



## TALLER DE MUROS MECÁNICAMENTE ESTABILIZADOS MÓDULO 2

Ing. Wilfredo Rodríguez  
EBM Tencate Geosynthetics

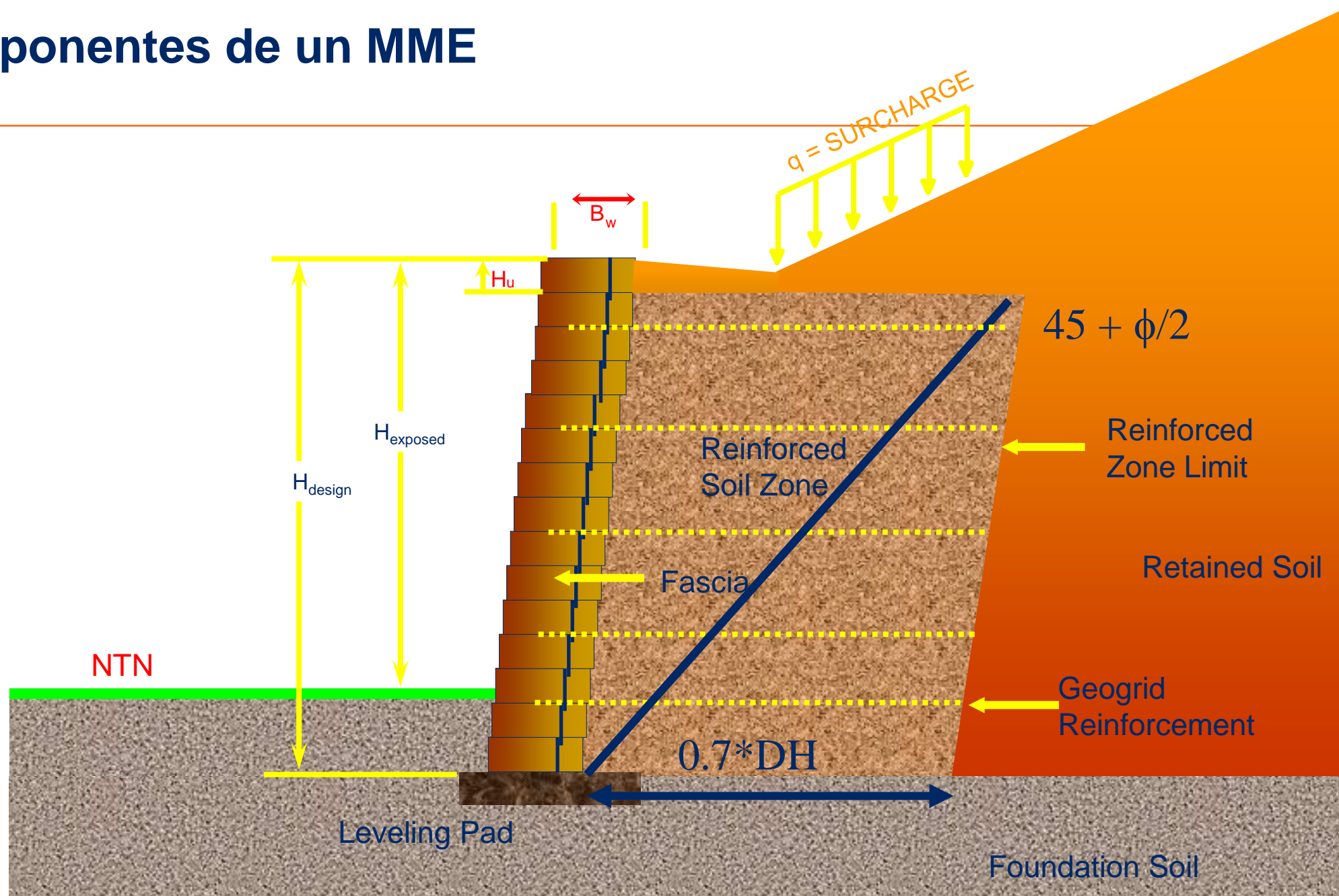
