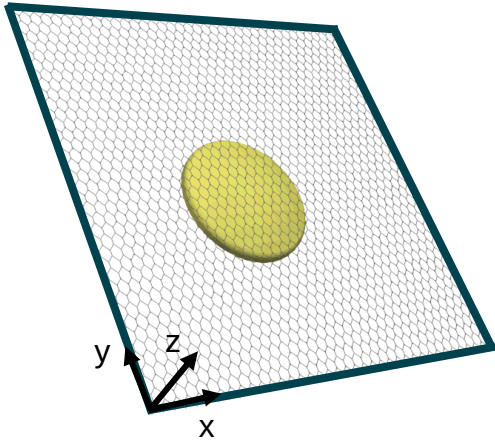
Validación - Punch test (UNI 11437-2012)



Boundary Conditions

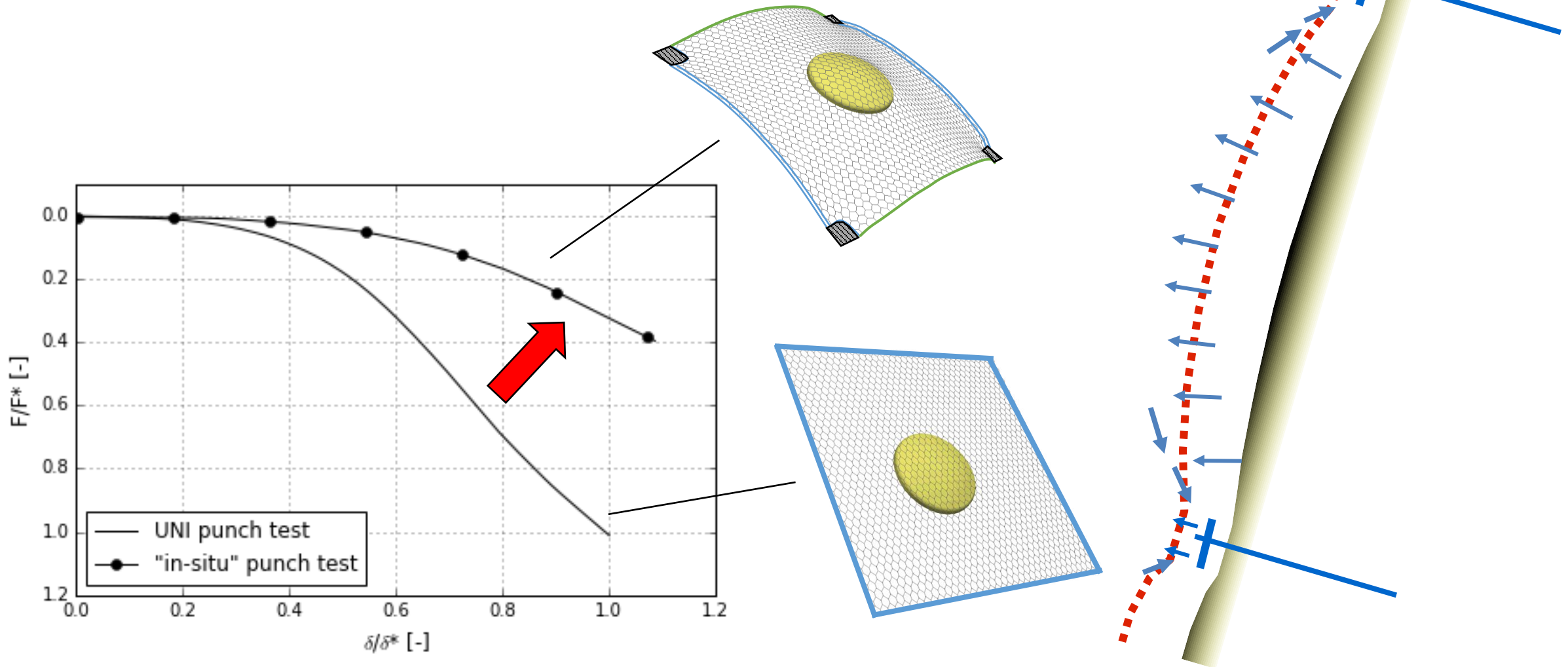
- $u_x = 0$
- $u_y = 0$
- $u_z = 0$

 Šmilauer et al. 2015



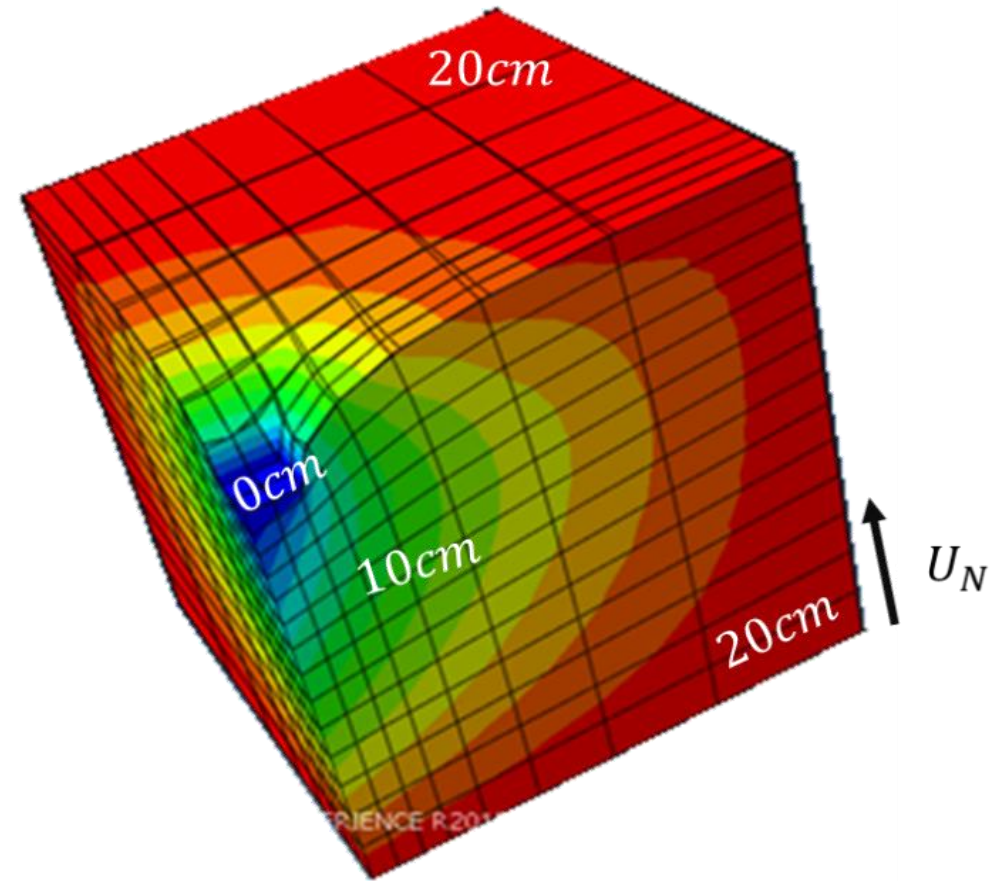
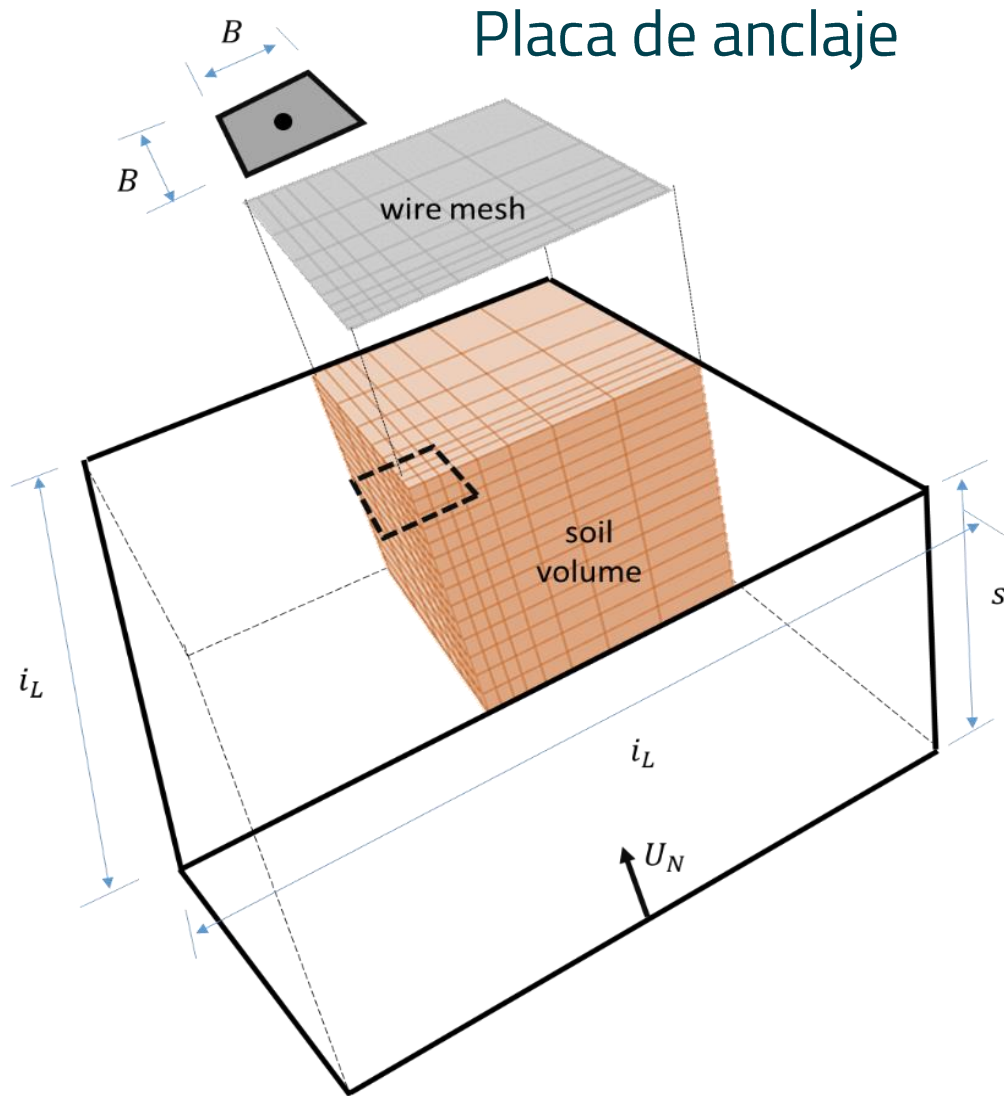
Correlacionado con las condiciones reales

