UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIÓN DE POST GRADO

MUROS Y TALUDES REFORZADOS CON GEOSINTÉTICOS

Dr. Jorge E. Alva Hurtado
MSc. Miriam Escalaya Advíncula

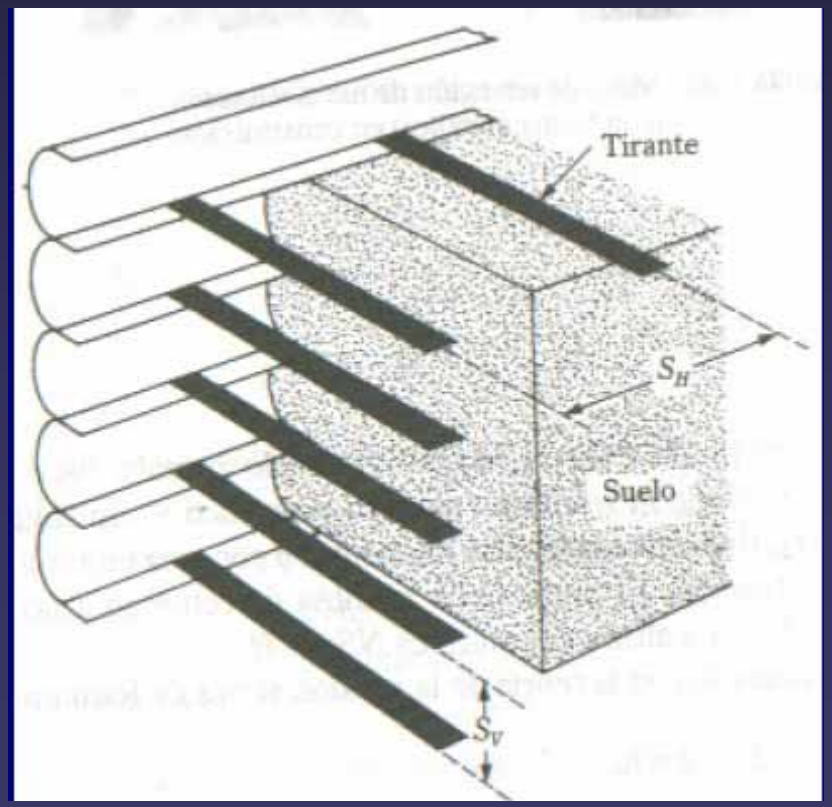
En muchos casos las propiedades geomecánicas de los suelos no satisfacen las características deseables para diferentes aplicaciones, requiriendo de diferentes procesos y tratamientos especiales para modificar su comportamiento a las condiciones deseadas.

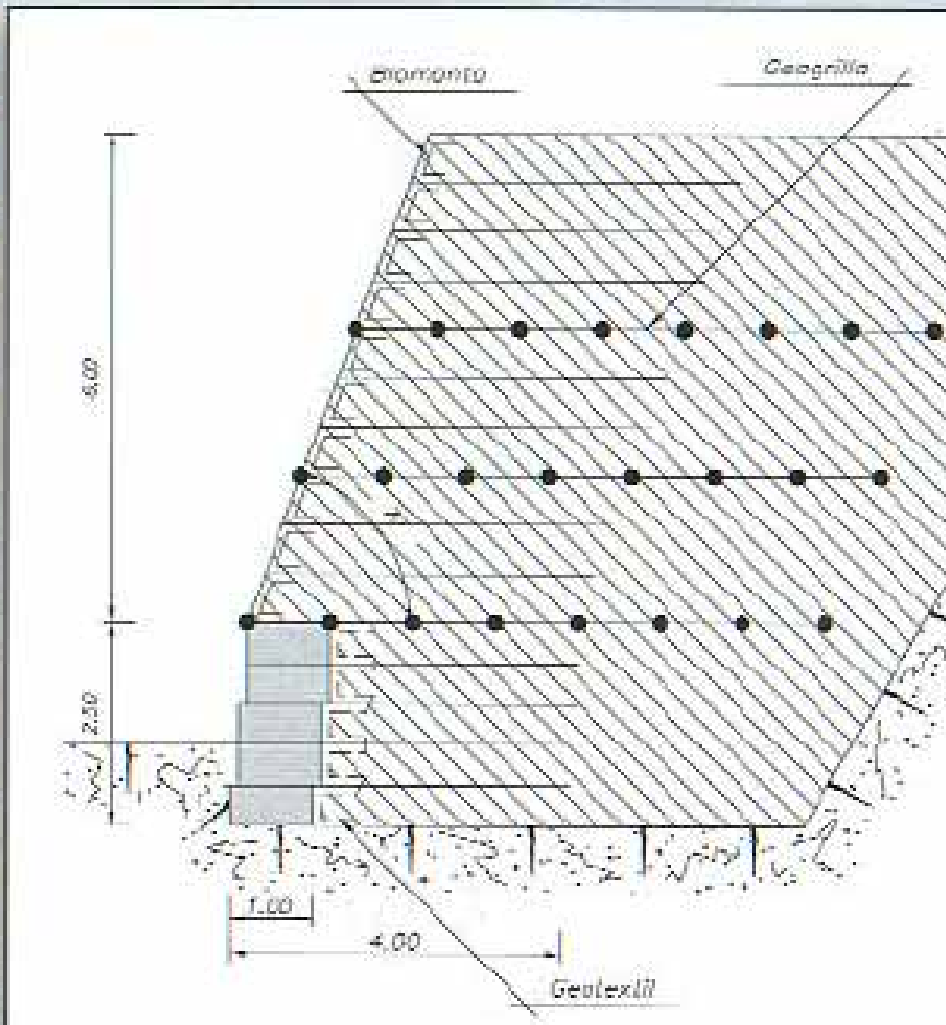
Los geosintéticos complementan las falencias que presentan los materiales térreos, permitiendo obtener excelentes ventajas técnicas y económicas en la construcción de muros en suelo reforzado, taludes reforzados, terraplenes sobre suelos blandos, sistemas de subdrenaje, etc. Los suelos al igual que el concreto presentan una buena resistencia a la compresión pero son deficientes cuando se trata de asumir esfuerzos de tracción, por tal motivo cuando los suelos son combinados con elementos que sean capaces de absorber esfuerzos de tracción como son los geotextiles se puede lograr estructuras de suelo reforzadas.

ANTECEDENTES

La tierra reforzada moderna fue inventada y patentada por el arquitecto francés Henri Vidal en los años 1960s, y llegó a América en 1972.

Originalmente se utilizaron láminas de acero como refuerzo pero con el tiempo el sistema ha ido evolucionando para incluir otro tipo de refuerzo, especialmente los geosintéticos (Geomallas y geotextiles tejidos).




Riempimento
Geogriglia
6.00
2.50
1.00
4.00
Geotessile

MUROS DE CONTENCIÓN REFORZADOS CON GEOSINTÉTICOS

Se considera muro de contención a aquella estructura cuyo paramento exterior tiene un inclinación superior a los 70º. La misión principal en este tipo de estructura es la de aguantar las presiones laterales originadas por el empuje del terreno.

Los muros de contención reforzados con geosintéticos se han convertido mundialmente en una alternativa de construcción frente a los muros de concreto reforzado y a los terraplenes conformados naturalmente, principalmente cuando hay deficiencias en la capacidad portante del suelo de fundación o cuando las condiciones geométricas de la sección de la vía no permiten que las zonas de relleno sean realizadas a un ángulo igual o menor al de reposo natural del suelo de relleno.

METODOLOGÍA DE DISEÑO

La metodología de diseño se basa en que se asume que en la estructura no se presentan presiones hidrostáticas y que la superficie de falla activa es una superficie plana definida por la metodología de Rankine.

1. Se trata la estabilidad interna, para determinar el espaciamiento entre geosintéticos, la longitud del geosintético y la distancia de traslape
2. Se investiga la estabilidad externa contra el volteo, deslizamiento y falla de la fundación, y se verifica o modifica el diseño interno acorde con esto
3. Se tratan consideraciones miscelánicas, incluyendo detalles de la cara del muro

ESTABILIDAD INTERNA

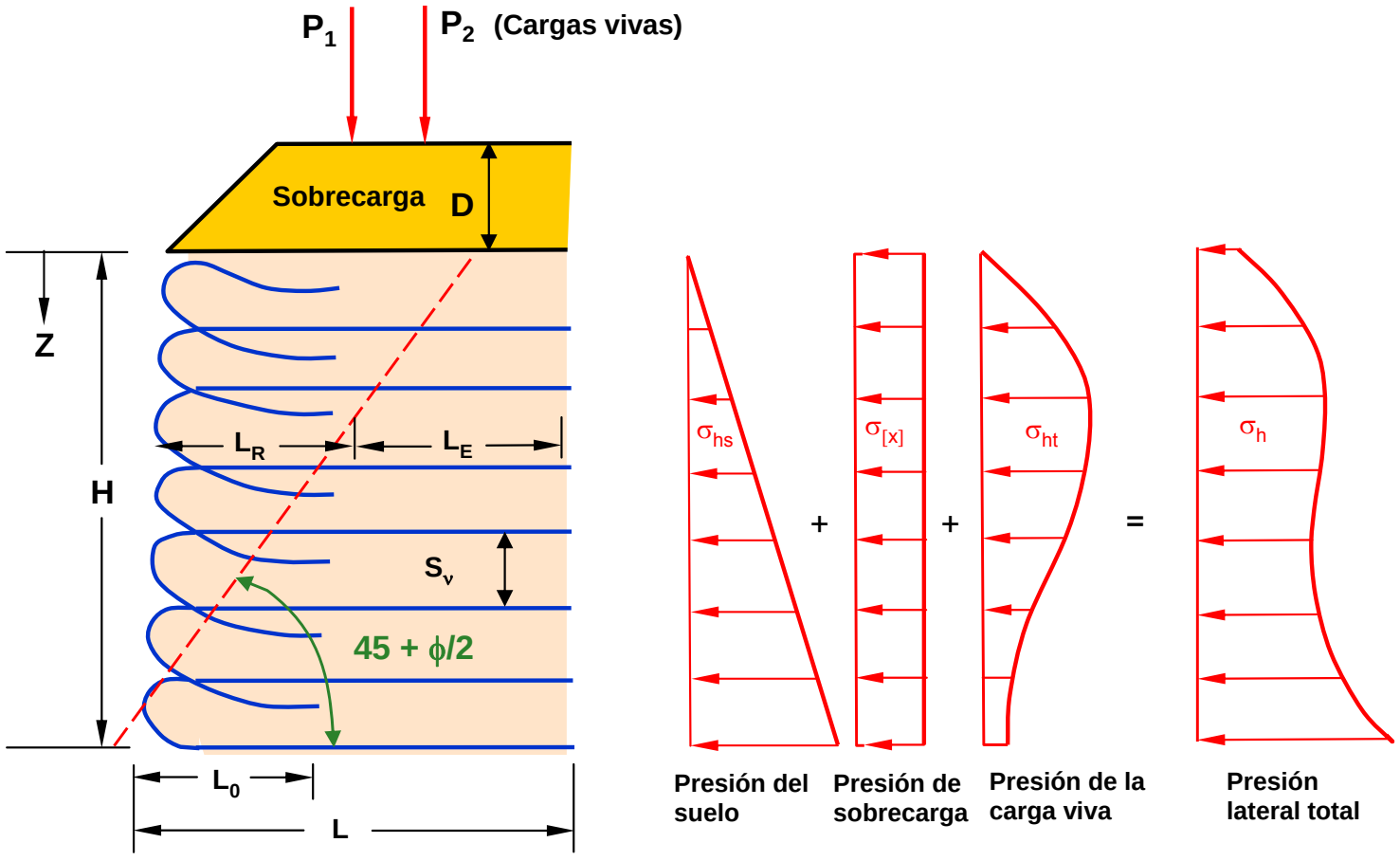
1. Determinar las dimensiones preliminares del muro

   Por razones constructivas y para evitar un embombamiento en la cara externa de cada una de las capas, se recomienda que la altura de las capas de refuerzo no exceda los 50 cm, así en el cálculo se hayan obtenido valores mayores. La dimensión de la base del muro en la mayoría de los casos se asume inicialmente mayor o igual a 0.7 veces la altura máxima

2. Desarrollar los diagramas de presión lateral de tierras para la sección reforzada

3. Calcular los máximos esfuerzos horizontales en cada capa de refuerzo

4. Diseñar la separación vertical entre capas y las longitudes de desarrollo del geosintético para cada una de éstas



CONCEPTOS Y TEORÍA DE PRESIÓN DE TIERRAS PARA MUROS DE GEOTEXTILES

CÁLCULO DE PRESIONES LATERALES

$$\sigma_{hs} = K_a \gamma z \qquad \sigma_{hq} = K_a q \qquad \sigma_{hl} = \frac{P x^2 z}{R^5}$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} + \sigma_{hl}$$

Donde:

σ_{hs} = presión lateral debido al suelo

$K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$

ϕ = ángulo de resistencia al corte del suelo de relleno

γ = peso unitario del suelo de relleno

z = profundidad desde la superficie a la capa en cuestión

σ_{hq} = presión lateral debido a la sobrecarga

q = γ_qD = sobrecarga sobre la superficie del terreno

γ_q = peso unitario del suelo de sobrecarga

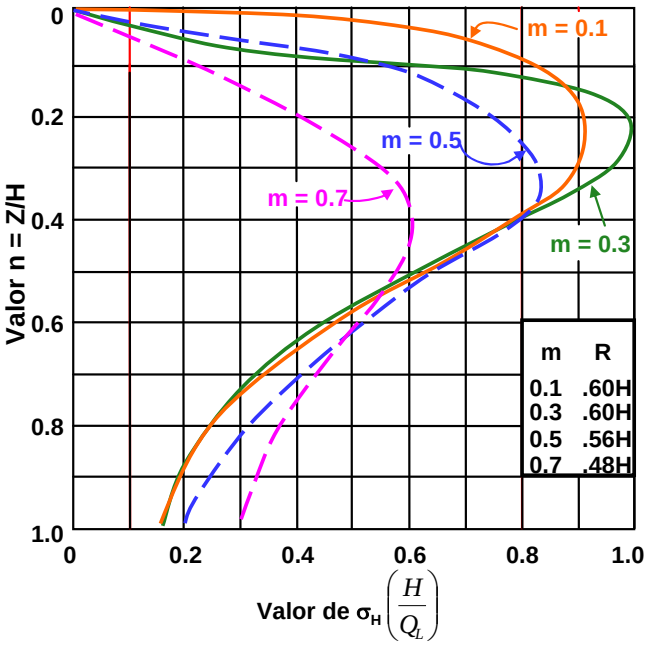
D = espesor del suelo de sobrecarga

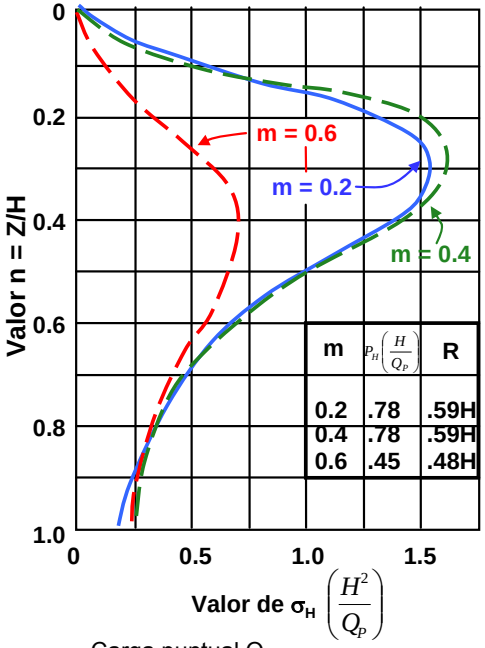
σ_{hl} = presión lateral debido a la carga viva