Ing. Juan Pablo Broissin  
CD Tencate Geosynthetics

# Índice

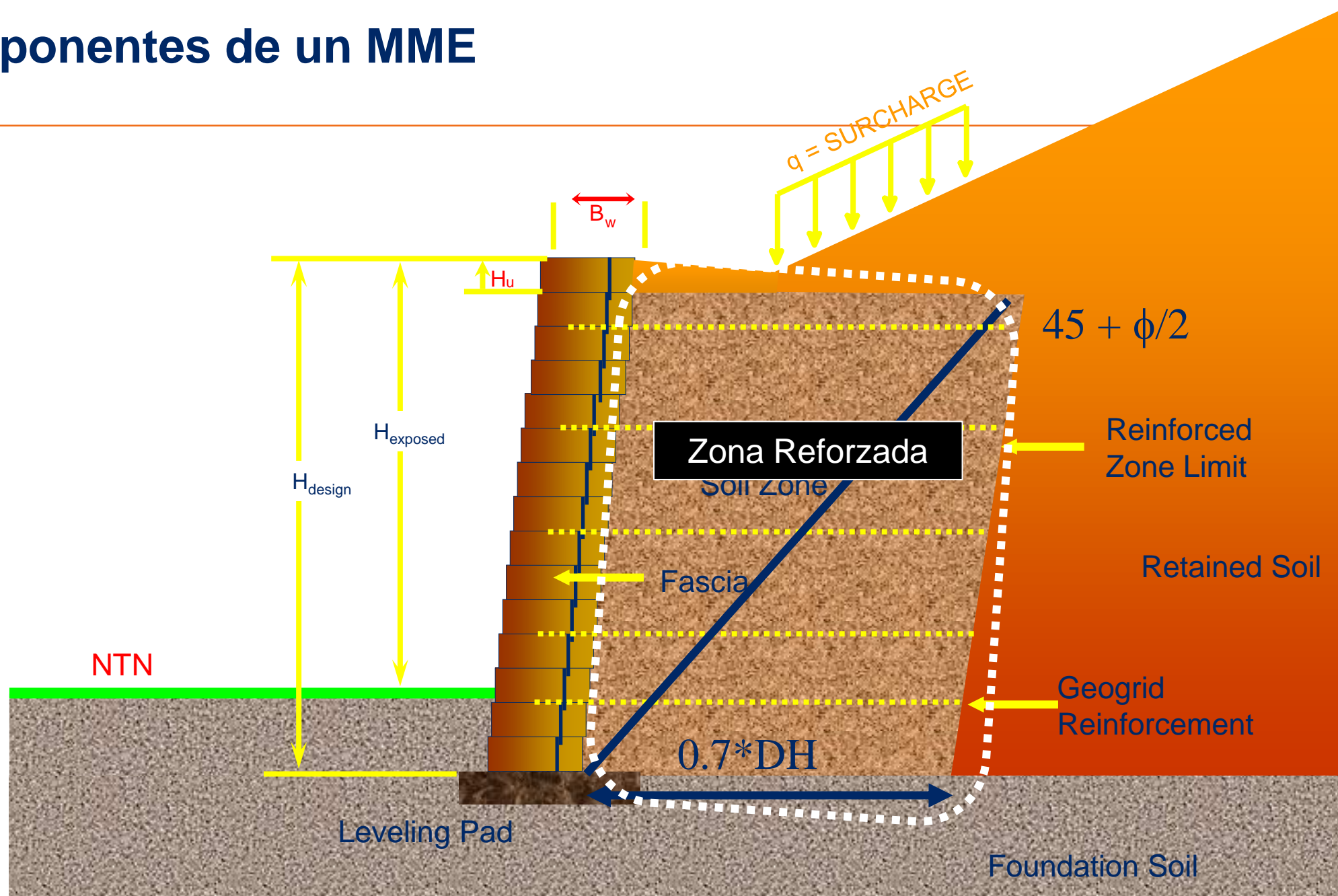
- Componentes
- Criterios de Evaluación del sitio.