R = Coeficiente de corrección de restricción de malla (prueba y campo)

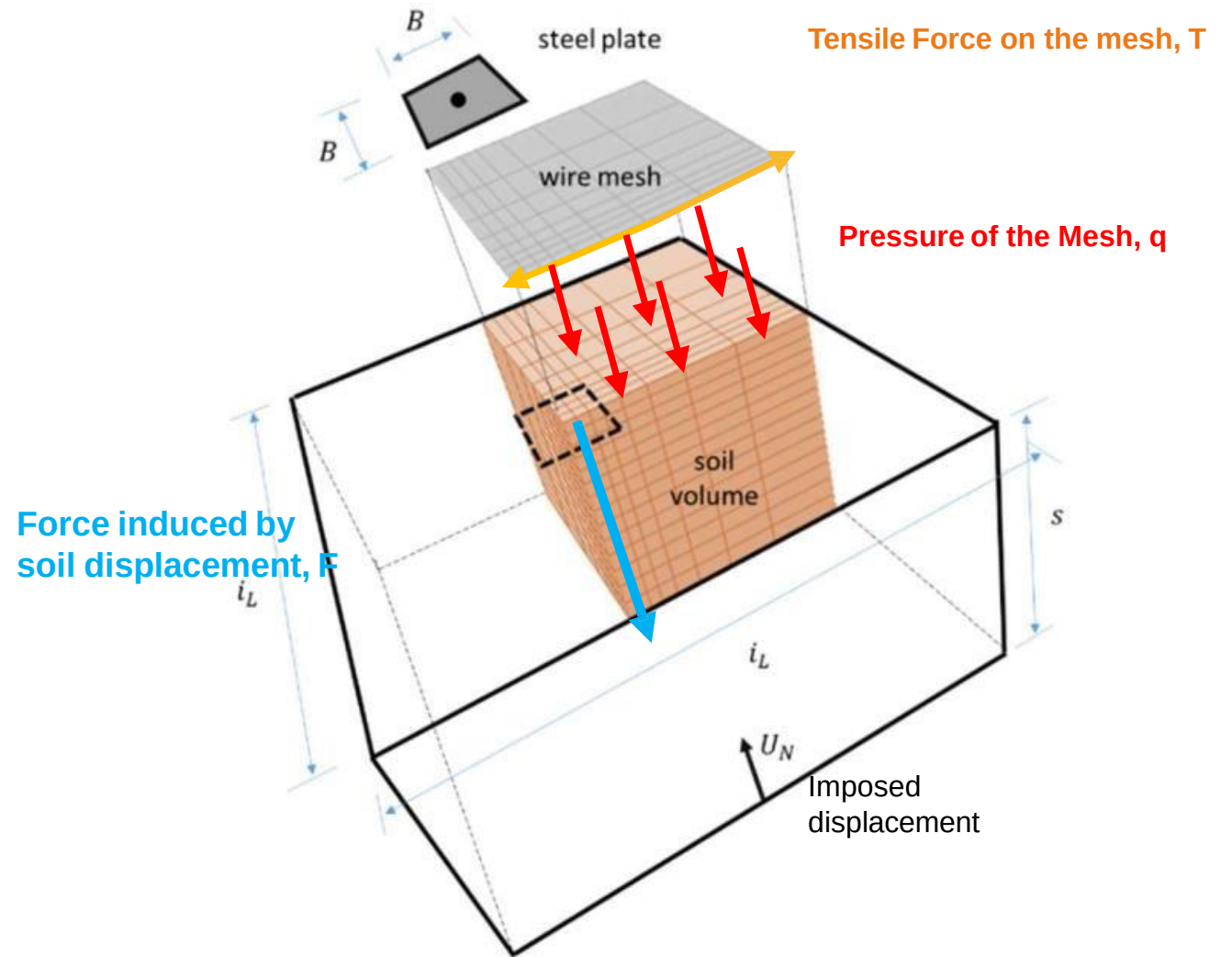
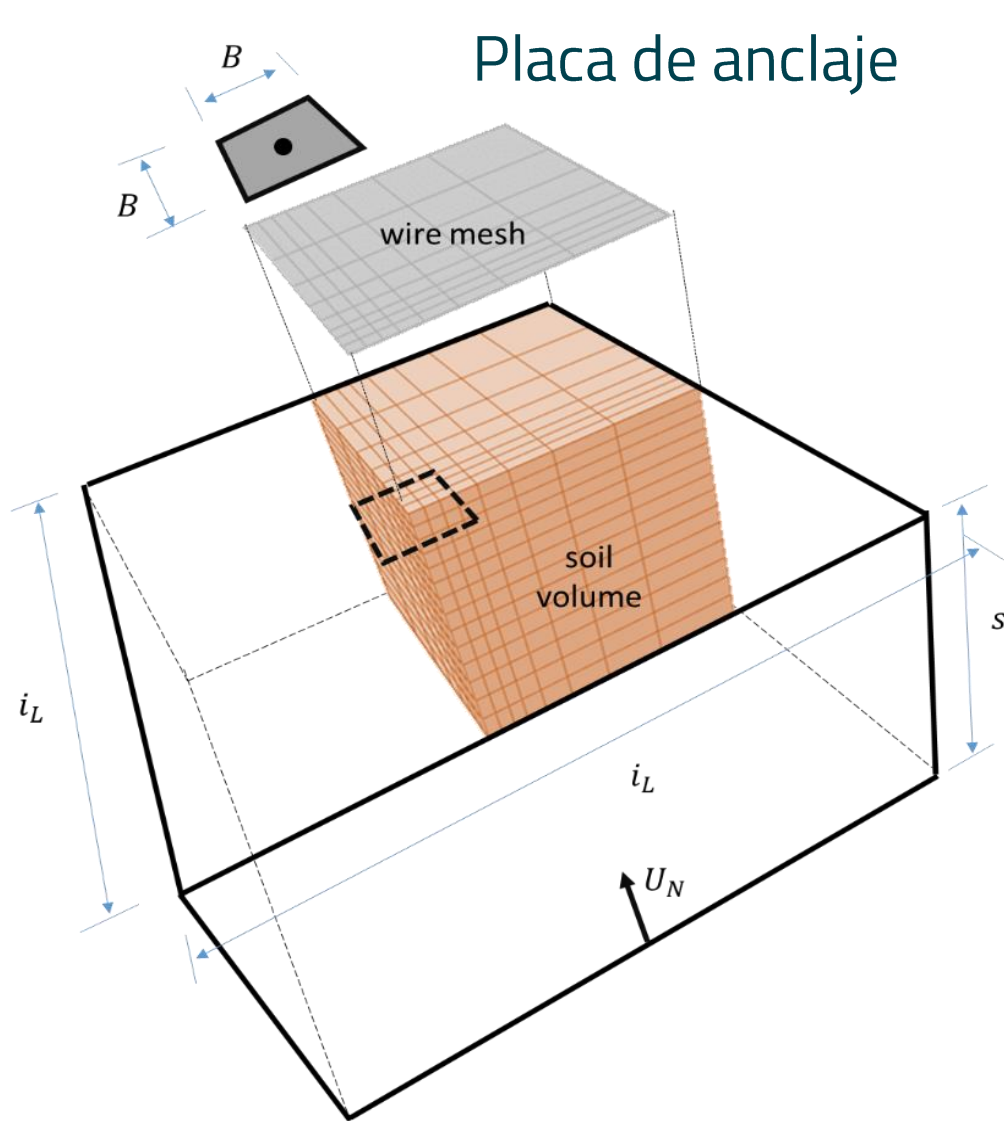