P = carga viva concentrada sobre la superficie de relleno

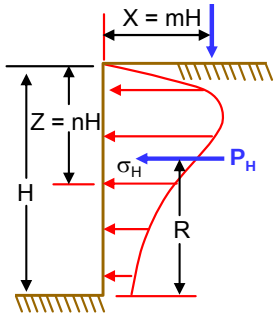
x = distancia horizontal de la carga, desde el muro

R = distancia radial desde la carga a un punto del muro donde la presión está siendo calculada





Carga lineal Q_L



Para m ≤ 0.4

$$\sigma_H\left(\frac{H}{Q_L}\right)=\frac{0.20n}{(0.16+n^2)^2}$$

$P_H = 0.55\ Q_L$

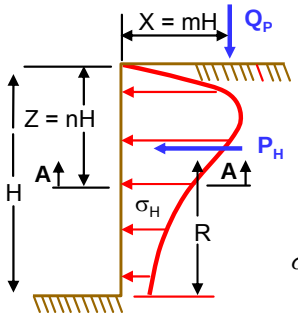
Para m > 0.4:

$$\sigma_H\left(\frac{H}{Q_L}\right)=\frac{1.28m^2n}{(m^2+n^2)^2}$$

Resultante $P_H = \frac{0.64QL}{(m^2+1)}$

Presión desde la carga lineal Q_L (ecuación de Boussinesq modificada experimentalmente)

Carga puntual Q_P



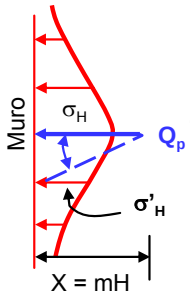
Para m ≤ 0.4:

$$\sigma_H\left(\frac{H^2}{Q_P}\right)=\frac{0.28n^2}{(0.16+n^2)}$$

Para m > 0.4:

$$\sigma_H\left(\frac{H^2}{Q_P}\right)=\frac{1.77m^2n^2}{(m^2+n^2)^3}$$

$\sigma'_H = \sigma_H \cos^2(1.1\theta)$



Sección A-A

Presión desde la carga puntual Q_p (ecuación de Boussinesq modificada experimentalmente)

Presión lateral de tierra debida a la carga superficial. El lado izquierdo es para carga lineal; el lado derecho es para carga puntual (despues de NAVFAC)

CÁLCULO DEL ESPACIAMIENTO VERTICAL

$$S_v = \frac{T_{perm}}{\sigma_h FS}$$

S_v	=	espaciamiento vertical (espesor de capa)
T_{perm}	=	esfuerzo permisible en el geotextil
σ_h	=	presión de tierras lateral total a la profundidad considerada
FS	=	factor de seguridad (usar 1.3 a 1.5)

$$T_{perm} = T_{ult}\left(\frac{1}{FS_{CR} x FS_{ID} x FS_{DQ} x FS_{DB}}\right)$$

T_{ult}	=	Resistencia a la tensión última o disponible dada por el fabricante
F_{SID}	=	Factor de seguridad por daños en la instalación
F_{SCR}	=	Factor de seguridad por creep
F_{SDQ}	=	Factor de seguridad por degradación química
F_{SDB}	=	Factor de seguridad por degradación biológica

VALORES RECOMENDADOS DE FACTORES DE REDUCCIÓN PARA GEOTEXTILES

Área de aplicación	Rango de Factores de Reducción			
	Daño de Instalación	Deflexión (Creep)*	Degradación Química	Degradación Biológica
Separación	1.1 a 2.5	1.5 a 2.5	1.0 a 2.5	1.0 a 1.2
Amortiguamiento	1.1 a 2.0	1.2 a 1.5	1.0 a 2.0	1.0 a 1.2
Caminos no pavimentados	1.1 a 2.0	1.5 a 2.5	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2
Paredes, muros	1.1 a 2.0	2.0 a 4.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.3
Terraplenes, cortinas	1.1 a 2.0	2.0 a 3.5	1.0 a 1.5	1.0 a 1.3
Capacidad portante	1.1 a 2.0	2.0 a 4.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.3
Estabilización de taludes	1.1 a 1.5	2.0 a 3.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.3
Cubierta de pavimentos	1.1 a 1.5	1.0 a 2.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.1
Vías de ferrocarril (filtro/separación)	1.5 a 3.0	1.0 a 1.5	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2
Formas flexibles	1.1 a 1.5	1.5 a 3.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.1
Defensas de sedimentos	1.1 a 1.5	1.5 a 2.5	1.0 a 1.1	1.0 a 1.1

* El límite inferiores del rango se refiere a aplicaciones que tienen un período de vida de servicio relativamente corto y/o situaciones donde las deformaciones por deflexión no son críticas en el comportamiento del sistema

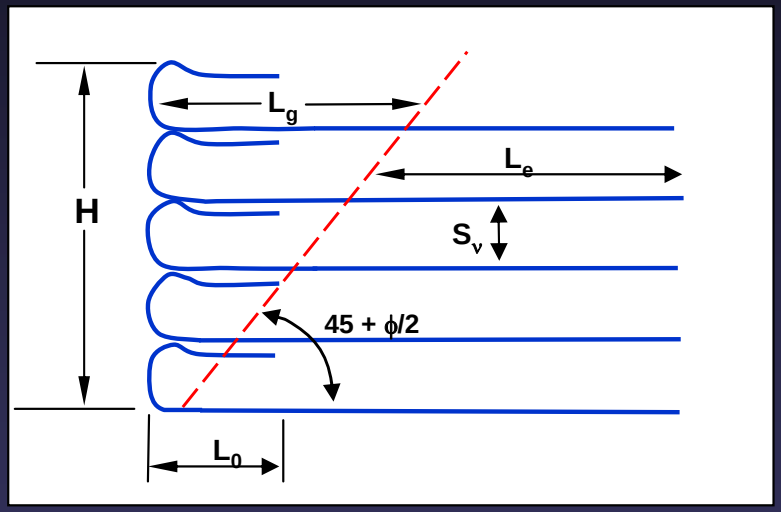
VALORES RECOMENDADOS DE FACTORES DE REDUCCIÓN PARA GEOMALLAS

Área de aplicación	Rango de Factores de Reducción			
	Daño de Instalación	Deflexión (Creep)*	Degradación Química	Degradación Biológica
Caminos no pavimentados	1.1 a 1.6	1.5 a 2.5	1.0 a 1.5	1.0 a 1.1
Caminos pavimentados	1.2 a 1.5	1.2 a 1.5	1.1 a 1.6	1.0 a 1.1
Terraplenes	1.1 a 1.4	2.0 a 3.0	1.1 a 1.4	1.0 a 1.2
Taludes	1.1 a 1.4	2.0 a 3.0	1.1 a 1.4	1.0 a 1.2
Muros	1.1 a 1.4	2.0 a 3.0	1.1 a 1.4	1.0 a 1.2
Capacidad portante	1.2 a 1.5	2.0 a 3.0	1.1 a 1.6	1.0 a 1.2

CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL GEOTEXTIL

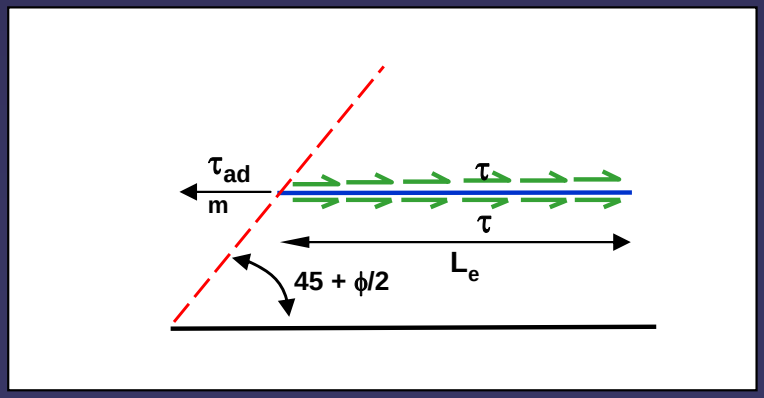
$$L = L_g + L_e + L_o + S_v$$

Longitud Geométrica hasta la zona de falla, L_g



$$L_g = (H - z)\tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

Longitud de empotramiento, L_e



$$L_e = \frac{S_v \sigma_h FS}{2(c_a + \gamma z \tan\delta)}$$

longitud de empotramiento requerida mínima = 1 m

Longitud del doblez superior, L_o

$$L_o = \frac{S_v \sigma_h FS}{4(c_a + \gamma z \tan\delta)}$$

longitud requerida mínima = 1 m

Donde :

S_v	=	espaciamiento vertical (espesor de capa)
σ_h	=	presión lateral total a la profundidad considerada
FS	=	factor de seguridad global (rango de 1.3 a 1.5)
c_a	=	cohesión del suelo, entre el suelo y geotextil (0 si el suelo usado es granular)
γ	=	peso unitario del suelo de relleno
z	=	profundidad desde la superficie del terreno, (debe medirse a la mitad de la capa)
δ	=	ángulo de fricción entre el suelo y el geotextil

Las magnitudes de c_a y δ dependen directamente del tipo de geosintético y de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de relleno. Son obtenidos mediante ensayo ASTM D 5321

Valores típicos de δ para distintos tipos de arenas (Koerner, 1998)

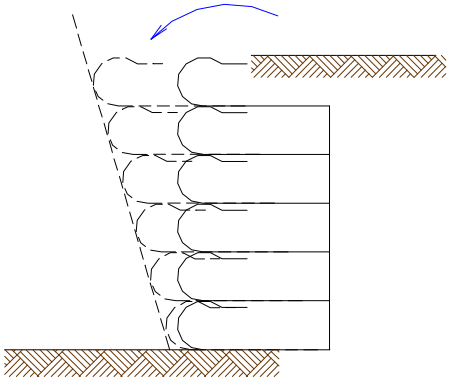
Tipo de Geotextil	Arena de Grano Medio a Grueso $\phi = 30^o$	Arena Redondeada $\phi = 28^o$	Arena Limosa $\phi = 26^o$
Geotextil Tejido Cinta Plana	24º (77 %)	24º (84 %)	23º (87 %)
Geotextil No Tejido Punzonado por Agujas	30º (100 %)	26º (92 %)	25º (96 %)

Valores típicos de c_a y δ para suelos con contenidos de finos y geotextiles tejidos de cinta plana (Koerner, 1998)

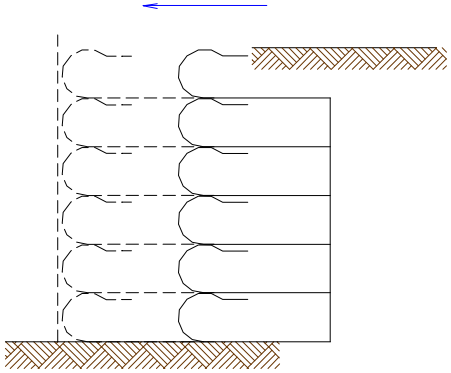
Mezclas Utilizadas	Cohesión Suelo (T/m^2)	Adherencia Suelo-Geotextil (T/m^2)	ϕ Suelo (º)	δ Suelo-Geotextil (º)	Porcentaje de ϕ (%)
0 % Limo – 100 % Arena	1.0	1.8	37.0	34.5	93.2 %
50 % Limo – 50 % Arena	3.5	1.5	35.4	30.8	87.0 %
60 % Limo – 40 % Arena	3.7	1.5	33.0	29.9	90.6 %
70 % Limo – 30 % Arena	3.7	1.5	32.0	25.6	80.0 %
90 % Limo – 10 % Arena	3.8	1.6	28.7	21.1	73.5 %

Para prediseños o diseños de muros en suelo reforzado de baja altura y sometidos a cargas muertas menores, se puede tomar un valor de δ entre 0.7ϕ y 0.85ϕ, siendo 0.7ϕ el valor más conservador

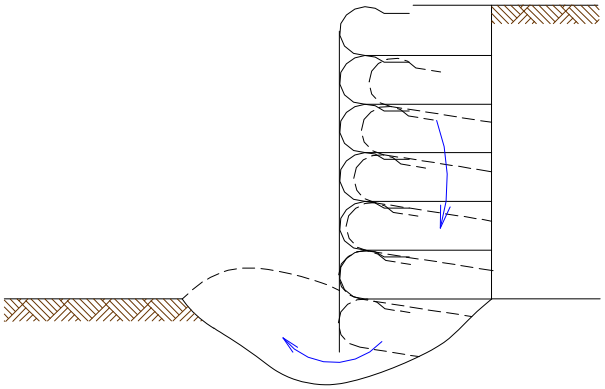
ESTABILIDAD EXTERNA



a) VOLTEO



b) DESPLAZAMIENTO



c) CAPACIDAD PORTANTE

CONSIDERACIONES DE ESTABILIDAD EXTERNA PARA MUROS REFORZADOS CON GEOSINTÉTICOS

ESTABILIDAD CONTRA EL VOLTEO

Se debe revisar que el momento producido por las fuerzas horizontales actuantes, comparadas con los momentos resistentes no vayan a ocasionar un volcamiento del muro. El análisis se hace tomando momentos en relación con el extremo inferior izquierdo de la sección transversal del muro.

$$FS_{VOL} = \Sigma \frac{\text{momentos resistentes}}{\text{momentos actuantes}} \geq 2$$

ESTABILIDAD CONTRA EL DESLIZAMIENTO

Se debe verificar que las fuerzas horizontales externas no vayan a originar un desplazamiento al muro.

$$FS_{DES} = \Sigma \frac{\text{fuerzas horizontales resistentes}}{\text{fuerzas horizontales actuantes}} \geq 1.5$$

CAPACIDAD PORTANTE

Para garantizar la estabilidad se debe de estudiar además el comportamiento del subsuelo ante las solicitaciones a las que se ve sometido.