- Consideraciones de Diseño (Estándares)



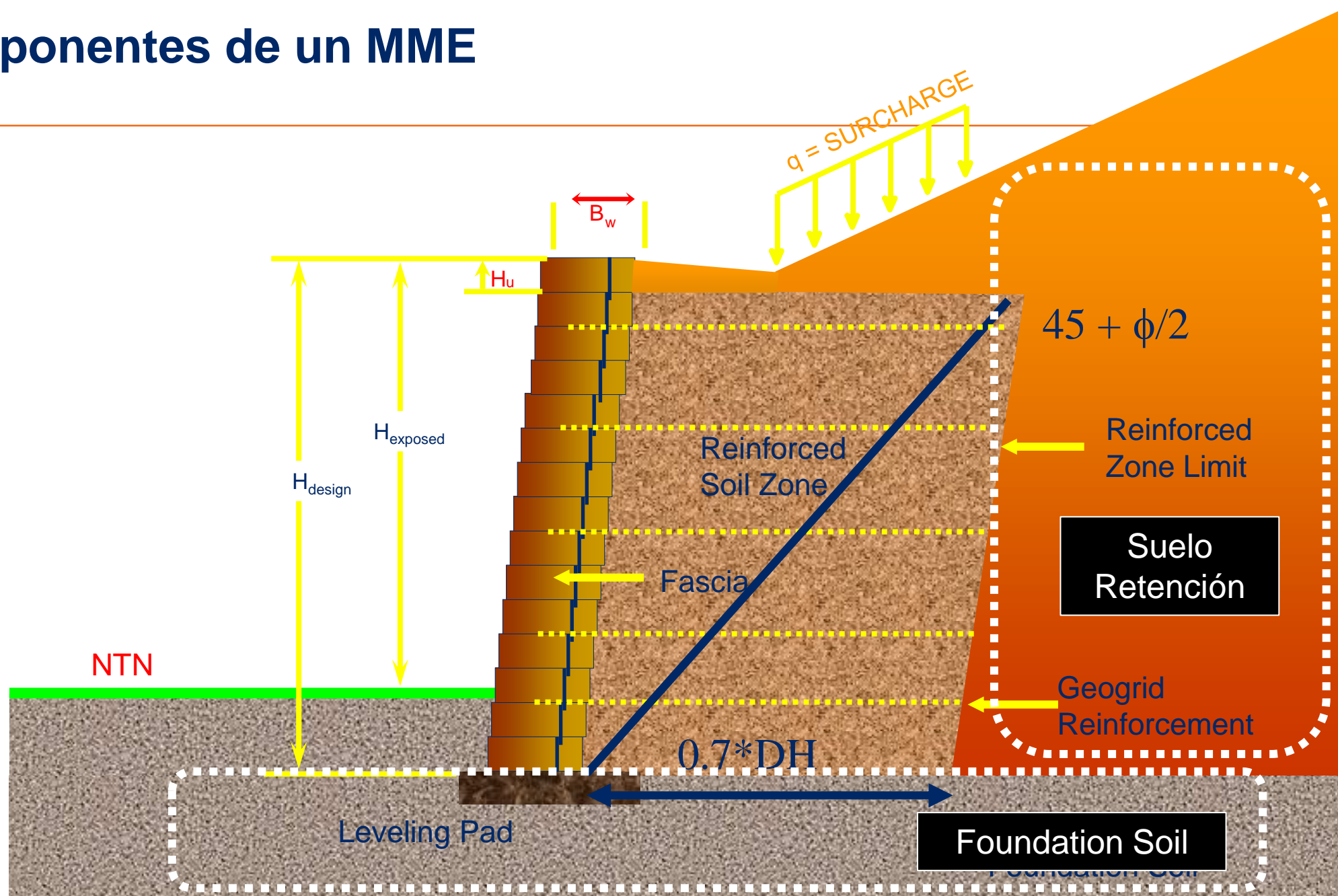