Gabrieli et al. 2017

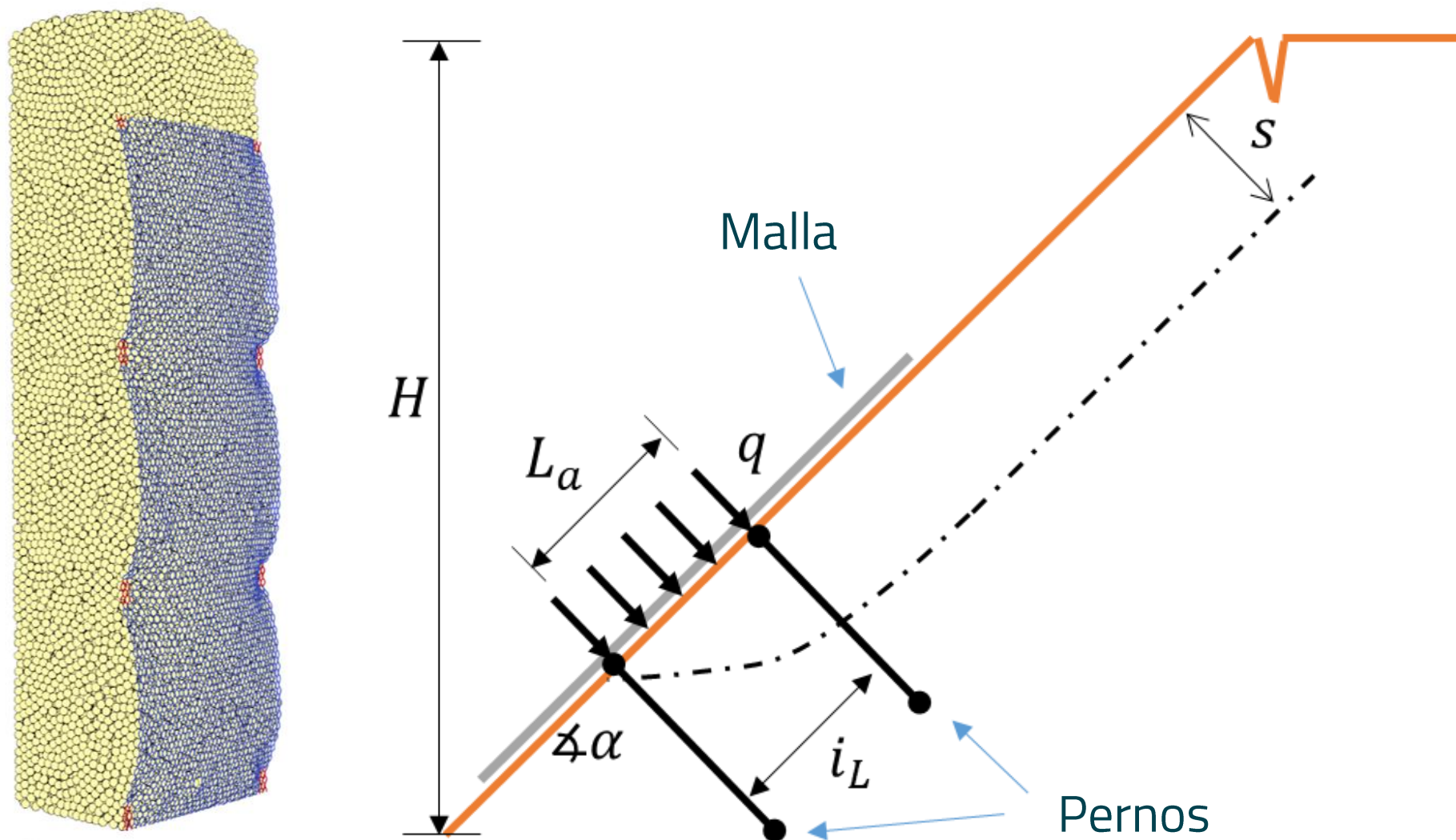
Análisis de la Curva característica



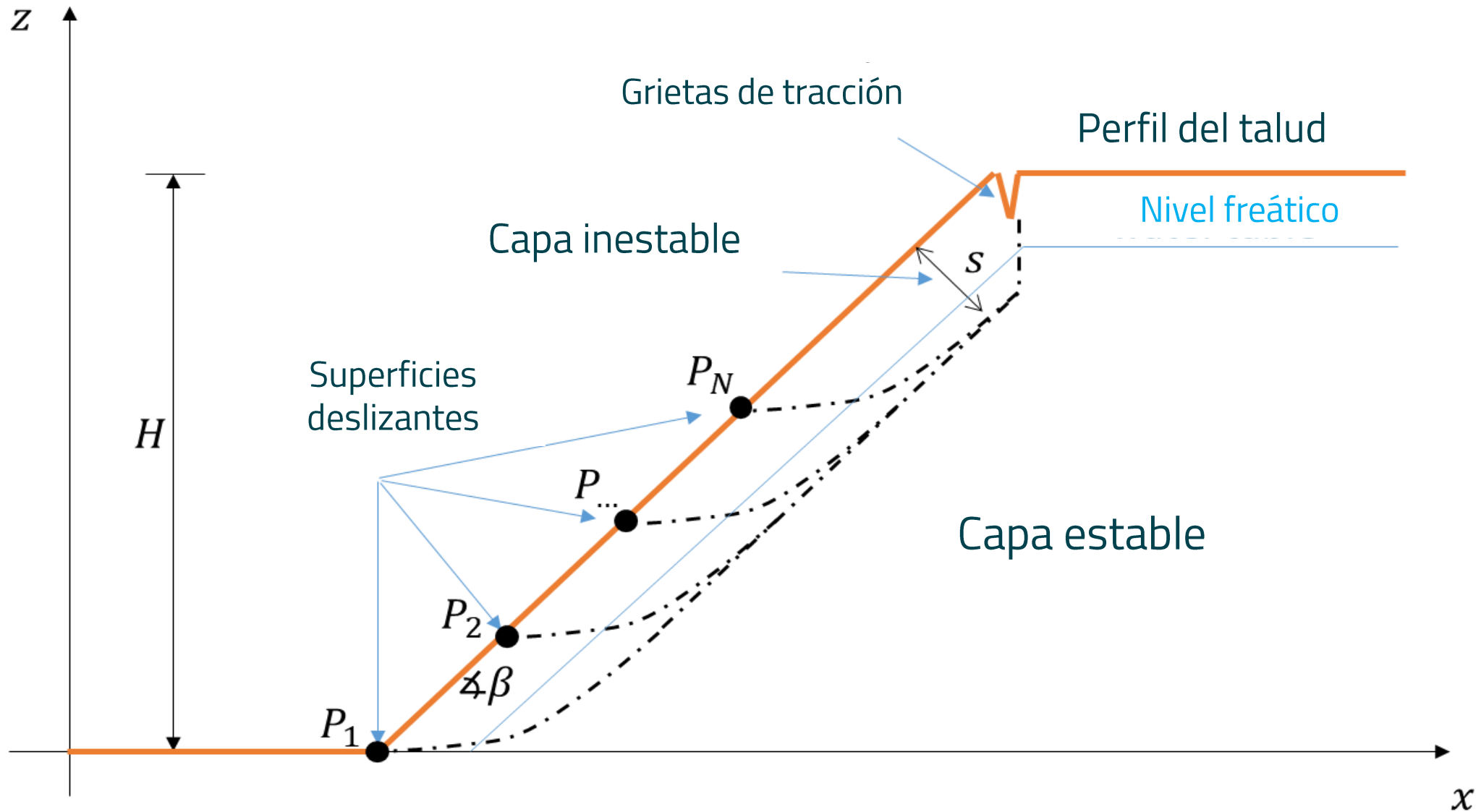
Análisis de la Curva característica



Análisis de la malla



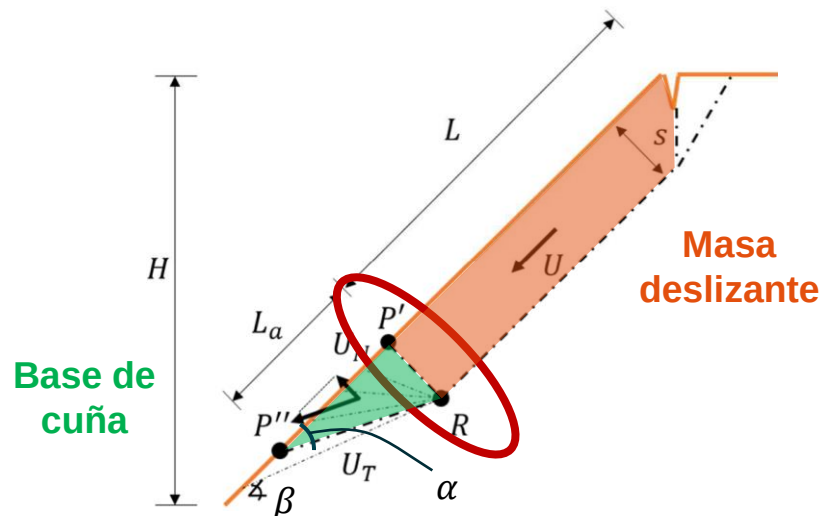
Mecanismo de falla considerado



SUPOSICIONES BÁSICAS DEL MÉTODO Y ENFOQUE ESQUEMÁTICO

Se incluyen dos enfoques que se diferencian por la geometría de los bloques considerados

Método 1

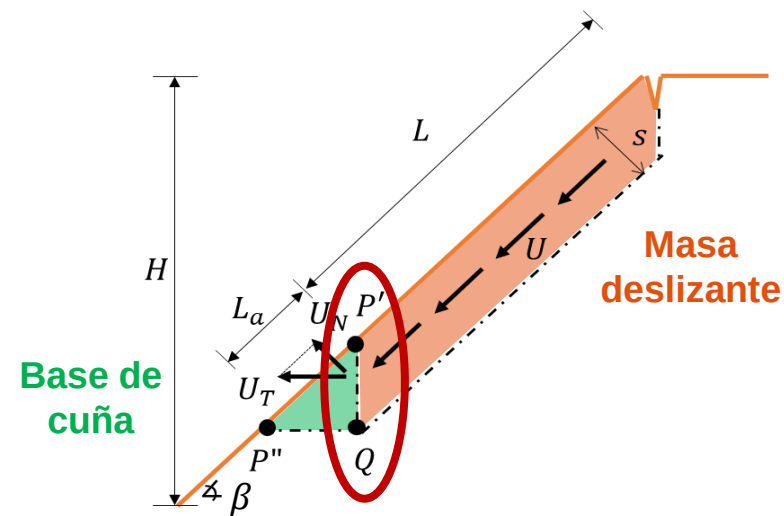


Este método considera una «cuña de suelo» estabilizadora donde:

- las fuerzas inducidas se transfieren a través de una interfaz P'R ortogonal a la superficie del talud,
- Se pueden definir varios elementos de cuña para cada punto P' y cada uno está definido por un valor diferente del ángulo α .

Este método es compatible con pendientes fuertes.

Método 2



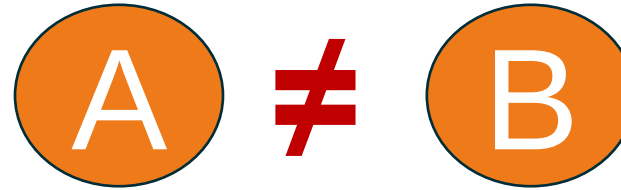
Este método considera una «cuña de suelo» estabilizadora donde:

- las fuerzas inducidas se transfieren a través de una interfaz P'Q vertical,
- Existe un solo elemento de cuña para cada punto P'.