Como además de la componente gravitacional del peso del muro se va a tener una competente horizontal de empuje lateral, se tendrá aplicada sobre el subsuelo una resultante oblicua. Esta deberá ser aplicada sobre el tercio central del cimiento para que no se desarrollen tensiones de levantamiento en la base del muro. Para evitar esto se debe comprobar que la excentricidad de la carga resultante no sea mayor a L/6.

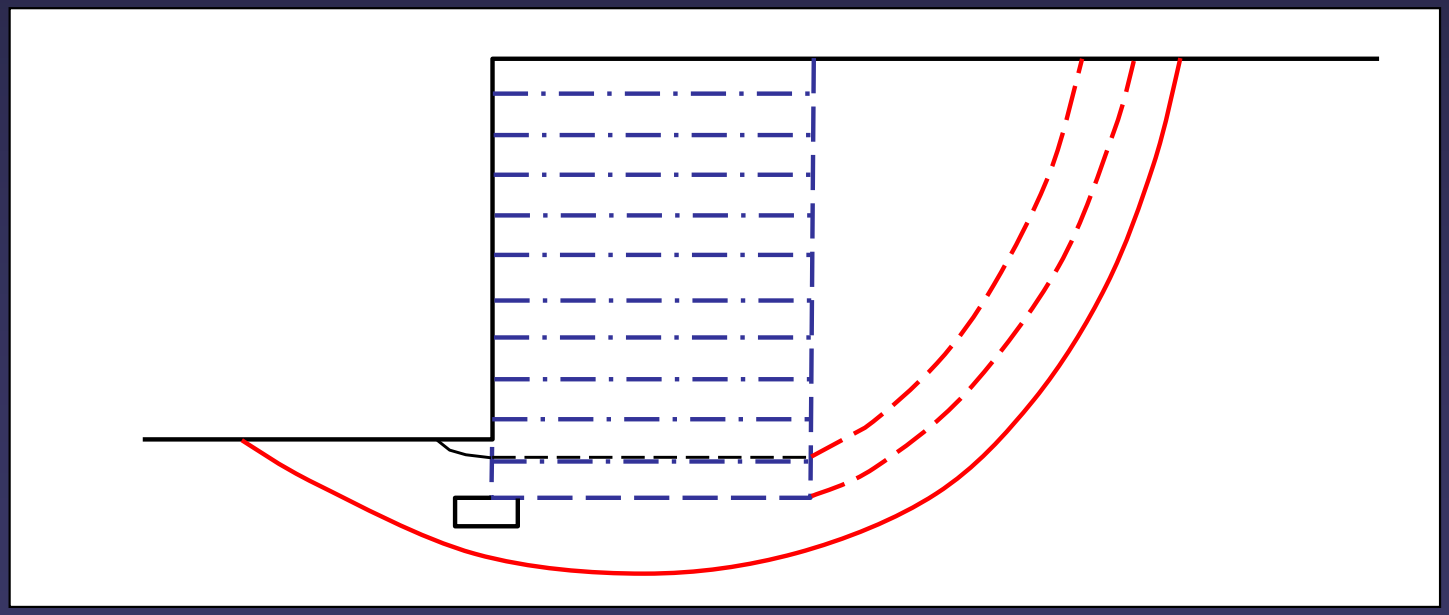
Según Rivera, L. en estructuras en las cuales exista la posibilidad de que las capas de suelo de la cimentación puedan ser socavadas o erosionadas recomienda trabajar con las siguientes profundidades mínimas con el fin de garantizarle a la estructura unas condiciones de estabilidad suficientes durante todo su período de diseño.

Profundidades mínimas de cimentación de muros en suelo reforzado y taludes (Rivera, 2004)

Inclinación del suelo de relleno	Mínima profundidad de cimentación
Horizontal	H/20
3H : 1 V	H/10
2H : 1 V	H/7
3H : 2V	H/5
Para muros de estribos de puentes	H/10

ESTABILIDAD GLOBAL

Una vez diseñado el refuerzo se debe analizar la rotura del muro reforzado a través de posibles superficies de rotura circulares y planas. Hay que tener en cuenta que, en este análisis, la masa de suelo reforzado ya no se va a comportar como un bloque rígido, como en los casos anteriores, sino que será susceptible de sufrir diferentes tipos de rotura a través de si misma. El factor de seguridad que se obtenga deberá ser mayor o igual a 1.5.



SUPERFICIE DE ROTURA POTENCIALES EN MUROS REFORZADOS

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DINÁMICO

Según Mononobe-Okabe el empuje total activo en condiciones de sismo es:

$$P_{as} = ½ K_{as} \gamma H^2 – c' (K_{as})^{1/2} H$$

Para suelos granulares:

$$P_{as} = ½ K_{as} \gamma H^2$$

El cálculo o la estimación del coeficiente de presión activo K_{as} se determina mediante las siguientes ecuaciones:

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{a_h}{1-a_v}\right)$$

$$D_A = \left[1 + \left(\frac{\operatorname{sen}(\phi' + \delta) * \operatorname{sen}(\phi' - \beta - \psi)}{\operatorname{sen}(\alpha - \delta - \psi) * \operatorname{sen}(\alpha + \beta)} \right)^{1/2} \right]^2$$

$$K_{as} = \frac{(1 - a_v) * \operatorname{sen}^2(\alpha - \phi' + \psi)}{D_{A^*} \cos\psi * \operatorname{sen}^2\alpha * \operatorname{sen}(\alpha - \delta - \psi)}$$

Donde :

α = ángulo de inclinación del trasdós

β = inclinación del suelo retenido

δ = ángulo de fricción suelo-geotextil

ϕ' = ángulo de fricción interna del material

a_h = coeficiente sísmico horizontal

a_v = coeficiente sísmico vertical

Determinada la presión activa P_{as} se puede realizar la evaluación de la estabilidad externa de la estructura. Teniendo en cuenta que en condiciones dinámicas, los factores de seguridad para deslizamiento, volcamiento y estabilidad interna son los menores que en condiciones estáticas.

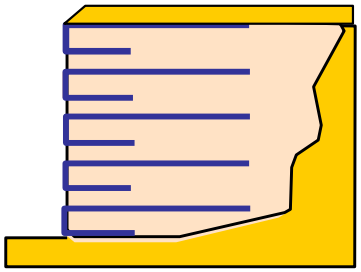
Tipo de Análisis	Factor de seguridad
Deslizamiento	**1.125**
Volcamiento	**1.5**
Estabilidad Global	**1.1**

FACTORES DE SEGURIDAD PARA ANÁLISIS SÍSMICO

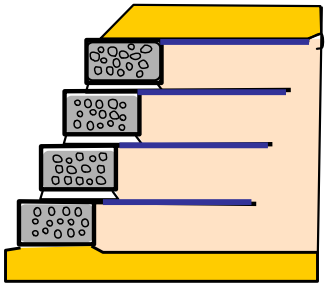
DISEÑO DE LA CARA DEL TALUD

La construcción mediante refuerzo con geosintético da la posibilidad de escoger entre distintos diseños de la cara del muro según las exigencias técnicas y estéticas que se quieran alcanzar. El éxito en la construcción de un muro reforzado con geosintético depende en gran medida del tipo de paramento escogido.

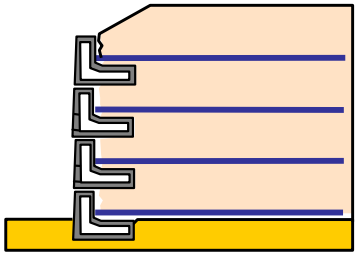
Dicho paramento puede ir instalándose conforme avanza la construcción del muro mediante la unión del geosintético a los elementos constitutivos de la cara del muro.



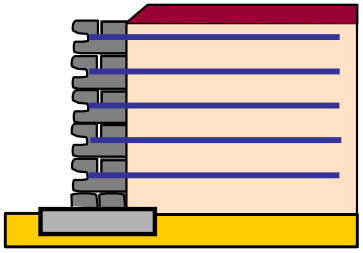
Geotextil Visto en Vertical



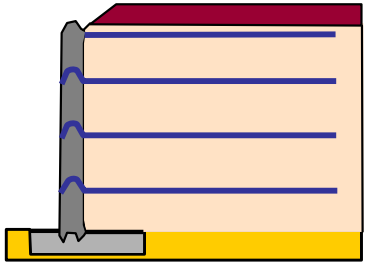
Geotextil con Gaviones

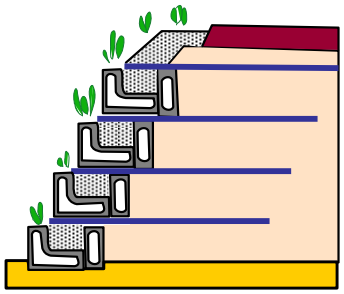


Superficie Vista con Elementos Prefabricados de Hormigón en Vertical



Mampostería Vertical





Superficie con Piezas Prefabricadas de Hormigón

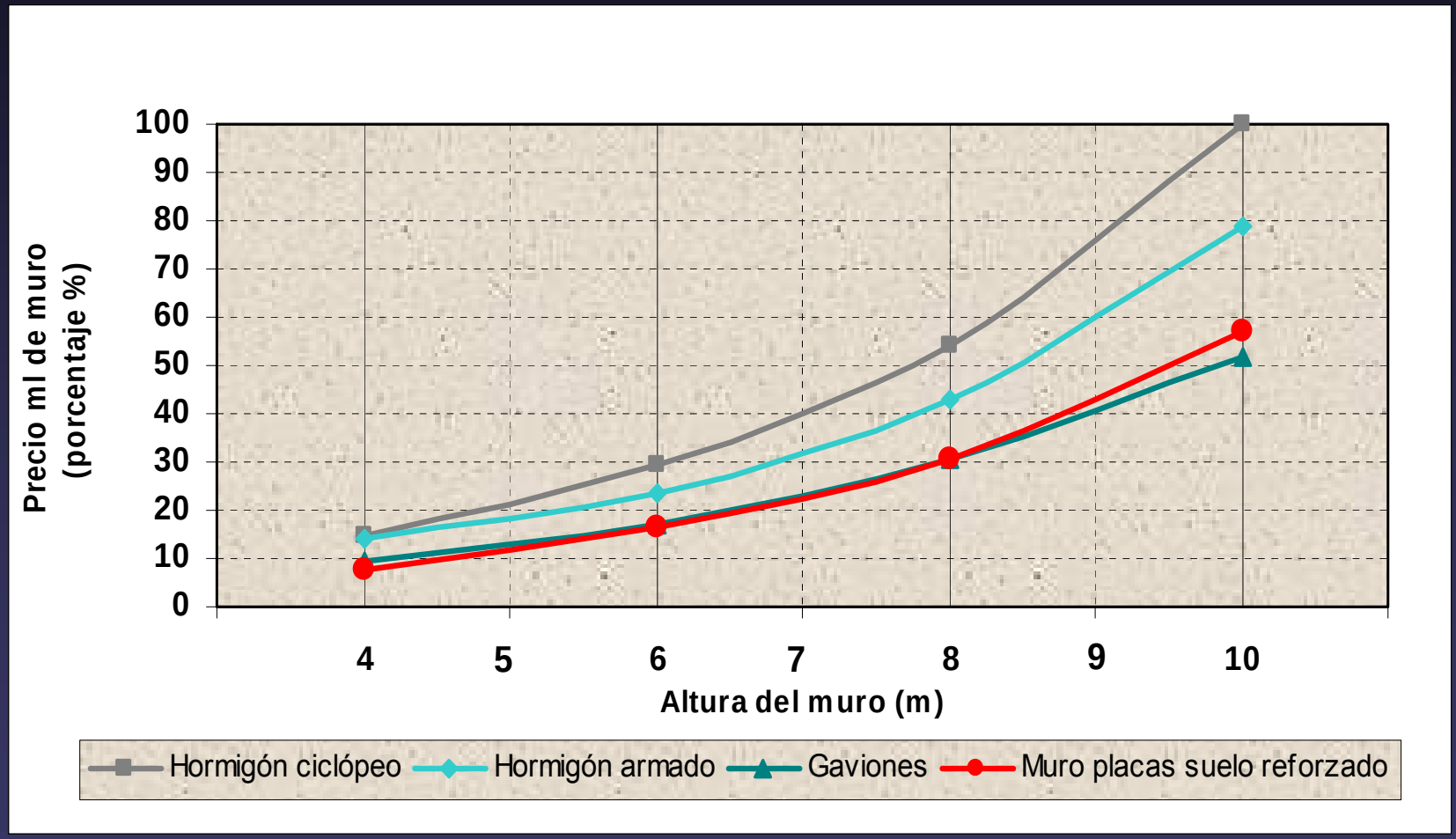
POSIBILIDADES DE CONSTRUCCIÓN SIMULTÁNEA DE MURO Y PARAMENTO

13 11 2004

EXIT 104
17
92
Sanford
1 MILE

30
5 12 2003

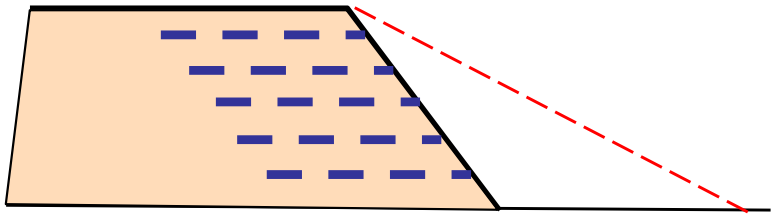
ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECIOS



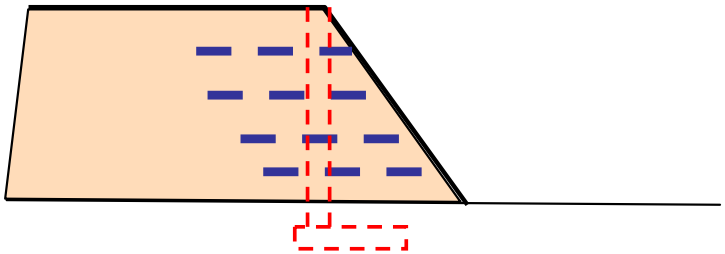
TALUDES REFORZADOS CON GEOSINTÉTICOS

El refuerzo con geosintéticos puede ser usado para mejorar la estabilidad de los taludes y terraplenes, haciendo posible su construcción con ángulos más pronunciados.