# Componentes de un MME



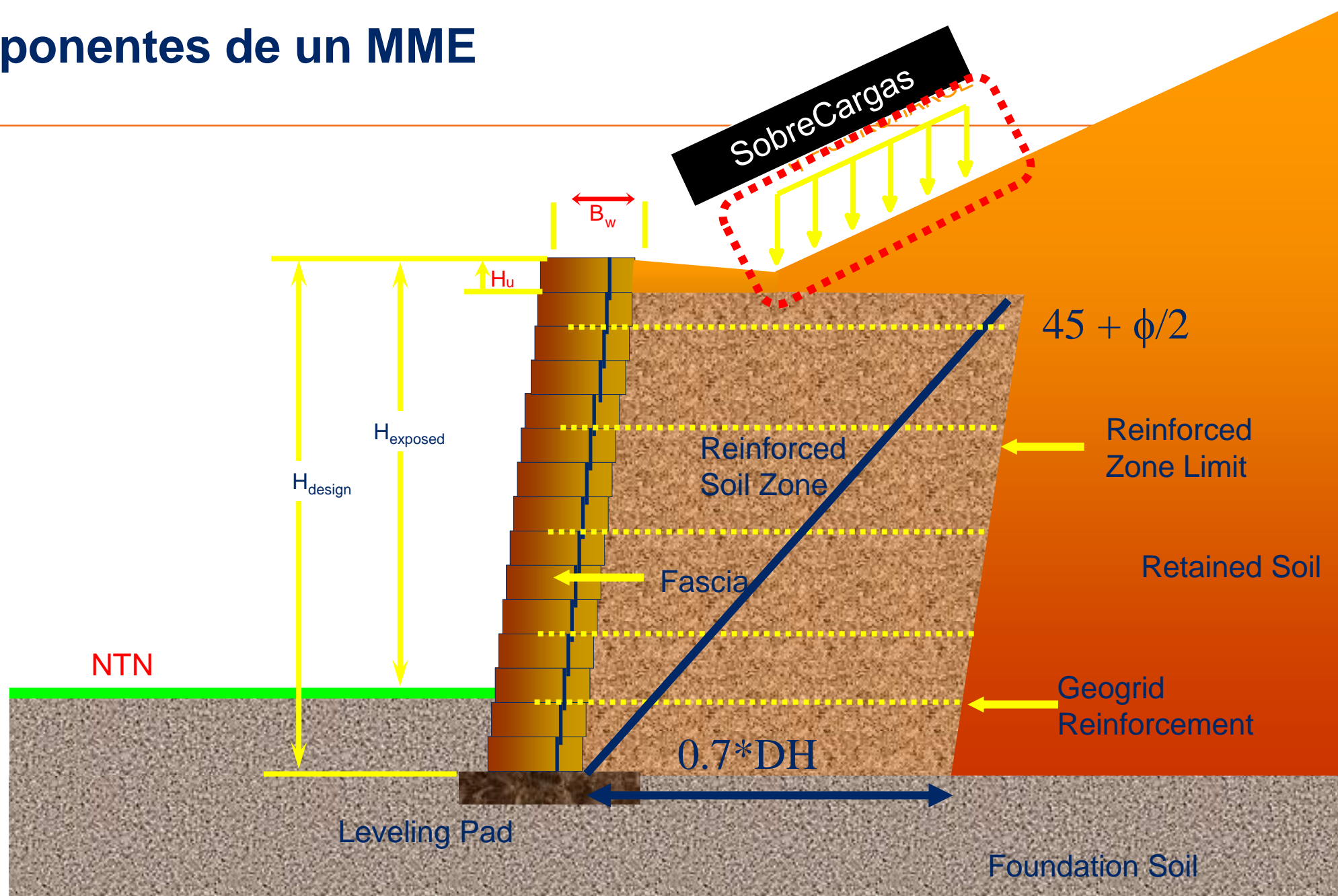