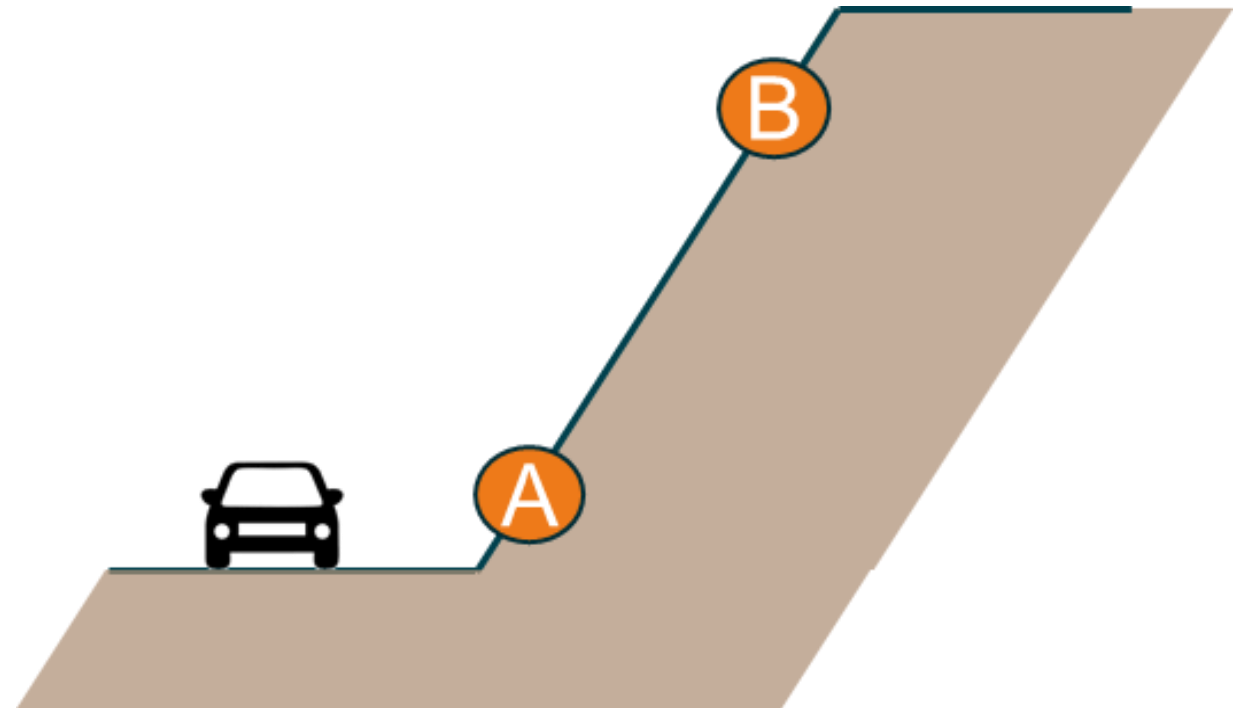
Este método es compatible con pendientes suaves.

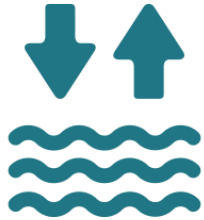


ALTURA
DEL
TALUD



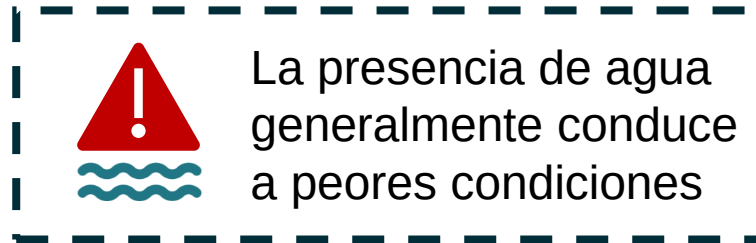
Mac S-Design considera la altura real del talud. La carga aplicada a la malla varía a lo largo de la pendiente.



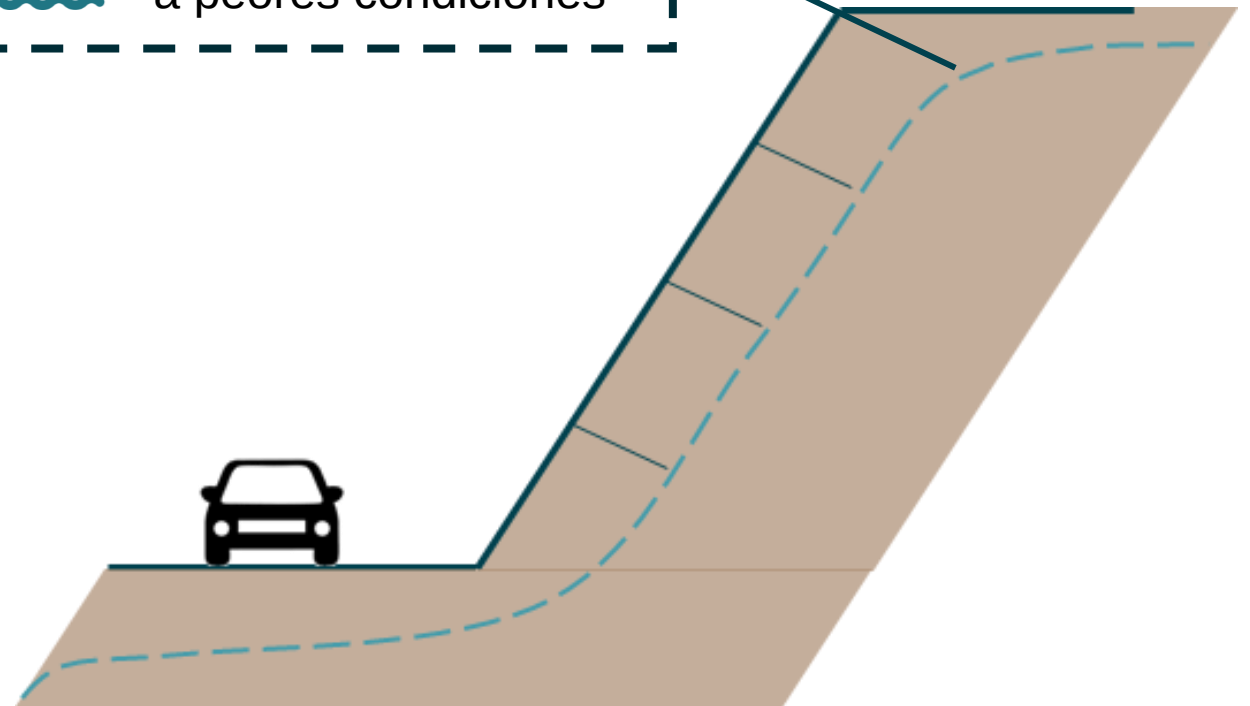


SE PUEDE TENER EN CUENTA EL NIVEL FREÁTICO

Mac S-Design permiten a los diseñadores considerar el nivel freático en su cálculo.