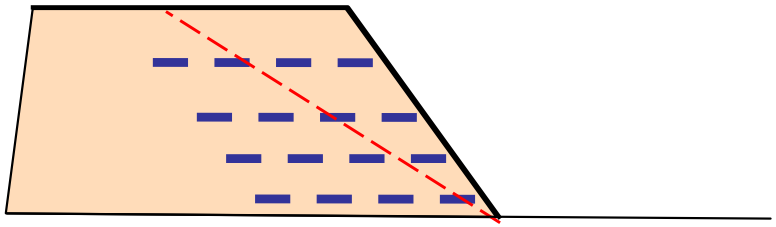
Los taludes reforzados son estructuras las cuales presentan dos importantes diferencias con respecto a los muros en suelo reforzado: la primera de ellas es la inclinación del relleno con respecto a la horizontal la cual es inferior a los 70° y la segunda diferencia es el modelo de superficie de falla que se asume para efectos de diseño del refuerzo la cual es de geometría circular, según los modelos de falla Coulomb, Bishop Circular, Janbu Circular, etc, mientras que el modelo de superficie de falla que se asume cuando se diseñan muros en suelo reforzado es el modelo de cuña de falla Rankine ($45° + \phi/2$).



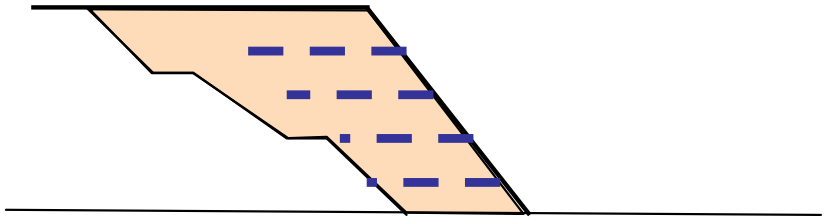
a) Reducción del volumen de relleno



b) Alternativa para evitar la construcción de muros de contención rígidos

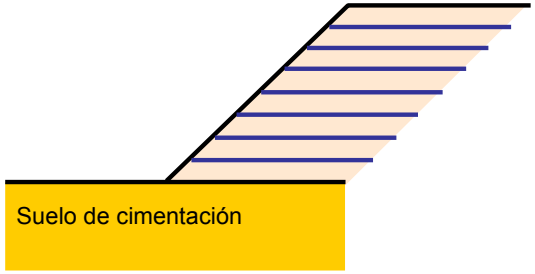


c) Obtención de área plana adicional

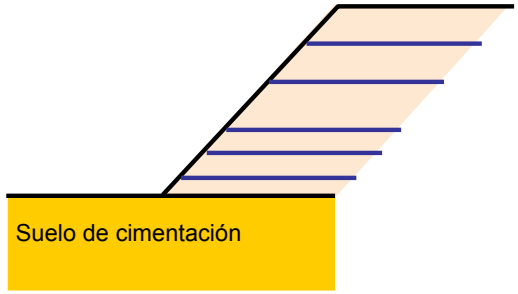


d) Reconstrucción de taludes en deslizamientos

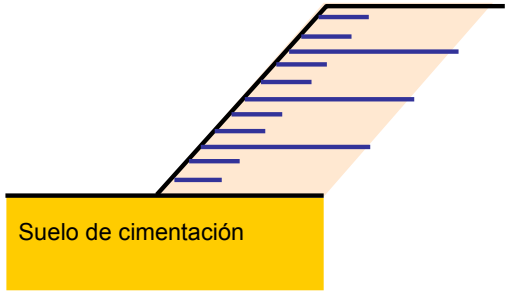
BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE GEOTEXTILES EN LA CONSTRUCCIÓN DE TALUDES DE TERRAPLENES



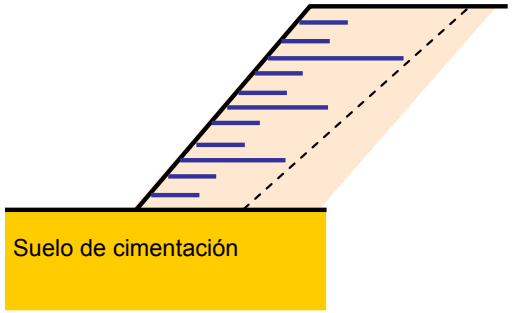
(a) Espaciado uniforme-longitud uniforme



(b) Espaciado no uniforme-longitud uniforme



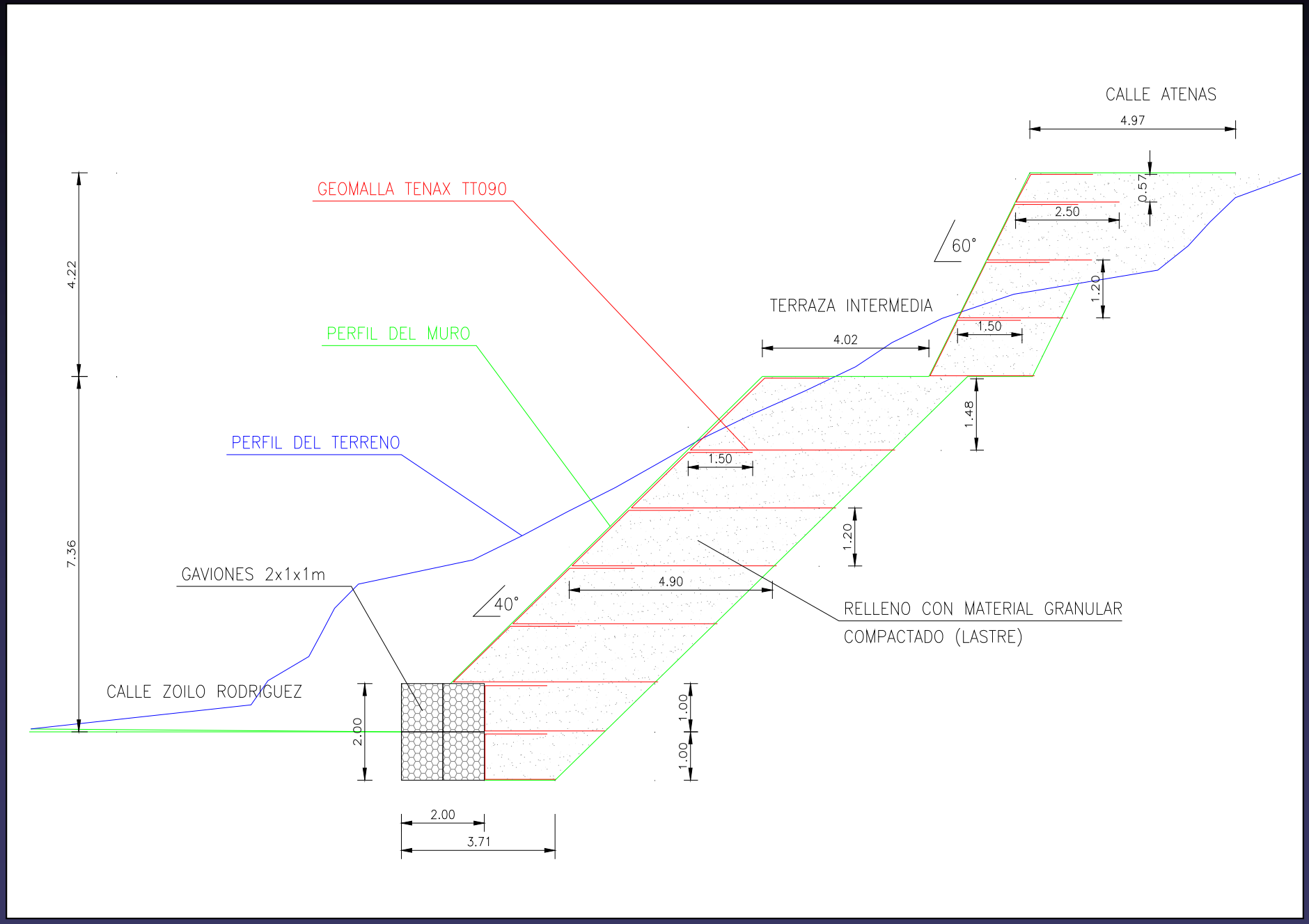
(c) Espaciado uniforme-longitud uniforme con capas de revestimiento cortas

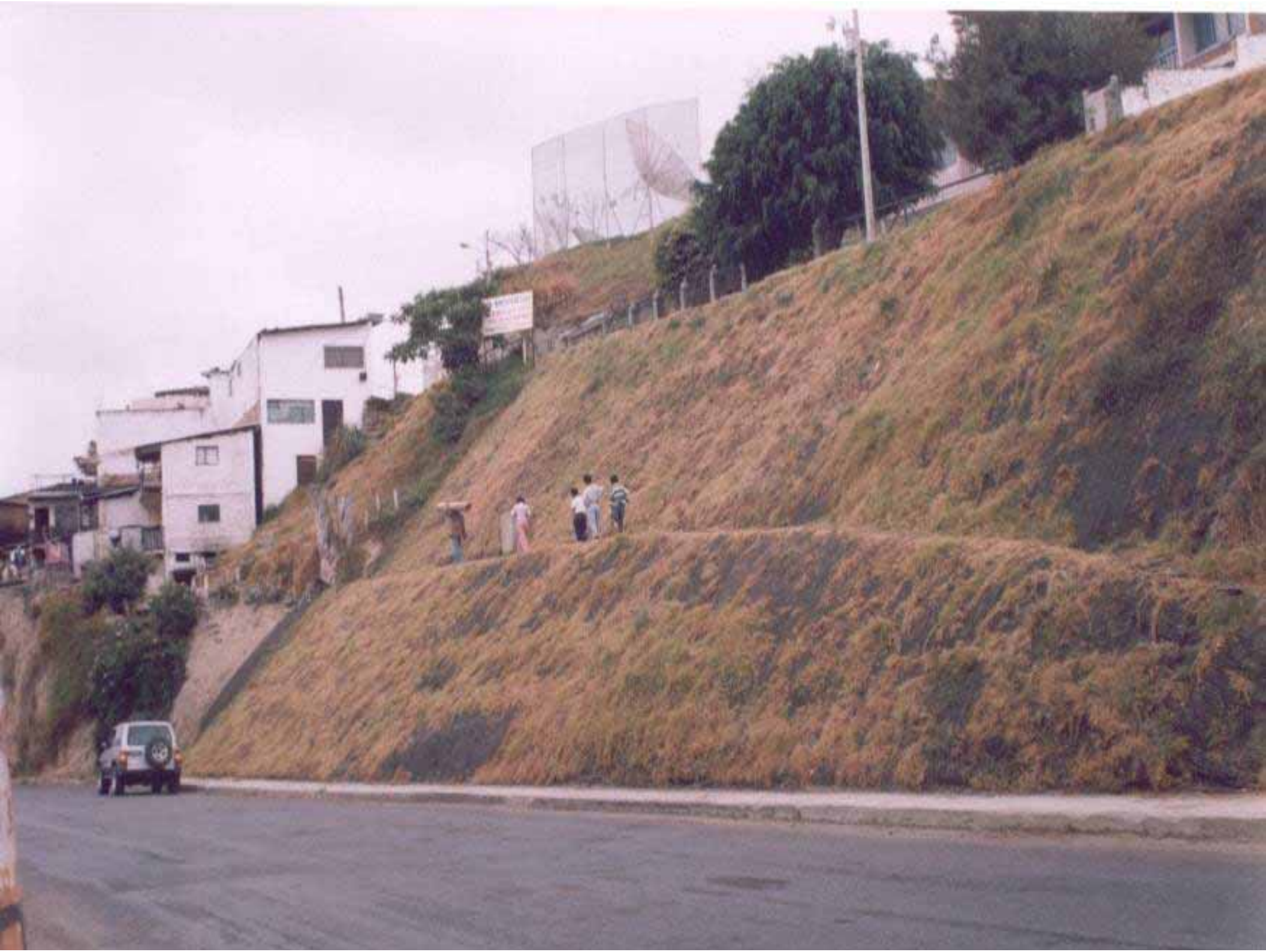


(d) Espaciado uniforme- longitud no uniforme con capas de revestimiento cortas

DIFERENTES ESQUEMAS DE DISPOSICIÓN DE LOS GEOTEXTILES PARA ESTABILIZAR TERRAPLES POCO INCLINADOS DE SUELO, SOBRE CIMENTACIONES FIRMES

REFORZAMIENTO DEL TALUD





CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La metodología consiste en determinar por los métodos clásicos de equilibrio límite el factor de seguridad de la superficie potencial de falla (más crítica o más probable) que presentan los taludes del terraplén.

Los geotextiles tejidos al tener la capacidad de asumir esfuerzos de tracción, desarrollan fuerzas resistentes por detrás de la superficie de falla, gracias al esfuerzo de corte que se genera entre el geotextil y el suelo, tal efecto hace que se desarrolle una fuerza estabilizadora adicional a las determinadas normalmente y como resultado final el factor de seguridad ante la falla aumenta.

Una vez determinado el factor de seguridad del talud reforzado con la superficie potencial de falla en estudio, se revisa la factor de seguridad de la superficie potencial de falla para las condiciones de refuerzo establecidas.