# Componentes de un MME



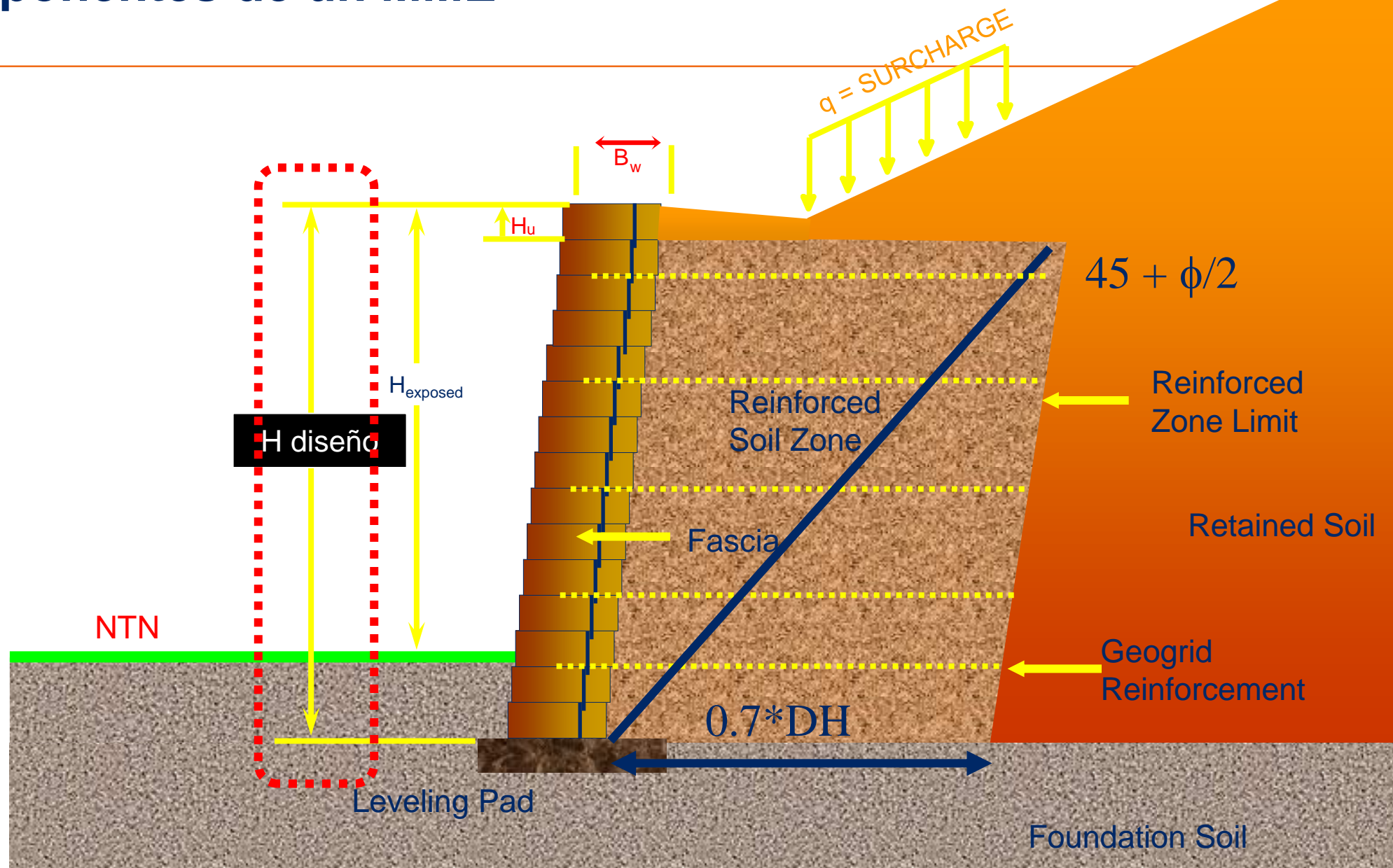