La presencia de agua generalmente conduce a peores condiciones

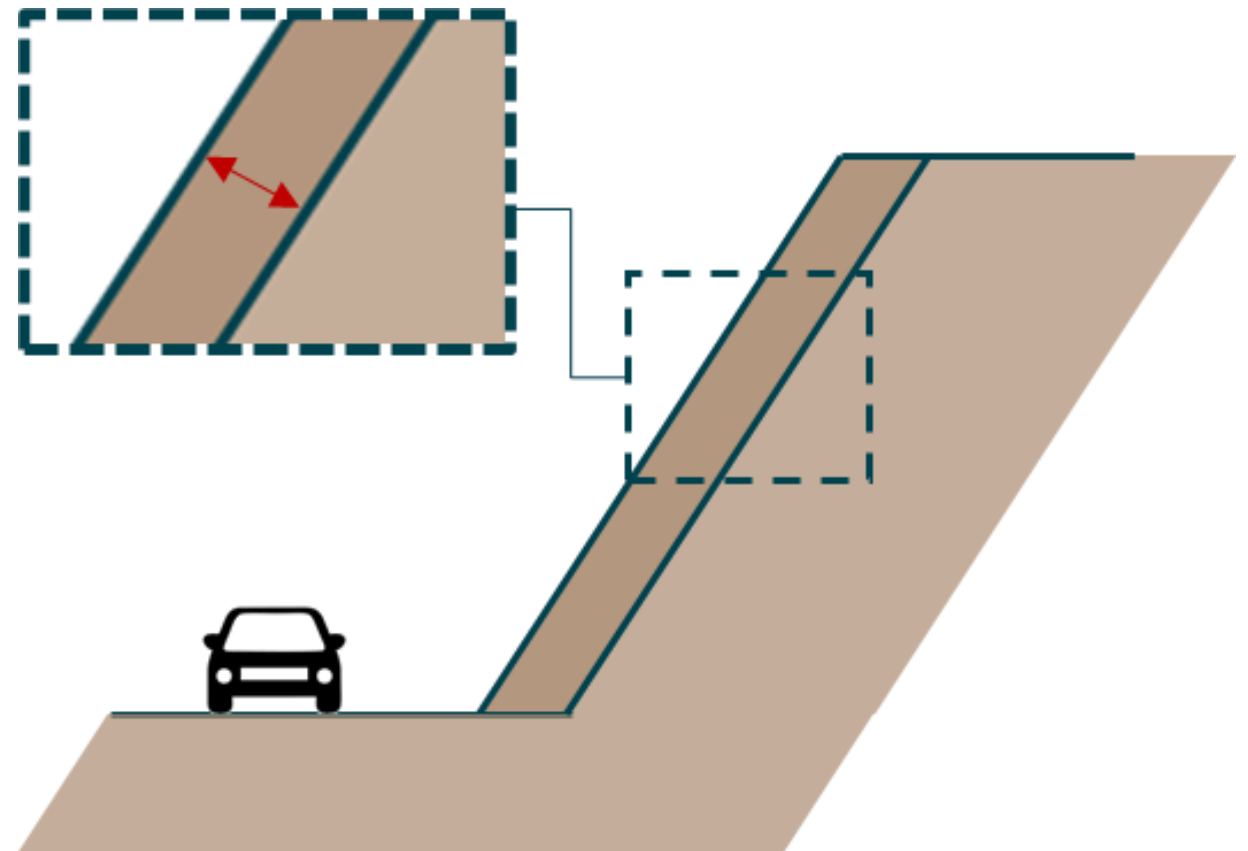


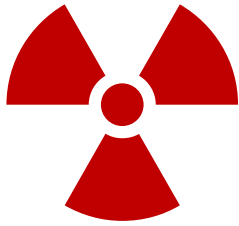
20% de la ALTURA
DE LA PENDIENTE



ESPESOR DE
CAPA INESTABLE

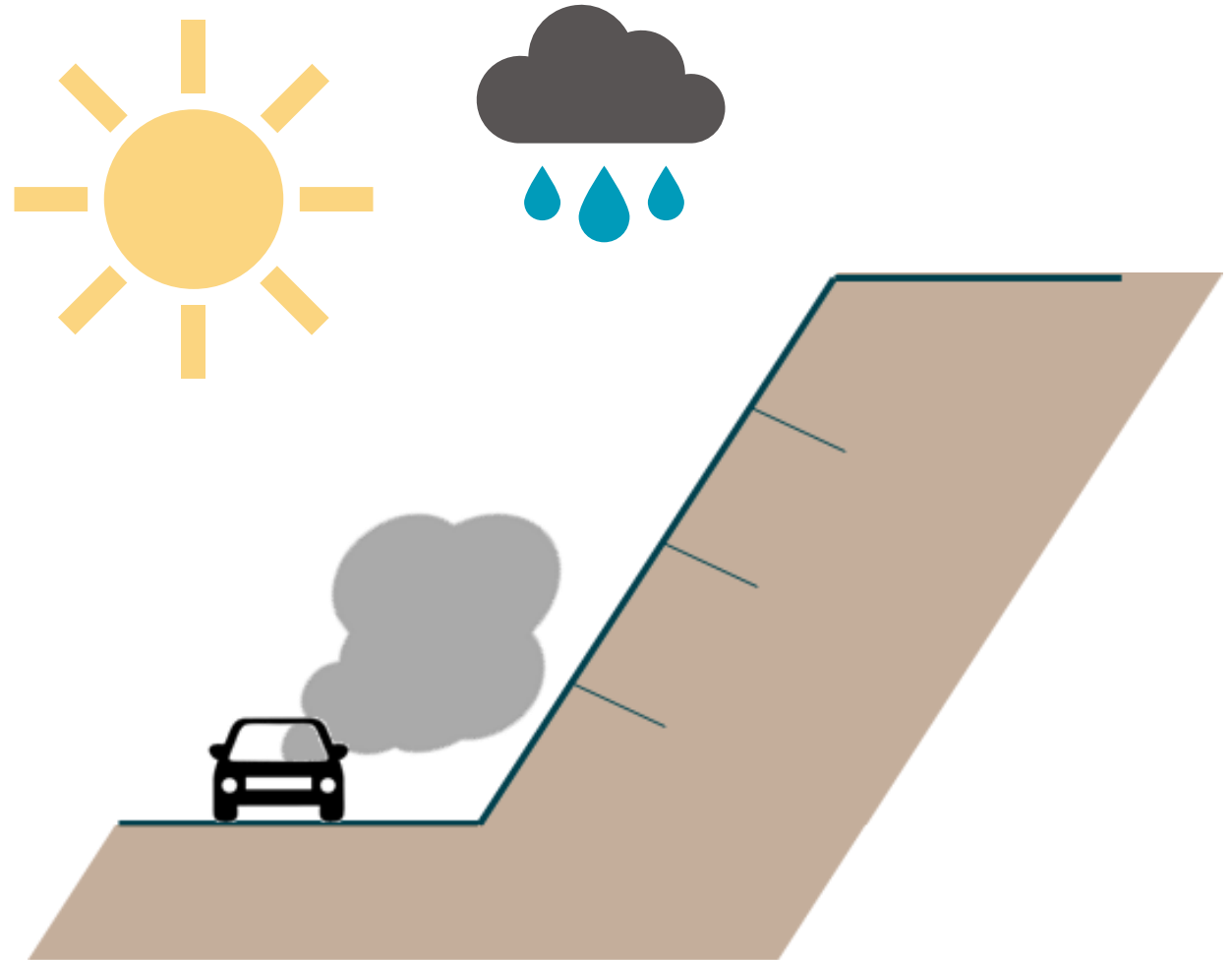
Mac S-Design permite considerar una capa inestable de suelo hasta un espesor del 20% de la altura de la pendiente. Esto permite el análisis de una amplia gama de casos..





EXPOSICIÓN AMBIENTAL SEGÚN EN10223-3 Y EN10244-2.