1. Establecer los parámetros de diseño del geotextil a usar como refuerzo. (resistencia a la tracción método tira ancha, criterios de durabilidad, interacción suelo - refuerzo)

2. Determine el factor de seguridad del talud no reforzado

3. Determinar el refuerzo necesario para estabilizar el talud

4. Chequear la estabilidad externa

5. Establecer los sistemas de drenaje y subdrenaje del terraplén

PARÁMETROS DE DISEÑO DEL GEOTEXTIL DE REFUERZO

Tracción disponible del geotextil, (T_{adm}) :

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS}$$

$$FS = FR_{ID} \times FR_{FL} \times FR_{DQB}$$

Donde:

T_{ult} = resistencia última del geotextil por el método de la tira ancha (ASTM D 4595)

T_{adm} = resistencia a la tracción disponible del geotextil

FR_{ID} = factor de reducción por daños de instalación

FR_{FL} = factor de reducción por fluencia o creep

FR_{DQB} = factor de reducción por degradación química y biológica

Resistencia Pullout

$$FS_P = P_R / T_{req}$$

$$FS_P = (2 * L_e * F * \alpha * \sigma_v) / T_{req}$$

Donde:

T_{req} = resistencia Pullout requerida

P_R = resistencia Pullout por unidad de ancho de refuerzo

L_e = longitud de empotramiento, (longitud del geotextil detrás de la superficie de falla)

F = factor de resistencia Pollout (es obtenido en ensayos Pullout con el suelo y el geotextil que se va a usar para cada caso en particular, puede usarse como valor conservativo F= 2/3 tan ϕ

α = factor de transferencia de esfuerzo por efecto de escala

σ_v = esfuerzo vertical total

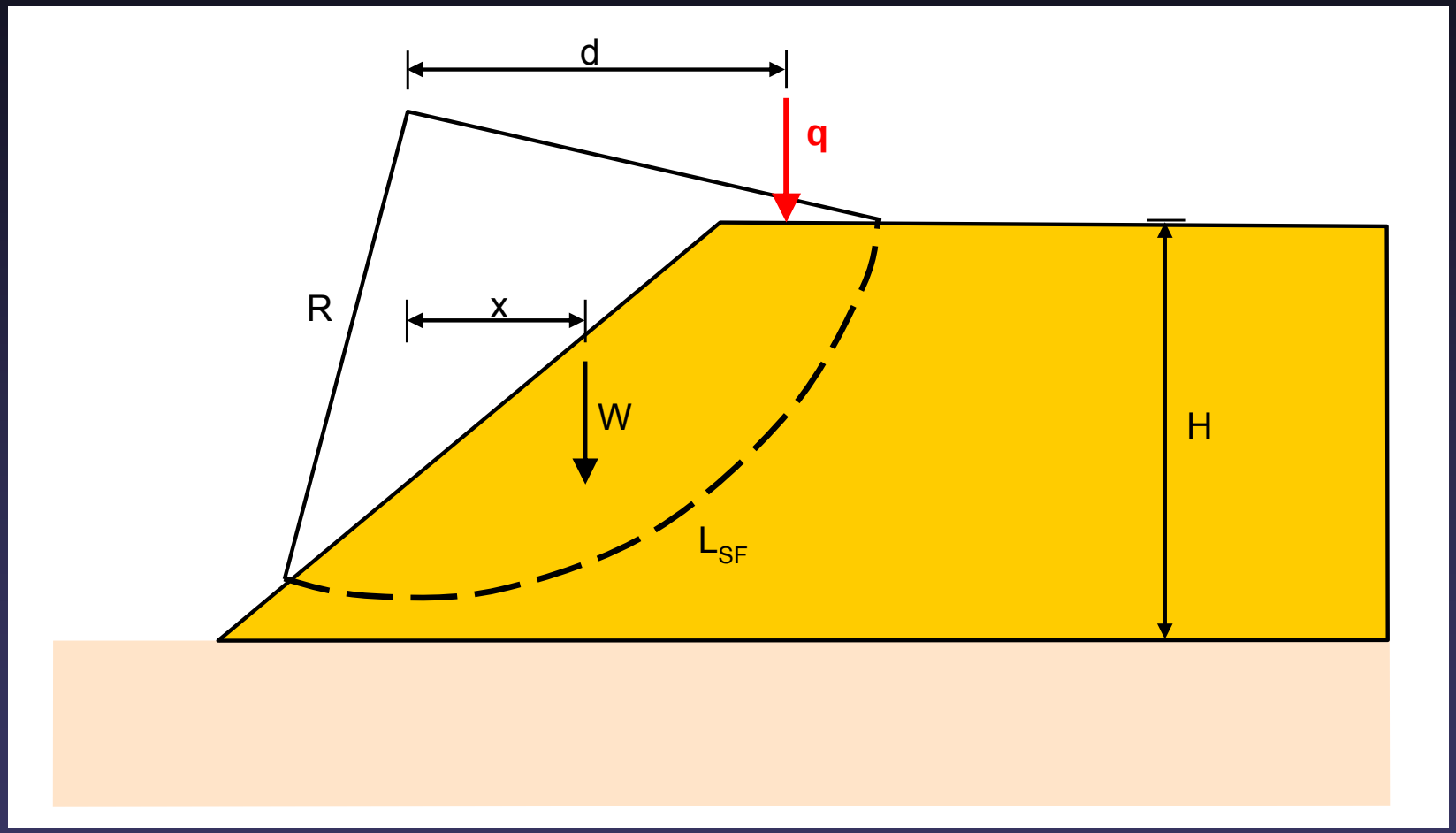
A este dato se le aplica un factor de seguridad de 1.5 para suelos granulares y de 2.0 para suelos cohesivos

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DEL TERRAPLÉN SIN REFUERZO

Los análisis de estabilidad se realizan con metodología convencional por medio de análisis de equilibrio límite en donde se determina el factor de seguridad más crítico de las superficies potenciales de falla y la zona crítica a reforzar así como los momentos movilizantes.

Varios programas de cómputo facilitan la determinación de las superficies potenciales de falla y la zona crítica a reforzar.

No sólo se debe analizar la superficie de falla más crítica, también la zona de falla conformada por todas aquellas superficies de falla que presentan un factor de seguridad menor a 1.5.



ESQUEMA DE SUPERFICIE DE FALLA

DISEÑO DEL REFUERZO NECESARIO PARA LA ESTABILIDAD DEL TALUD

1. Se tienen en cuenta las superficies de falla con factores de seguridad menores a 1.5, determinados en un programa de estabilidad de taludes o trazando superficies de falla y aplicando la ecuación de equilibrio límite como:

$$FS = \frac{\Sigma \text{ Momentos Resistentes}}{\Sigma \text{ Momentos Desestabilizante}}$$

$$FS = (\tau * L_{sf} * R) / (W * x + q * d)$$

Donde:

τ	=	resistencia al corte del suelo
L_{sf}	=	longitud de la superficie de falla
R	=	radio
W	=	peso del segmento de tierra
q	=	sobrecarga

2. Cálculo del momento desestabilizante M_D y el momento resistente M_R para la superficie de falla que se está diseñando el refuerzo:

$$M_D = W * x + q * d$$

$$M_R = M_D * FS_U$$

$$M_R = (W * x + q * d) * FS_u$$

Donde:

M_D = momento desestabilizante

M_R = momento resistente

FS_U = factor de seguridad, calculado en el programa de estabilidad u obtenido manualmente trazando superficies de falla

3. Cálculo de la fuerza total a la tensión que suministra el refuerzo T, requerida para obtener el factor de seguridad de talud reforzado $FS_R = 1.5$

$$T_{total} = [(FS_R - FS_U) * M_D] / R$$

Donde:

FS_R = factor de seguridad requerido (Normalmente es 1.5)

FS_U = factor de seguridad del talud sin refuerzo

R = radio de la superficie de falla

4. Fuerza necesaria que debe suministrar cada capa de geotextil

$$T_g = T_{total} / \text{espaciamientos requeridos}$$

Repetir lo anterior hasta obtener una distribución adecuada

5. Para taludes con alturas bajas (H < 6 m) se asume una distribución uniforme del refuerzo y se usa T_{total} para determinar el espaciamiento del refuerzo

   Para taludes altos (H > 6 m) se divide el talud en dos zonas de refuerzo ($T_{superior}$ y $T_{inferior}$) o en tres zonas de refuerzo ($T_{superior}$, T_{medio} y $T_{inferior}$) de iguales dimensiones y se usa la siguiente distribución de T:

   Para dos zonas:

$$T_{superio} = 3/4\ T_{total}$$
$$T_{medio} = 1/4\ T_{total}$$

   Para tres zonas:

$$T_{superior} = 1/2\ T_{total}$$
$$T_{medio} = 1/3\ T_{total}$$
$$T_{inferior} = 1/6\ T_{total}$$

6. Para cada zona, se calcula la tensión de diseño del refuerzo, T_{adm}, requerida para cada capa basada en asumir el espaciamiento S_v. Si la resistencia a la tensión es conocida, calcule el espaciamiento vertical y el número de capas de refuerzo, N, requerida para cada zona como:

$$T_g = T_{adm} * R_c$$

$$T_g = (T_{zona} * S_v) / H_{zona}$$

$$T_g = T_{zona} / N$$

Donde:

R_c = porcentaje de cubrimiento del refuerzo (R_c= 1 para planos continuos)

T_{zona} = resistencia máxima a la tensión requerida para cada zona; T_{zona} igual a T_{total} para taludes bajos (H < 6 m)

S_v = espaciamiento vertical del refuerzo

H_{zona} = altura de la zona y es igual en la parte superior, media e inferior para taludes altos (H > 6 m)

7. Cálculo de longitud de empotramiento requerida

$$L_e = (T_{adm} * FS) / (F * \alpha * \sigma_v' * 2)$$

Donde :

L_e = longitud de empotramiento, mínima de 1m

F = factor de resistencia del ensayo pullout, si no se tiene disponible el ensayo pullout use para geotextiles F = 2/3 tan ϕ

A = factor de transferencia use 0.8 a 1.0

ESTABILIDAD EXTERNA

Estabilidad al Deslizamiento

$$FS_D = \frac{\Sigma \text{ Fuerzas Horizontales Resistentes}}{\Sigma \text{ Fuerzas Horizontales Desestabilizantes}}$$

$$FS_D = [(W + P_a * \text{sen } \phi) \tan \delta_{sg}] / P_a * \cos \phi$$

$W = ½ L^2 * \gamma * \tan \beta \quad \Rightarrow \quad$ para $L < H$

$W = [L * H - H^2 / (2 * \tan \beta)] * \gamma \quad \Rightarrow \quad$ para $L > H$

Donde:

FS_D	=	factor de seguridad al deslizamiento (> 1.5)
L	=	longitud del refuerzo en la capa inferior
H	=	altura del talud
P_A	=	presión activa de tierra
δ_{sg}	=	ángulo de fricción entre el suelo de fundación y el geotextil
β	=	ángulo del talud

Estabilidad Global o Estabilidad General

El efecto de la construcción de un terraplén genera una sobrecarga en el sitio en donde se está colocando, por tal motivo es necesario revisar la estabilidad general o global del sitio con el objeto de garantizar la estabilidad del lugar o de la obra.

Este análisis se realiza por métodos clásicos de estabilidad considerando superficies de falla y evaluando factores de seguridad o probabilidades de falla.

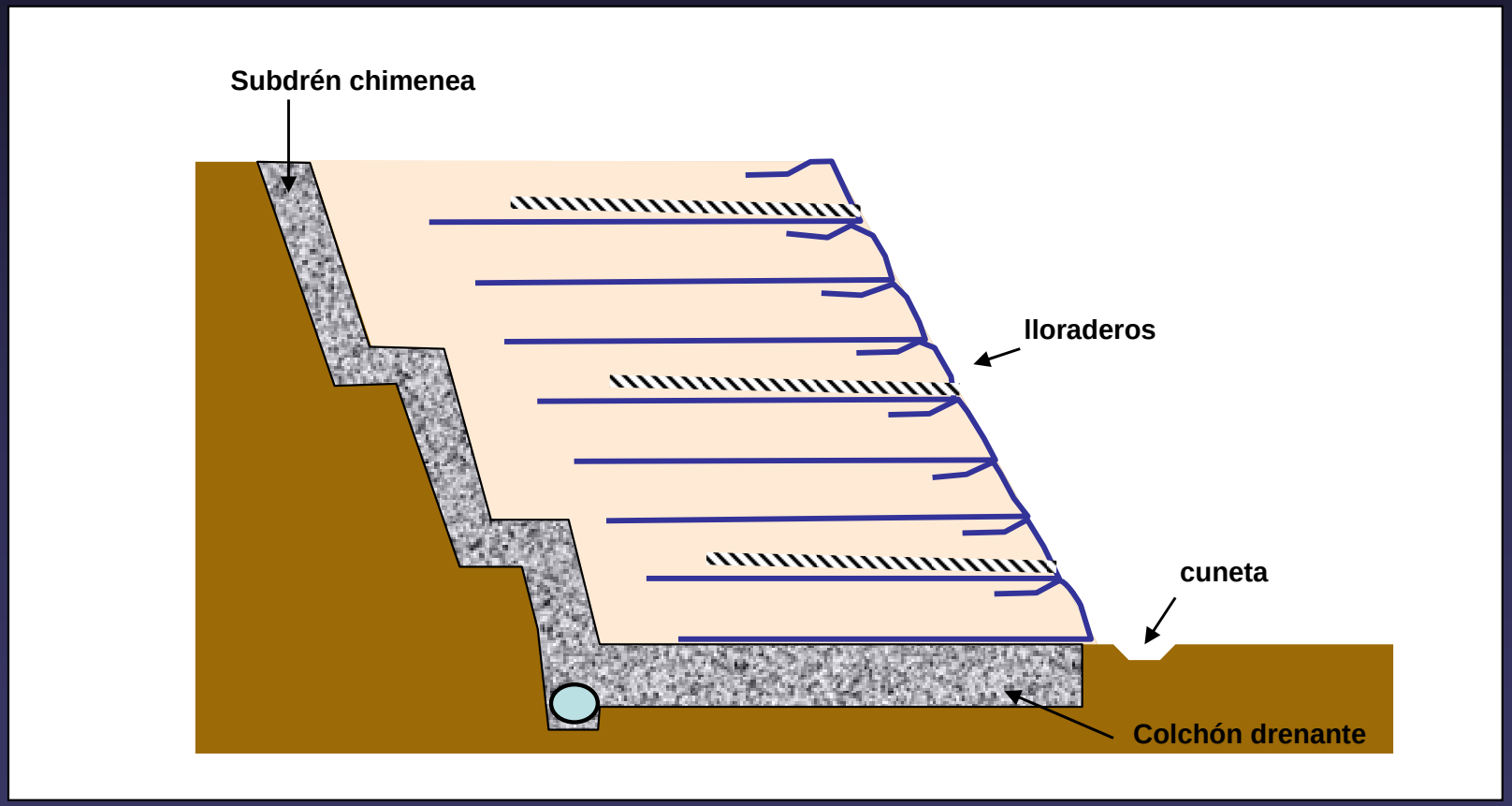
Capacidad Portante

Se debe calcular la capacidad portante última y admisible del terreno con el objetivo de compararla con la presión de contacto

Estimar la magnitud del asentamiento, usando métodos tradicionales de la geotecnia.