# Componentes de un MME



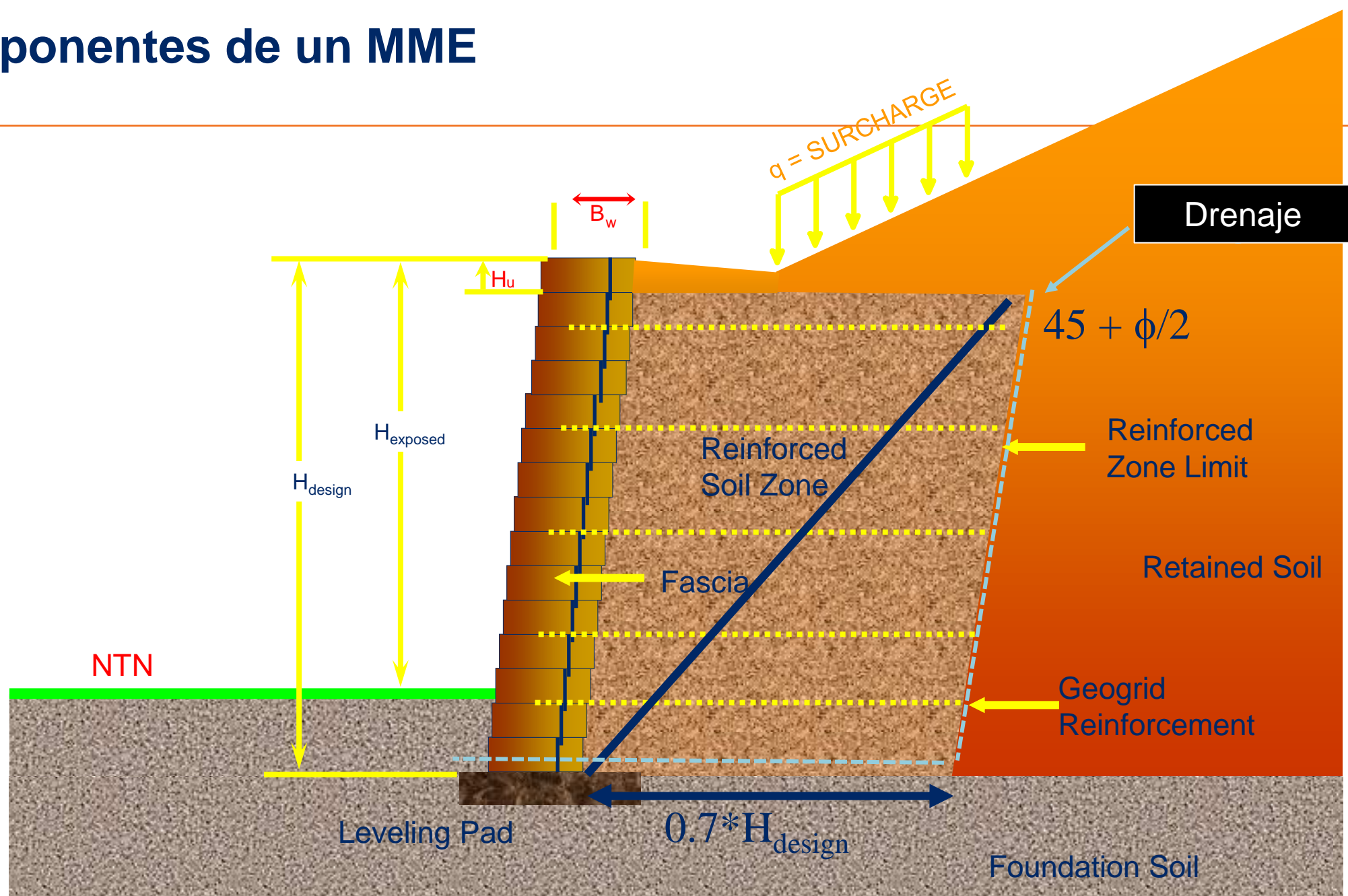
# Componentes