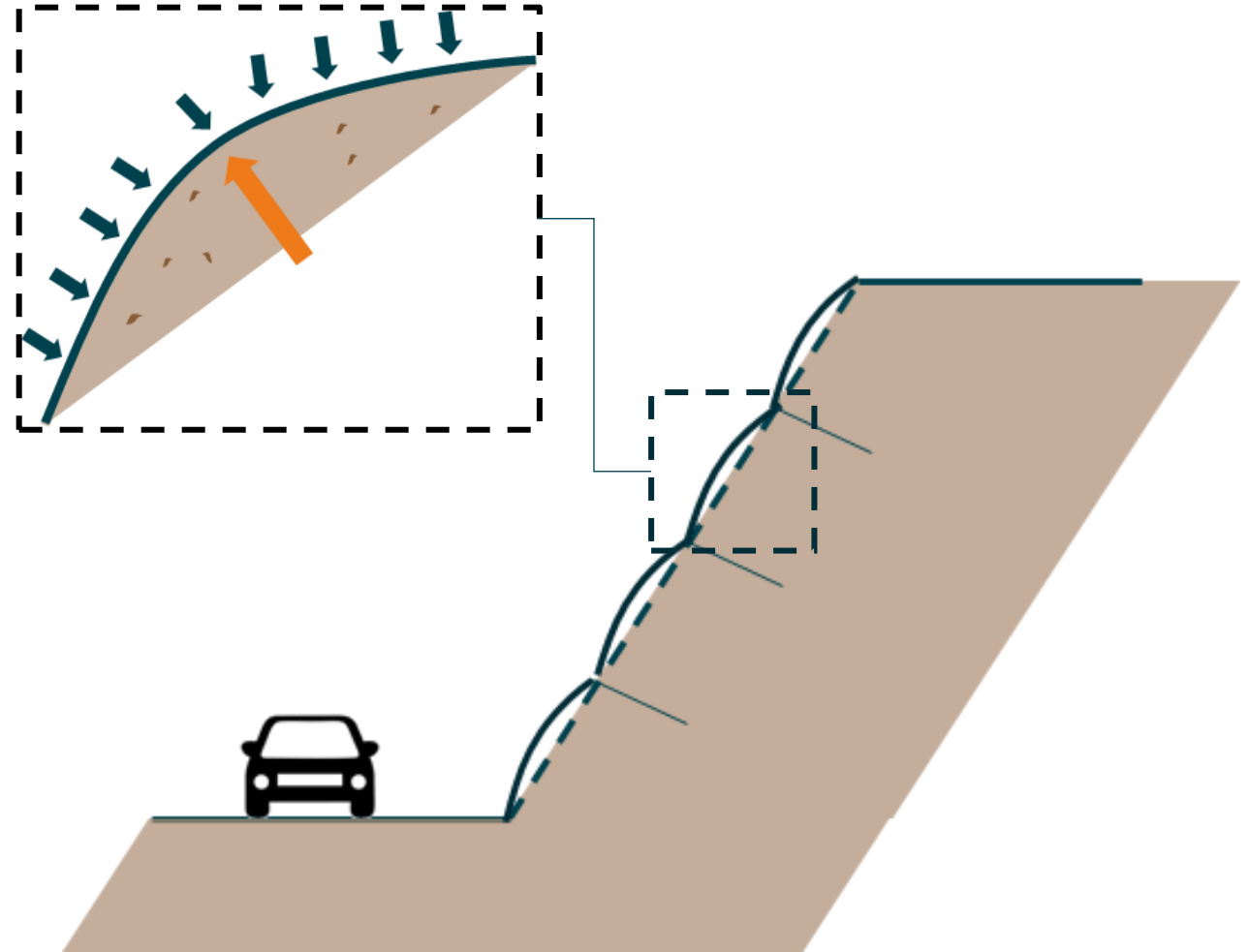
Mac S-Design permite a los diseñadores considerar la exposición ambiental en su cálculo tanto para la malla como para los pernos (corrosión).





LA MALLA NO EJERCE
NINGUNA PRESIÓN SOBRE
EL SUELO SI NO ESTÁ
DEFORMADA

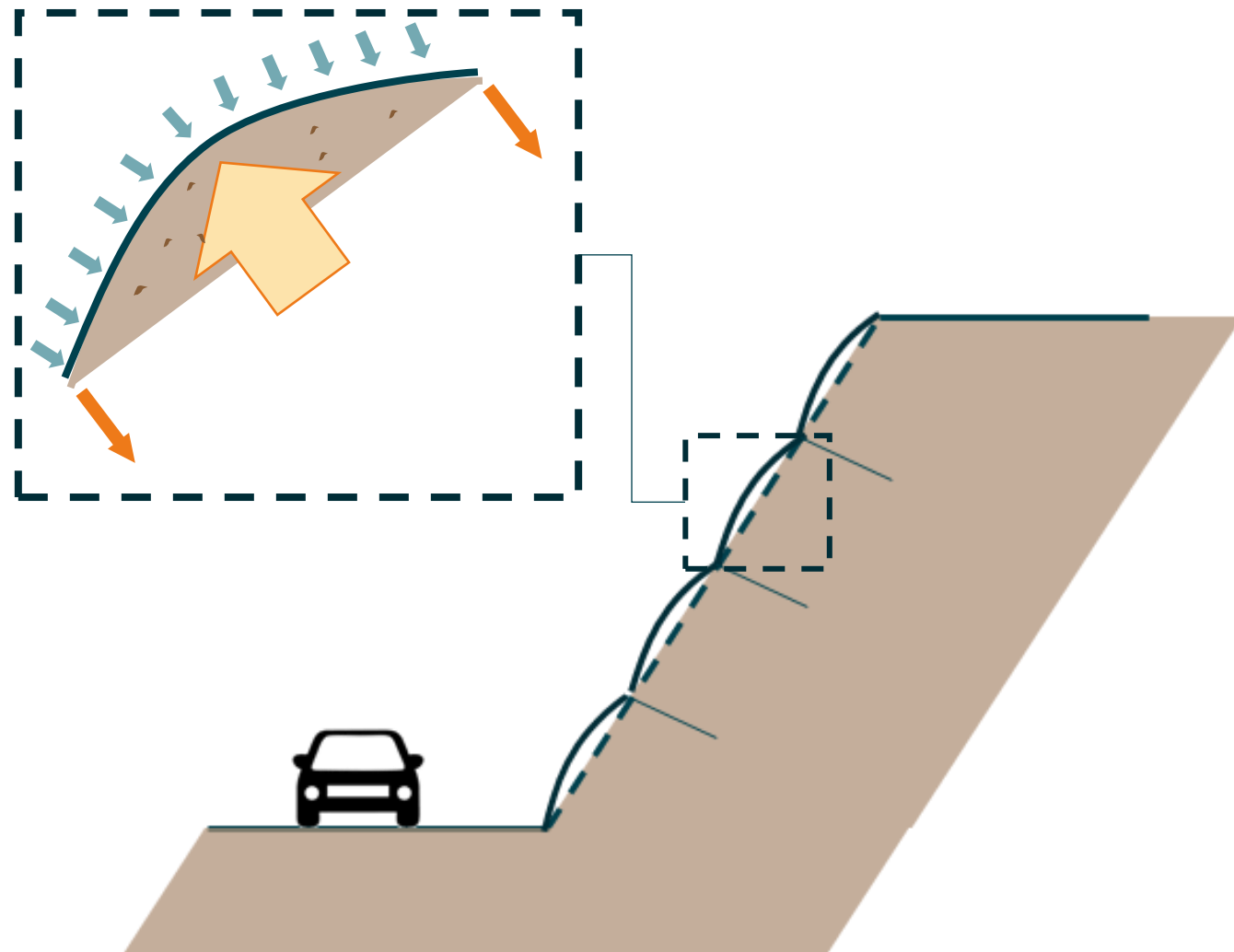
Mac S-Design se basa en curvas de tensión-desplazamiento. No hay necesidad de introducir fuerzas arbitrarias que puedan afectar a la fiabilidad de los resultados

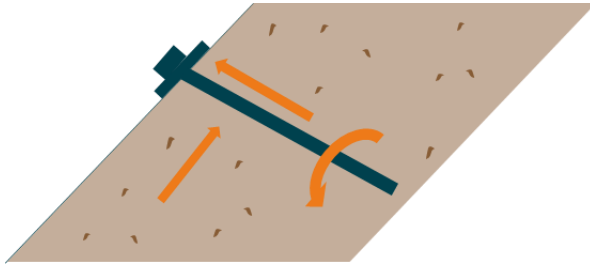




TASA DE TRABAJO DE LA MALLA

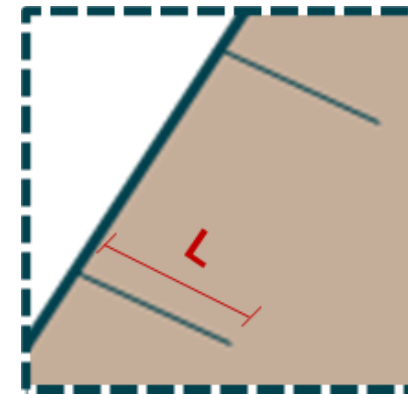
Mac **S-Design** optimiza el diseño de la malla a través de su tasa de trabajo.