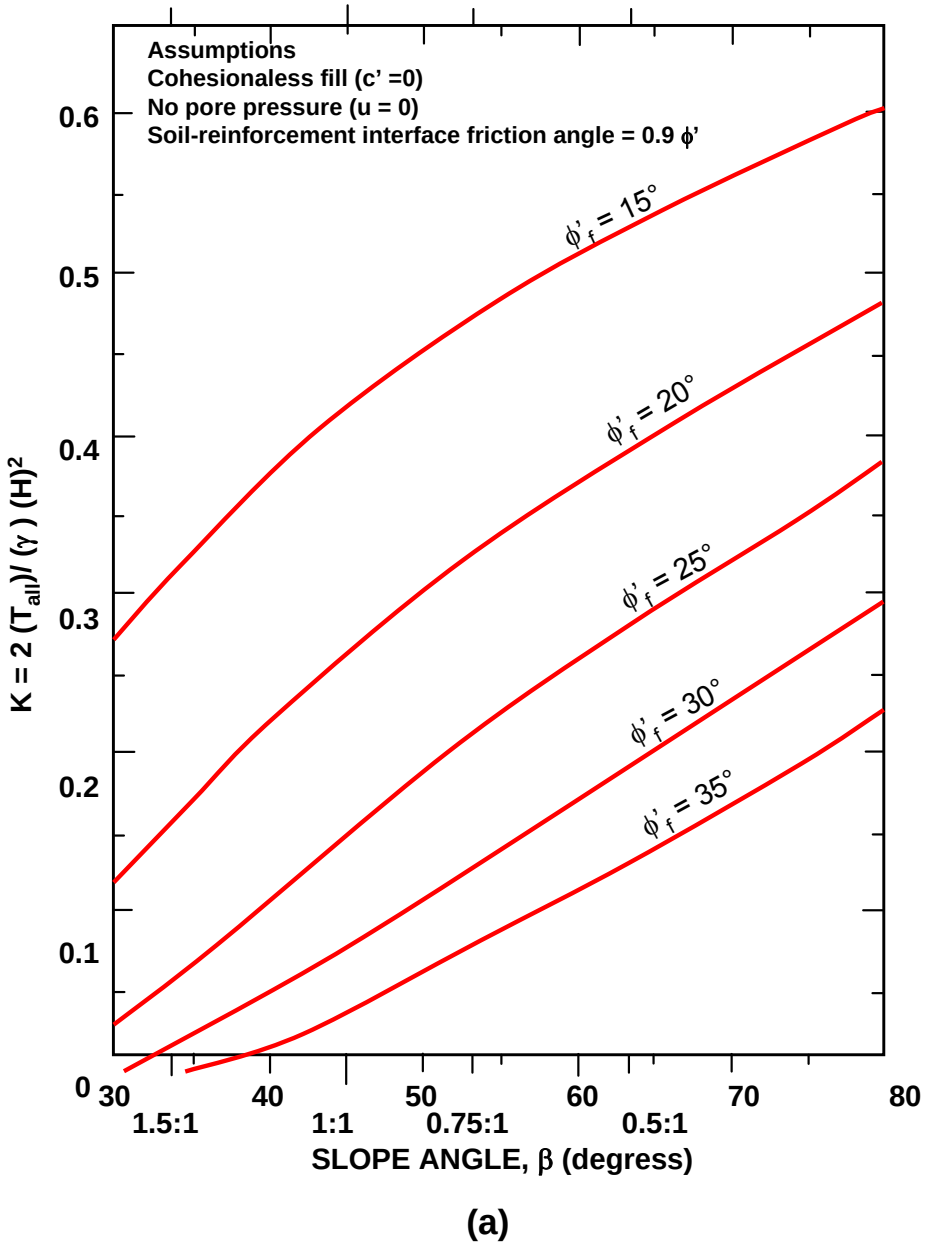
SISTEMAS DE SUBDRENAJE Y DRENAJE

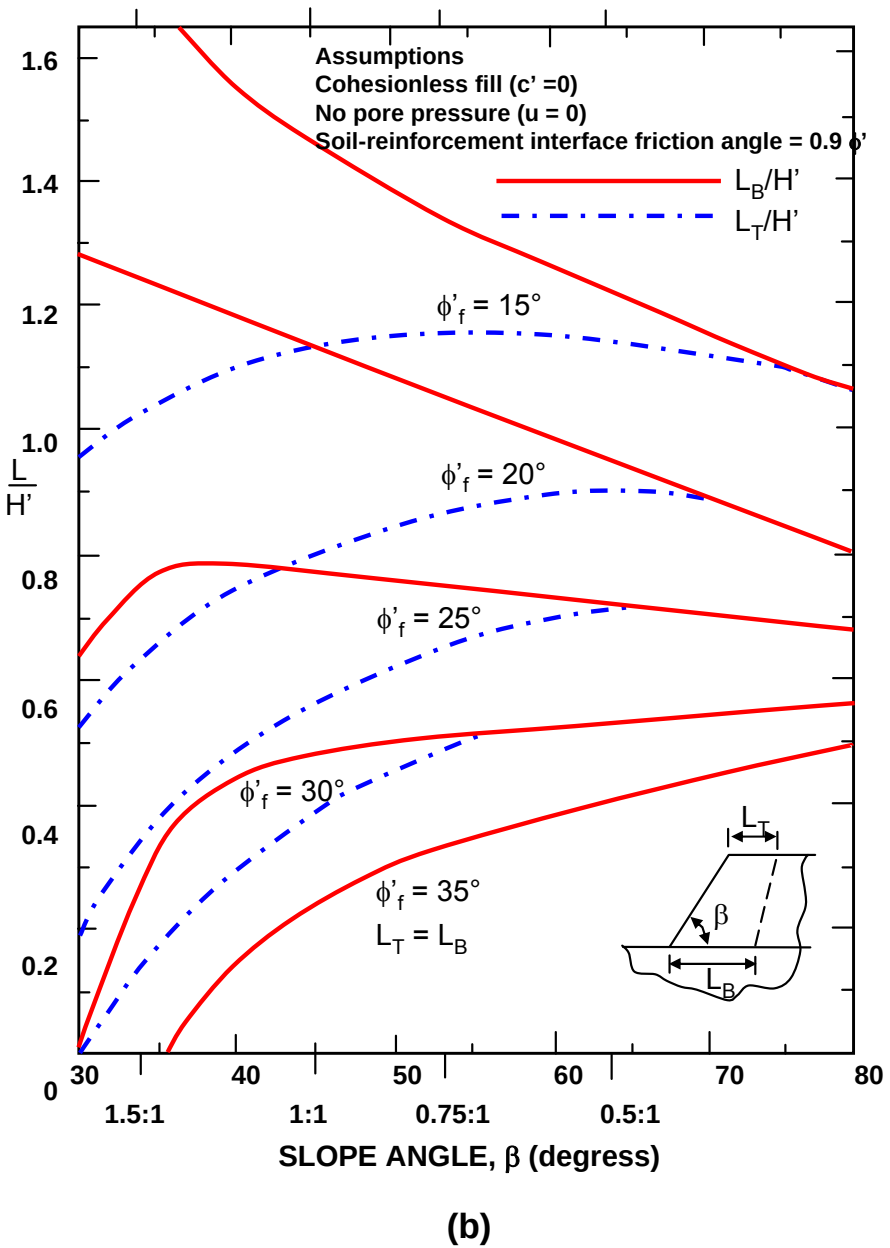
El drenaje y subdrenaje es crítico para mantener la estabilidad del terraplén



ESQUEMA DE OBRAS DE SUBDRENAJE EN UN TERRAPLÉN

GRÁFICOS DE SCHMERTMANN ET AL (1987)





(a) Coeficientes de fuerza del refuerzo (b) Coeficientes de longitud de refuerzo

$$H' = H + \frac{q}{\gamma}$$

coeficiente de fuerza adimensional

$$K = \frac{2T_{tall}}{\gamma (H')^2}$$

altura efectiva, incluido el efecto de la sobrecarga

$$\phi'_f = \arctan \frac{\tan \phi'}{F}$$

ángulo de fricción factorizado

L_B = longitud requerida de refuerzo en el fondo del talud (L)

L_T = longitud requerida de refuerzo en la parte superior del talud

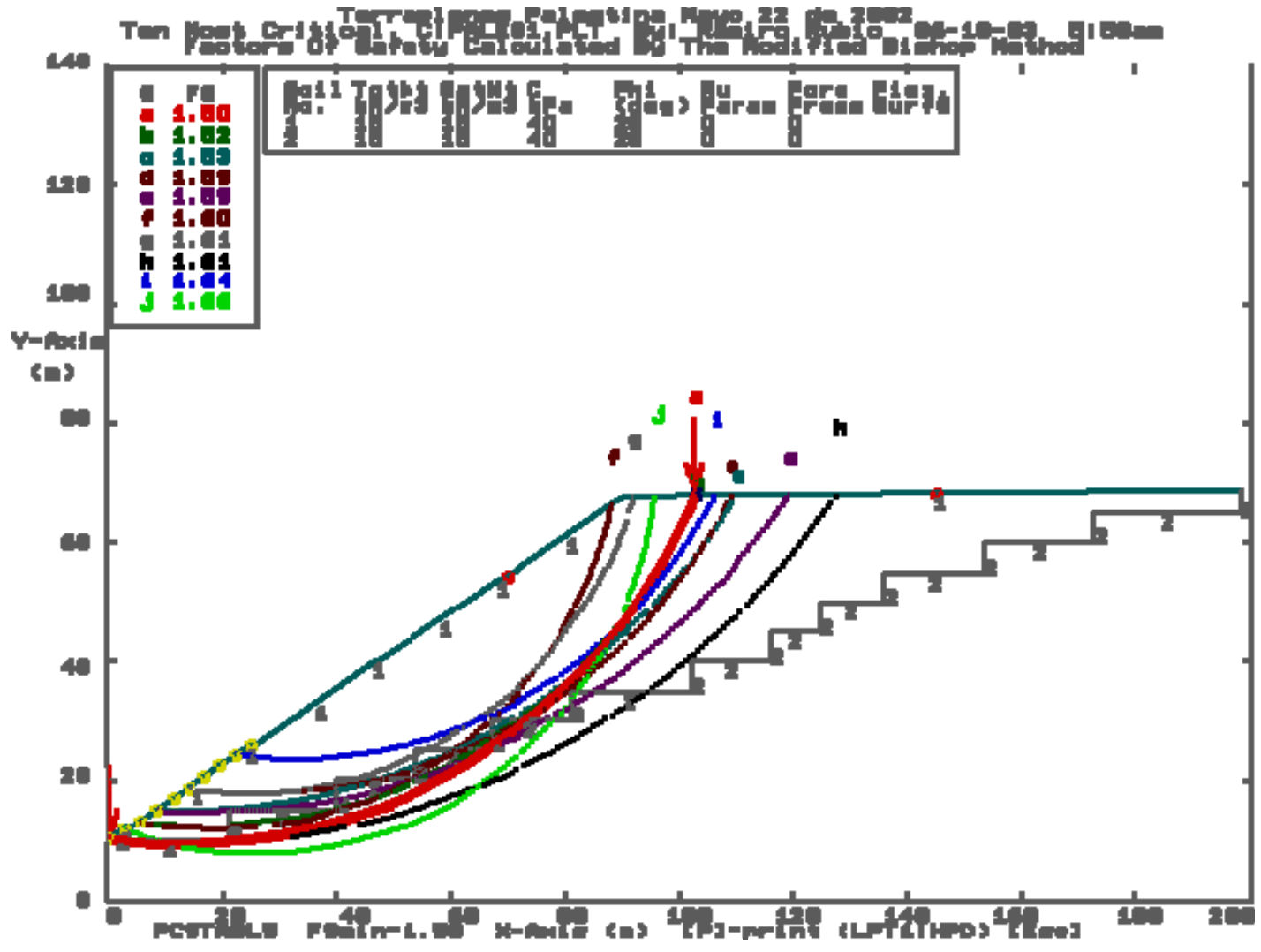
β = ángulo del talud (grados)

γ = peso unitario del suelo (F/L^3)

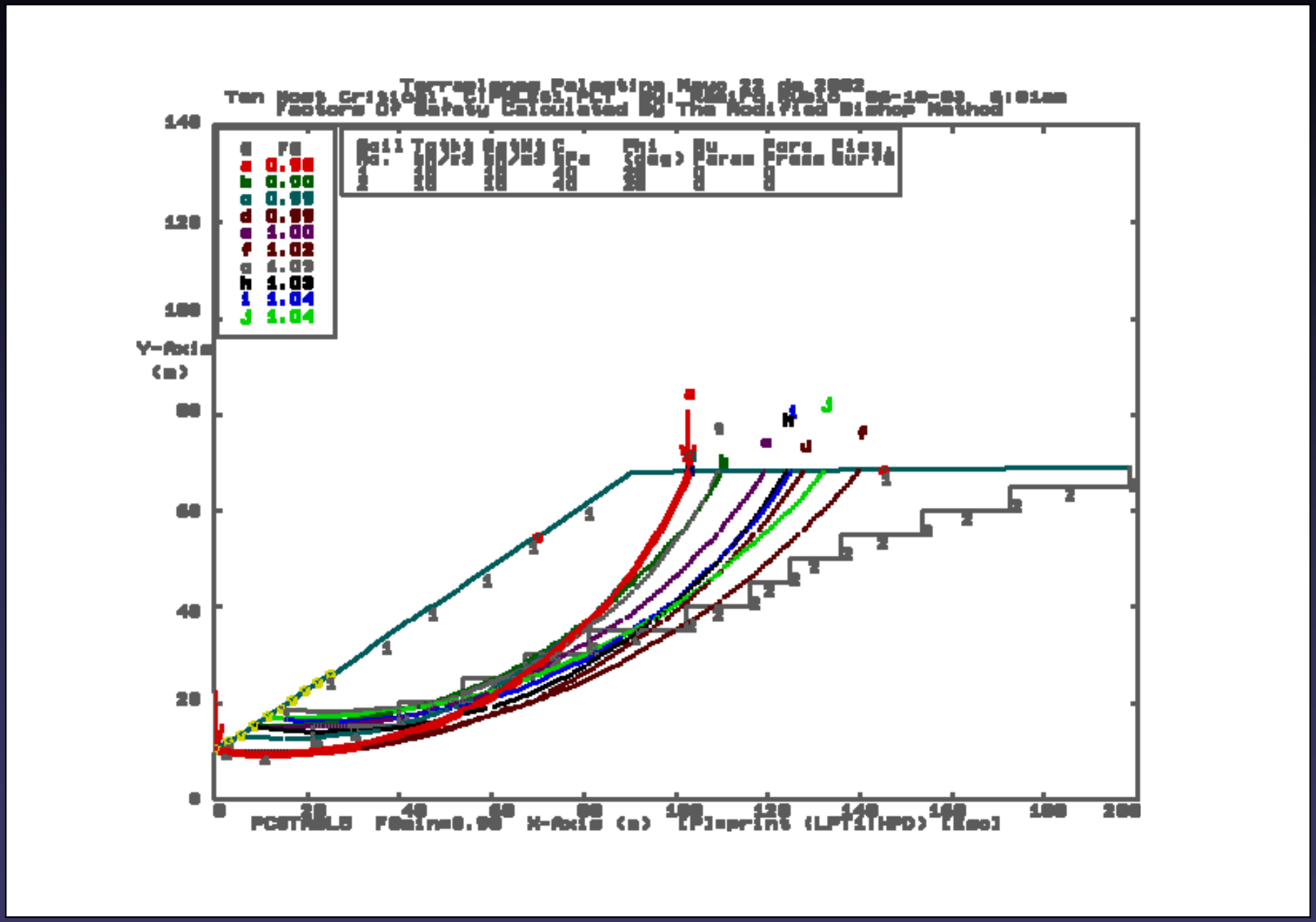
q = presión de sobrecarga (F/L^2)