de un MME



# Componentes de un MME

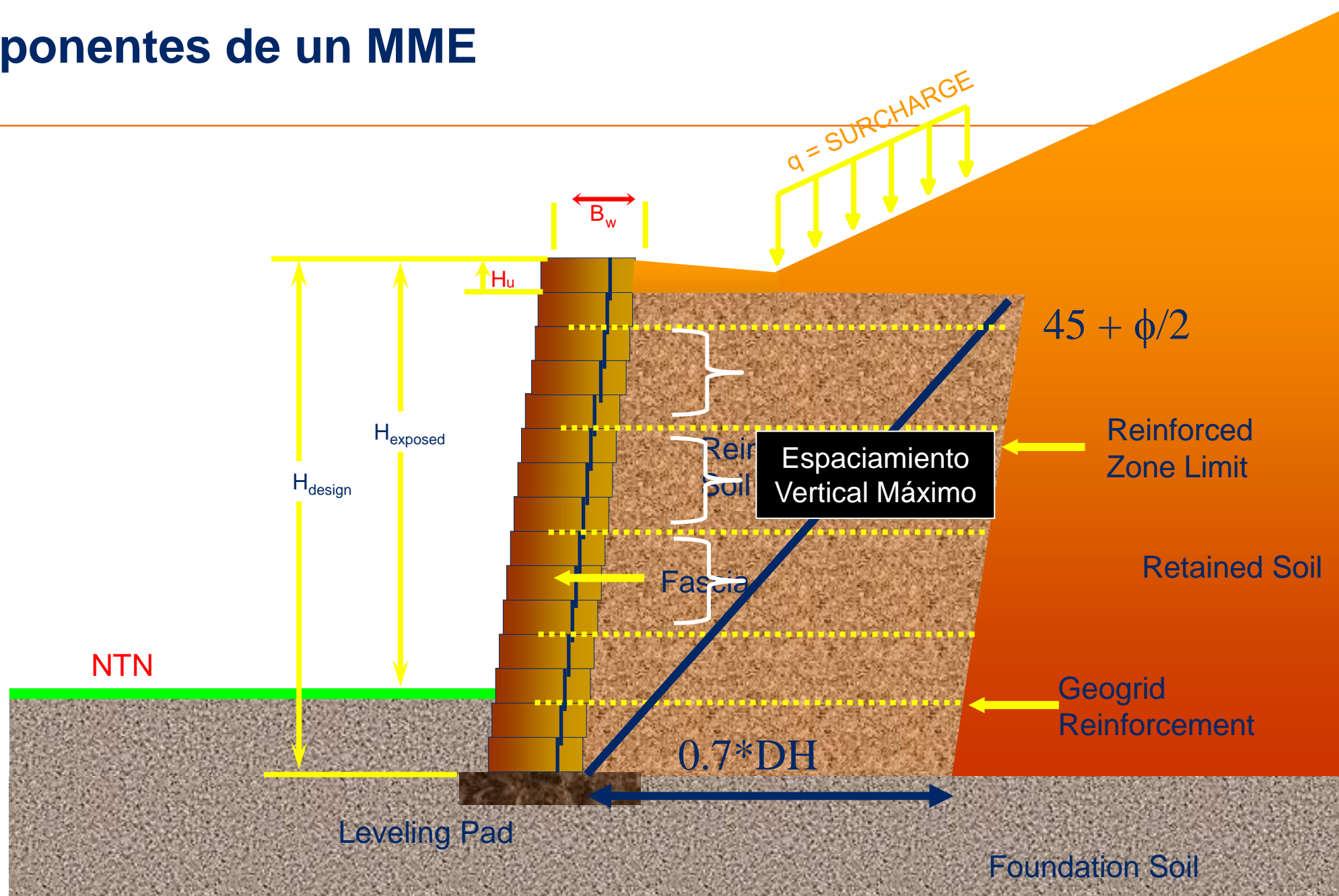