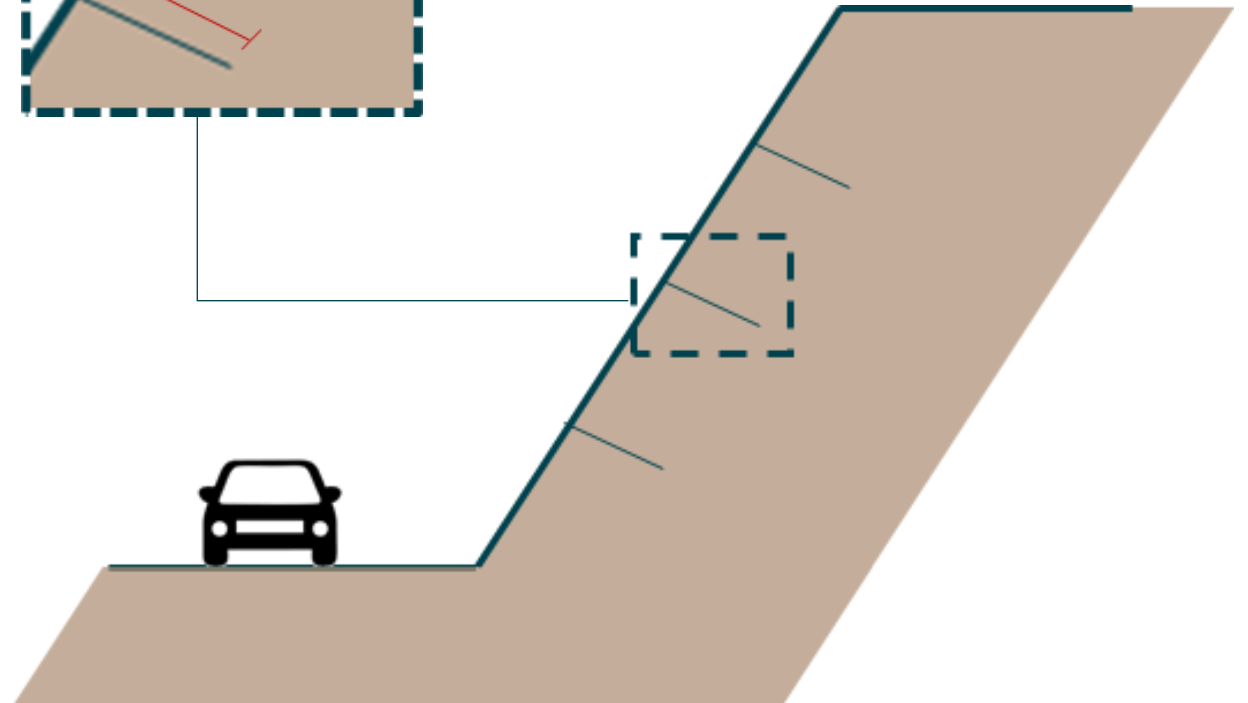


COMPROBAR LA ESTABILIDAD DE LOS PERNOS

Mac S-Design verifica los pernos en busca de tensión cortante, momento de flector, fuerzas axiales y calcula su largo de anclaje.



- ✓ M-N
- ✓ Tensión cortante
- ✓ Mínimo largo de anclaje



SUPOSICIONES BÁSICAS DEL MÉTODO Y ENFOQUE ESQUEMÁTICO

MACCAFERRI

El marco conceptual de Mac S-Design se puede resumir de la siguiente manera:

INPUT

- Geometría
(altura y ángulo del talud, espesor de capa inestable, etc.)
- Parámetros geotécnicos
(ángulo de fricción, cohesión, peso específico, etc.)
- Nivel freático, Coeff parcial, Coeff sísmico, F. de seguridad

PRE-ANÁLISIS

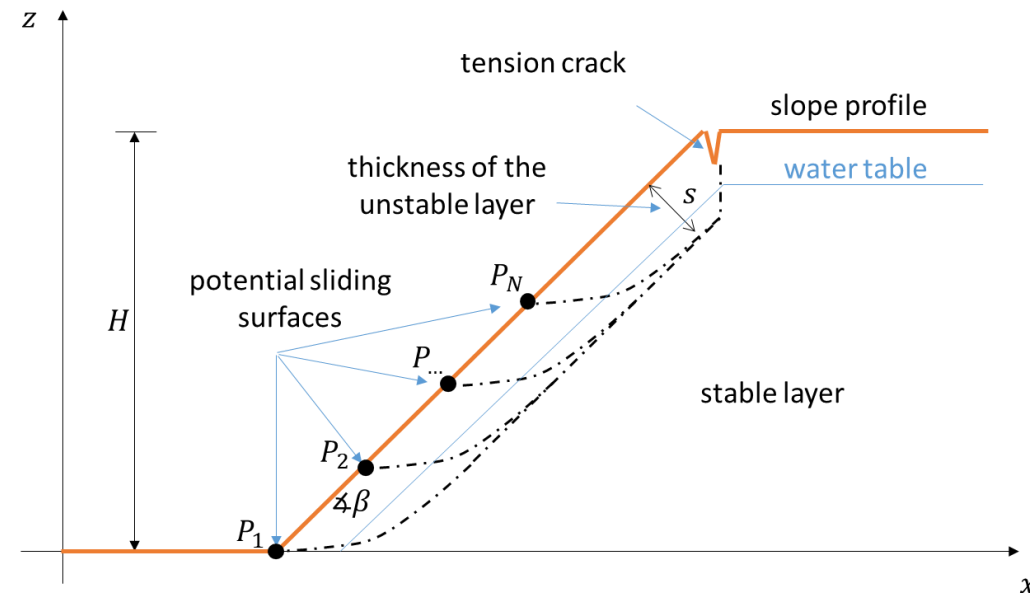
- Análisis de todas las posibles superficies deslizantes
- Análisis de estabilidad a través del "**Método 1**" y el "**Método 2**"
- Ident. del mecanismo más inestable (es decir, el FS más bajo)

DISEÑO

- Cuando $FS < FS_{design}$:
- Selección de la malla adecuada para proporcionar la presión estabilizadora 'q' necesaria
 - Definición de las características de los anclajes

ANÁLISIS

- Cálculo de la **curva característica** de la malla seleccionada
- Análisis de estabilidad a través del "**Método 1**" y el "**Método 2**"



OUTPUT

- Verificación del FS_{design}
- Verificación de malla y tasa de trabajo
- Verificación de los pernos

¿NECESITA UNA ASISTENCIA DEDICADA PARA SU DISEÑO DE SOIL NAILING? ENVÍE UN MENSAJE DE TEXTO CON LA PALABRA "**PROJECT**" EN EL CUADRO DE CHAT



disponible en edesign.maccaferri.com



Mac S-Design



MacTube Design



REQUALIFE



disponible en edesign.maccaferri.com



disponible en edesign.maccaferri.com



Scientific Manual



Version 1.1 – May 2022

MACCAFERRI

Engineering a Better Solution

Scientific Manual



Version 1.1 – May 2022

m is

l the

x are

ritical



the

most

vided

e global stability of

for that purpose.

rovided highlighting

S-Design can be

e case of Approach

nal Output Data

etc.)

izing

is tool is

e chosen

roach for

analysis

h a tool



of soil displacement
m tensile force in the

n elastic perfectly

, and (ii) the wire

nbrane.

ent curve $F - U_N$

d of the tension-

action developed

n (depending both

eristics) is then of

nting the required

s shown in Figure

trains: (b) test

a wider area

ing the local

behaviour of

ffect can be

luced by the

he bond

sections.

the steel

x (1985),

e defined

(6)

y. A square

(1970):

ANTECEDENTES

DISEÑO DE APLICACIONES DE SOIL NAILING

SESIÓN DE PREGUNTAS Y RESPUESTAS

ANTECEDENTES

DISEÑO DE APLICACIONES DE SOIL NAILING

SESIÓN DE PREGUNTAS Y RESPUESTAS

Gracias

Dr. Ing. Petrucio Santos Junior
p.santos@maccaferri.com

disponible en **edesign.maccaferri.com**