u = presión de poros, asumida cero a lo largo del talud

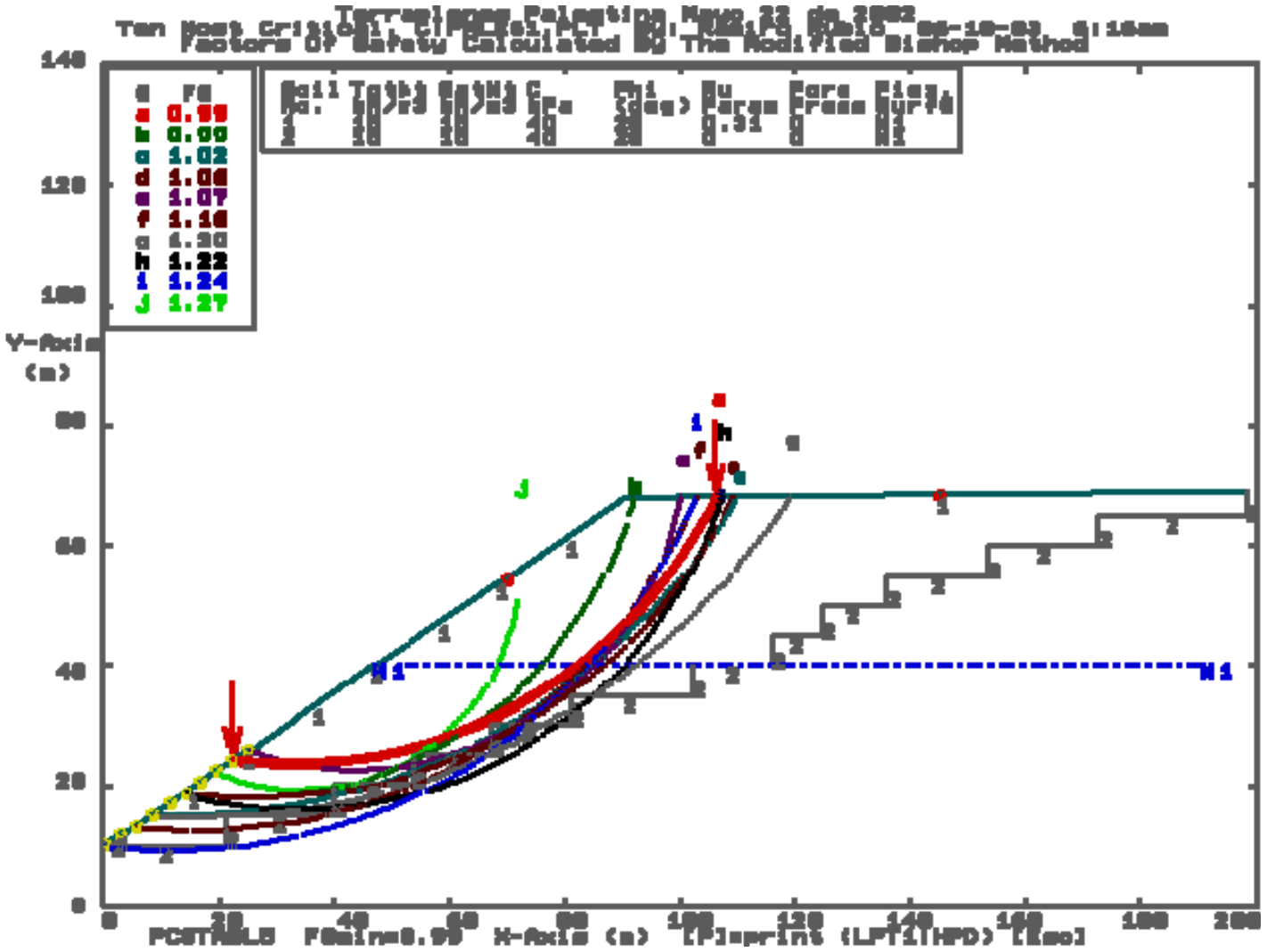
DISEÑO DE REFUERZO DE TERRAPLENES DEL AEROPUERTO DE PALESTINA



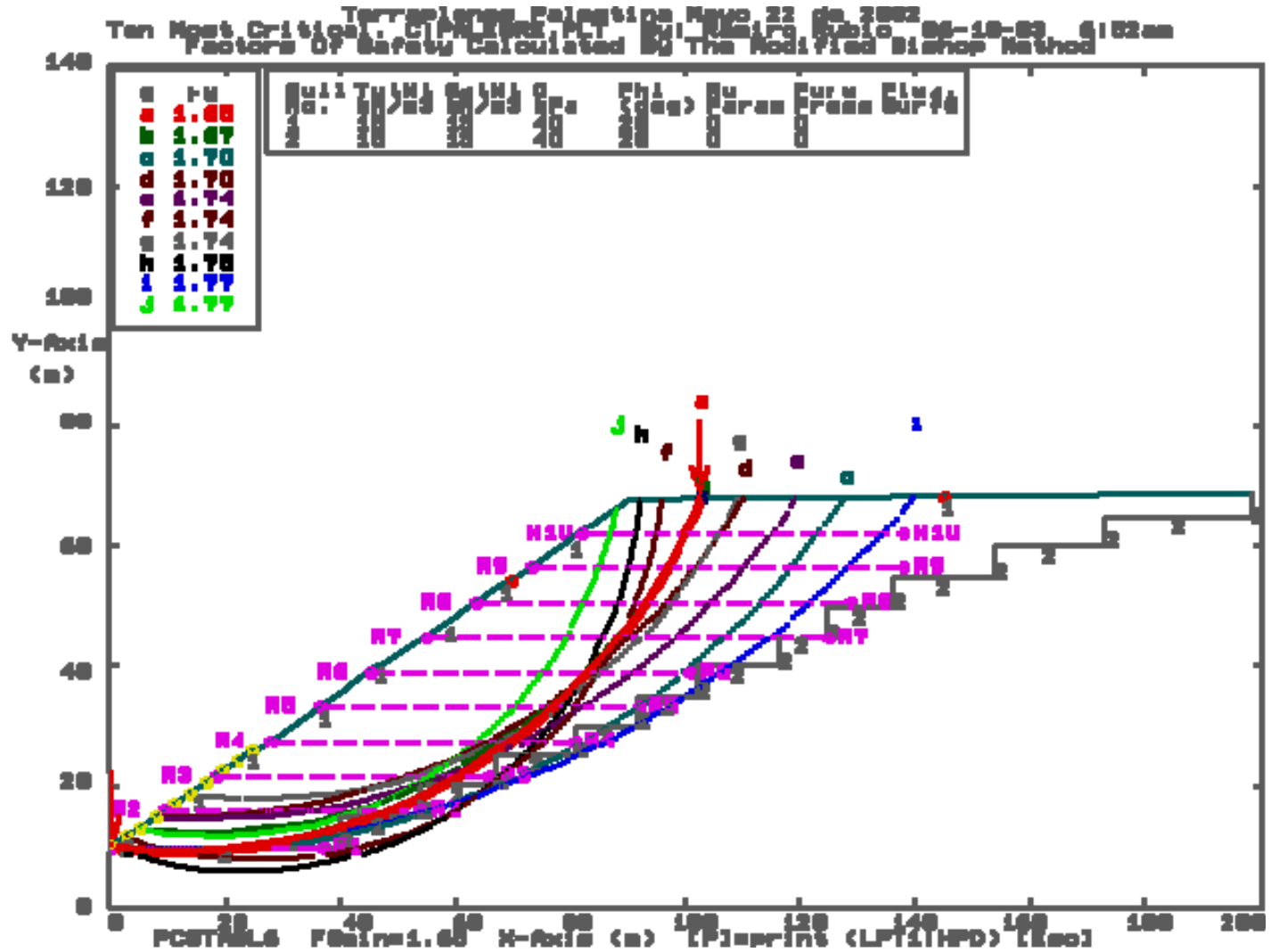
CONDICIÓN INICIAL SIN REFUERZO, SIN SISMO Y TOTALMENTE DRENADO



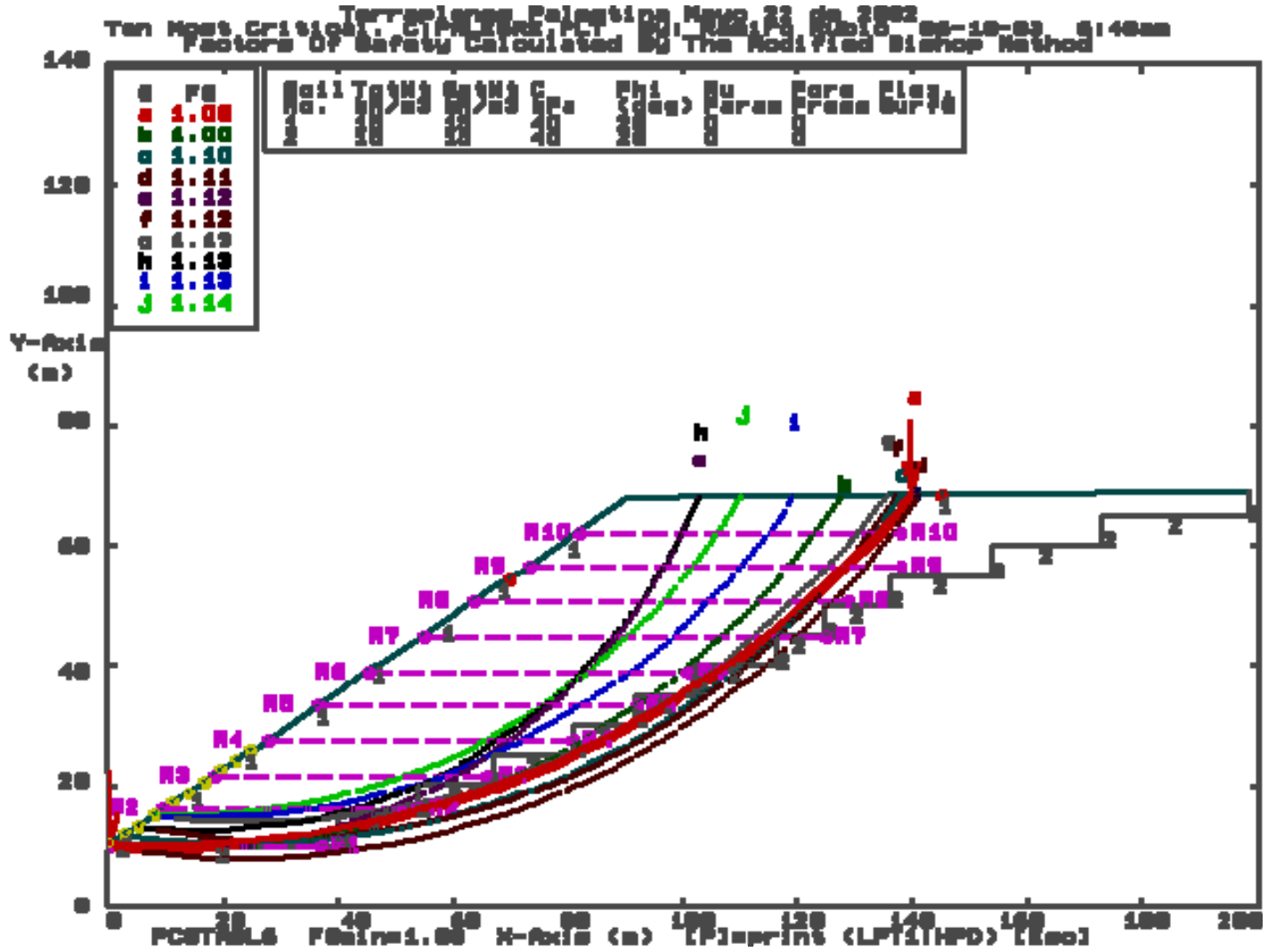
CONDICIÓN INICIAL SIN REFUERZO, CON SISMO a_H = 0.25 Y TOTALMENTE DRENADO



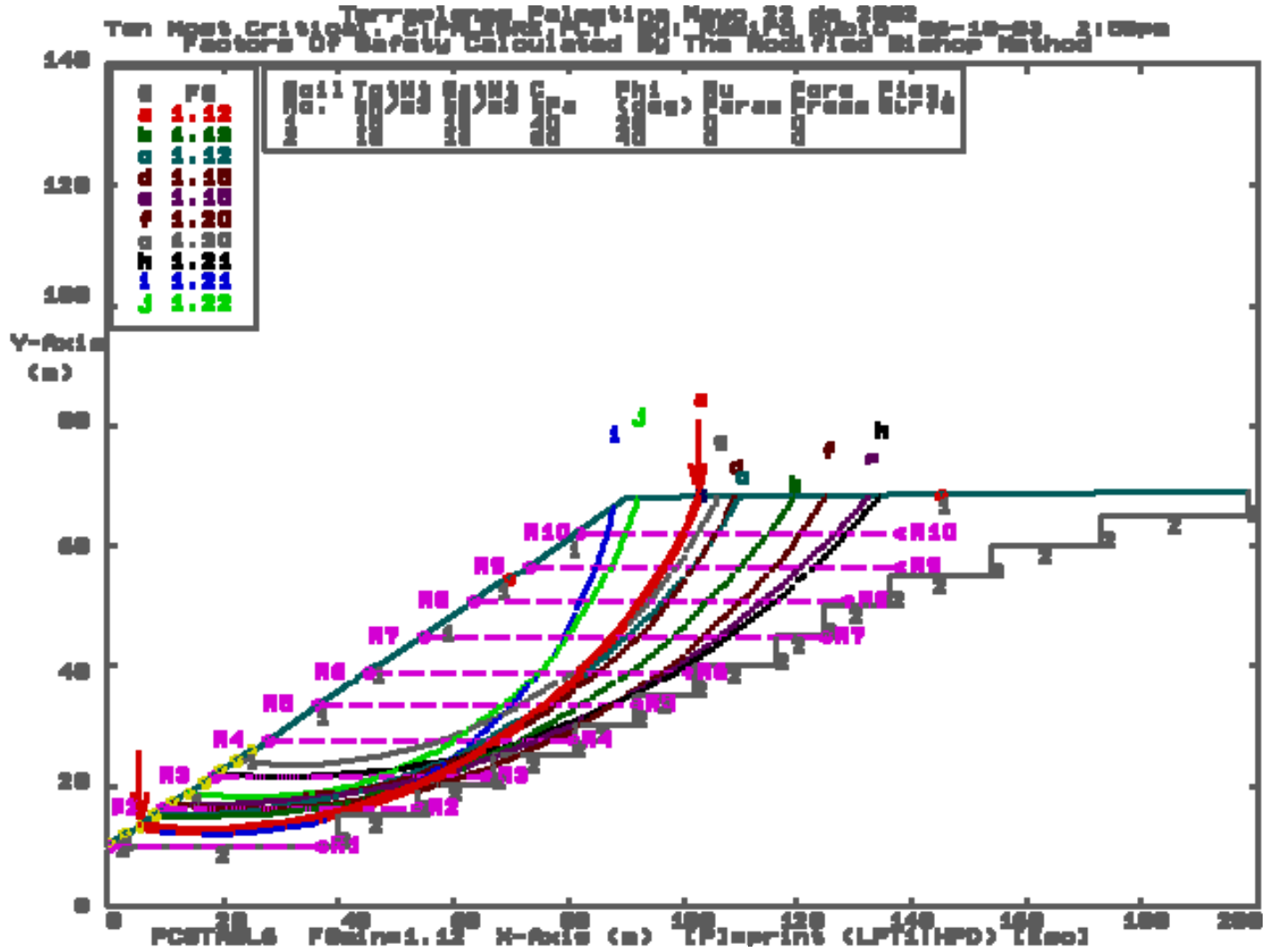
CONDICIÓN INICIAL SIN REFUERZO, SIN SISMO Y SATURADO HASTA EL 50 % DEL TERRAPLÉN



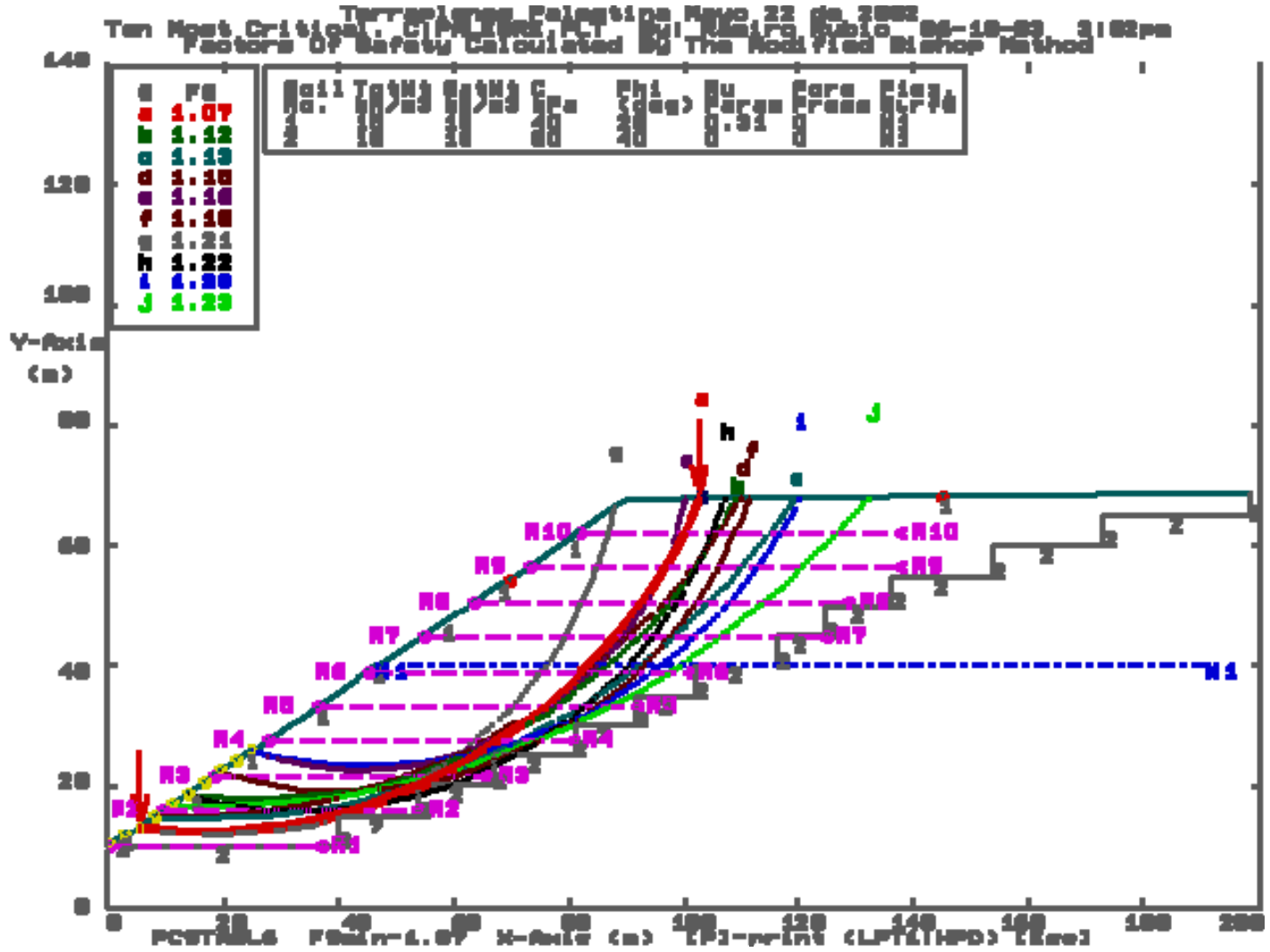
CON REFUERZO, SIN SISMO Y TOTALMENTE DRENADO



CON REFUERZO, CON SISMO a_H = 0.25 Y TOTALMENTE DRENADO



REFORZADO CON SISMO Y DRENADO (FUNDACIÓN ROCA)



REFORZADO Y SATURADO (FUNDACIÓN ROCA)

24/05/2006
PRESA TICLACAYÁN

DETALLE DE INSTALACIÓN DE GEOMALLAS

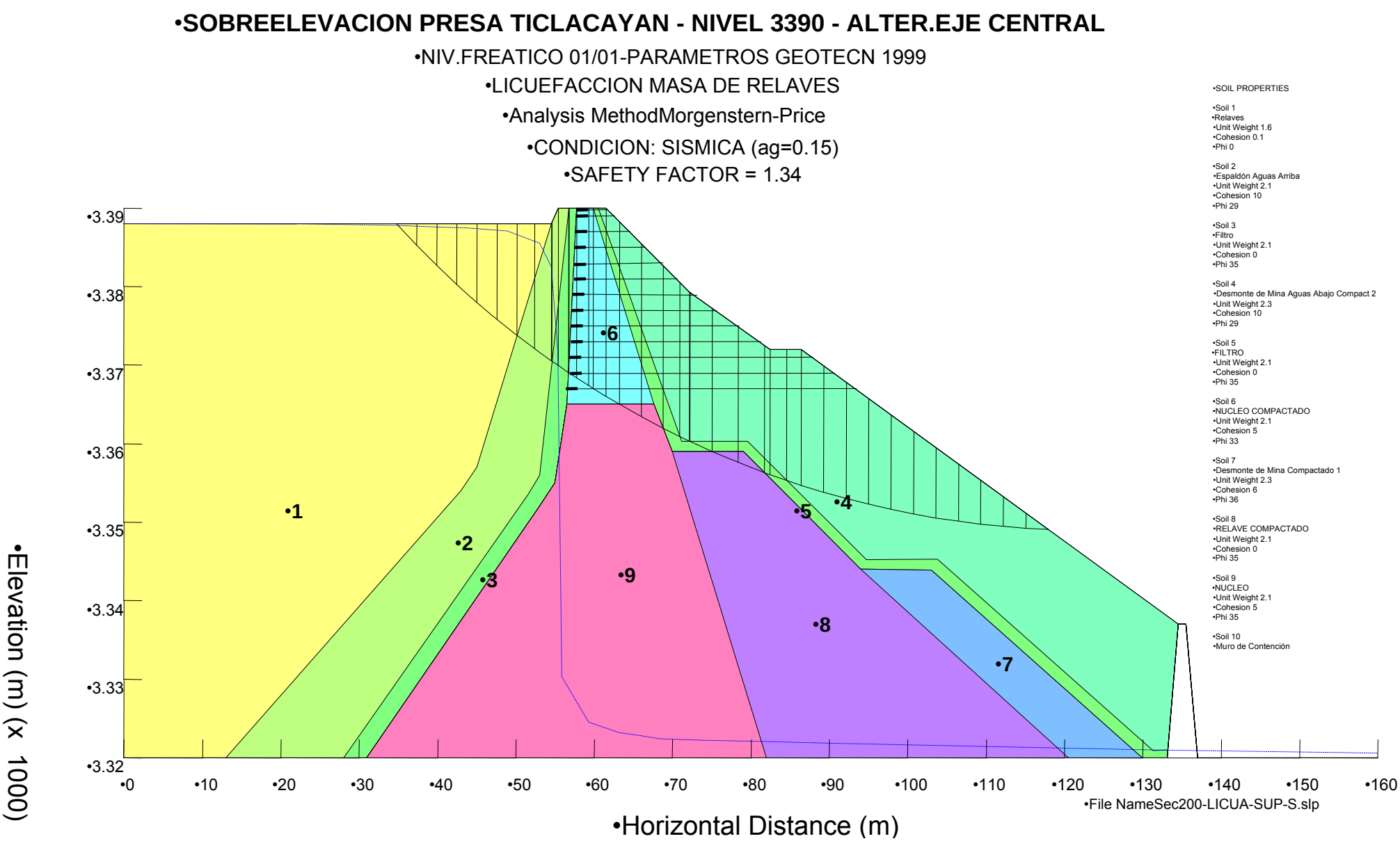
INSTALACIÓN DE GEOMALLAS EN EL NÚCLEO DE LA PRESA

CARACTERÍSTICA DE LA GEOMALLA INSTALADA EN LA PRESA

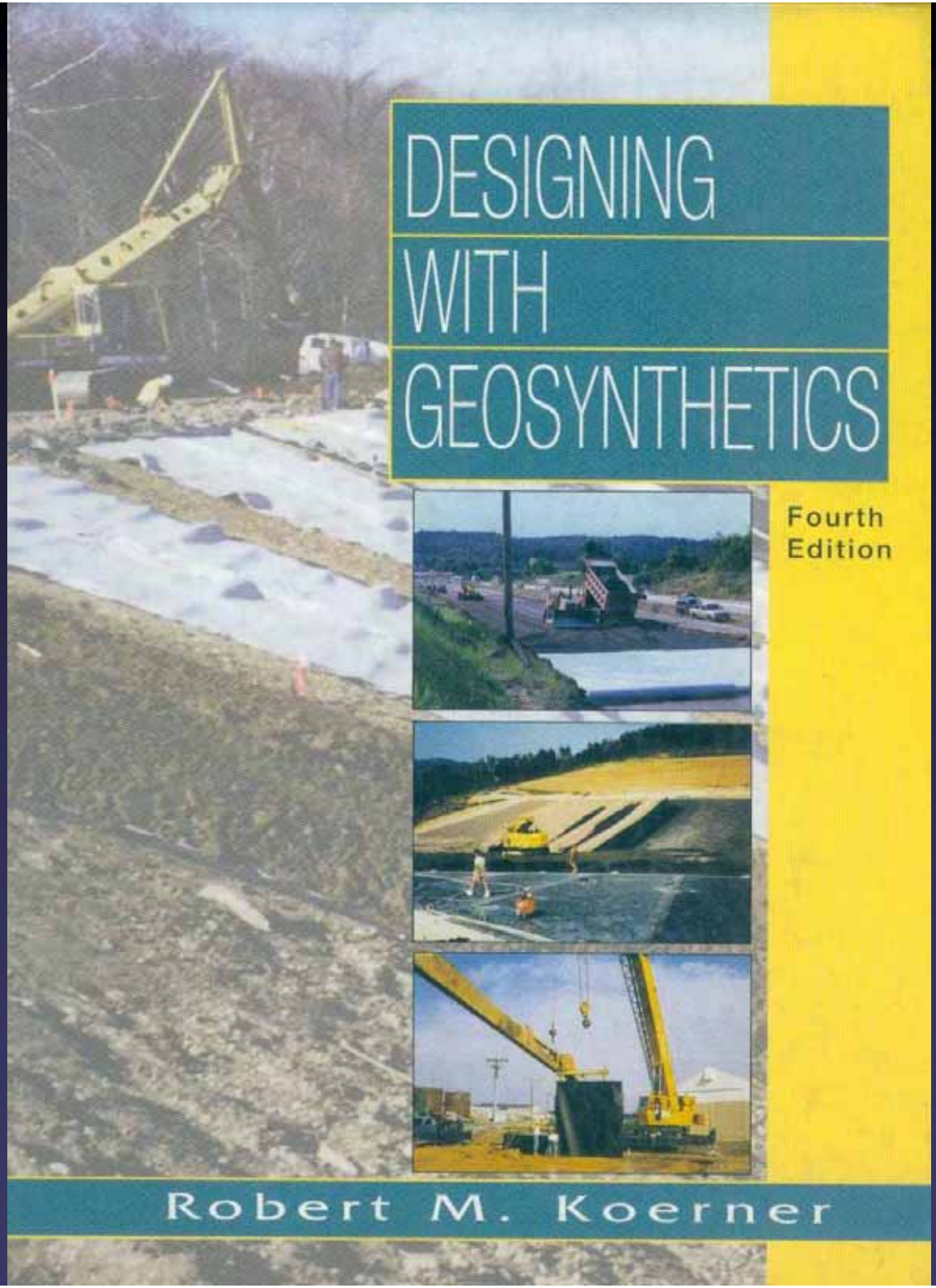
DETALLE DE INSTALACIÓN DE GEOMALLAS

PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA PRESA TICLACAYÁN

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PSEUDO ESTÁTICO DE LA PRESA TICLACAYÁN



REFERENCIAS


DESIGNING
WITH
GEOSYNTHETICS
Fourth
Edition
Robert M. Koerner

GEOSYNTHETIC ENGINEERING

Robert D. Holtz
Barry R. Christopher
Ryan R. Berg

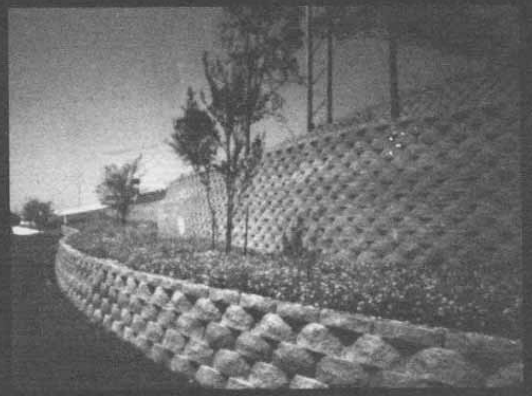
U.S. Department
of Transportation
**Federal Highway
Administration**

Publication No. FHWA HI-95-038
Revised April 1998

NHI Course No. 13213

Geosynthetic Design and Construction Guidelines

Participant Notebook



NHI *National Highway Institute*

MANUAL DE GEOSINTETICOS EN LA CONSTRUCCION DE MUROS Y TERRAPLENES

Arturo Vicente Fernández

REINFORCED SOIL AND GEOTEXTILES

PROCEEDINGS

EDITED BY

J.N. MANDAL

J. MICHAEL DUNCAN AND STEPHEN G. WRIGHT

Soil Strength and Slope Stability