# Componentes de un MME

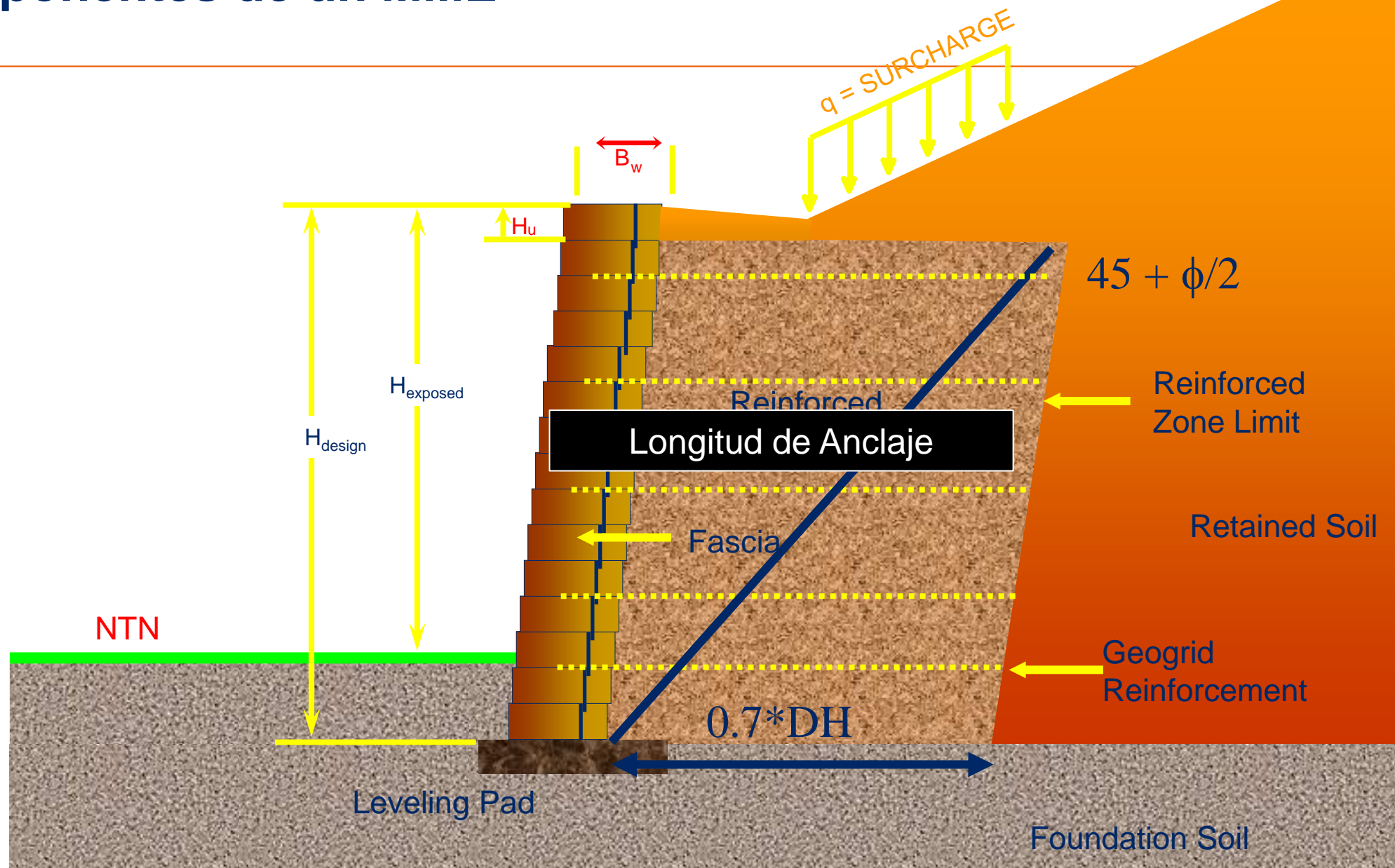




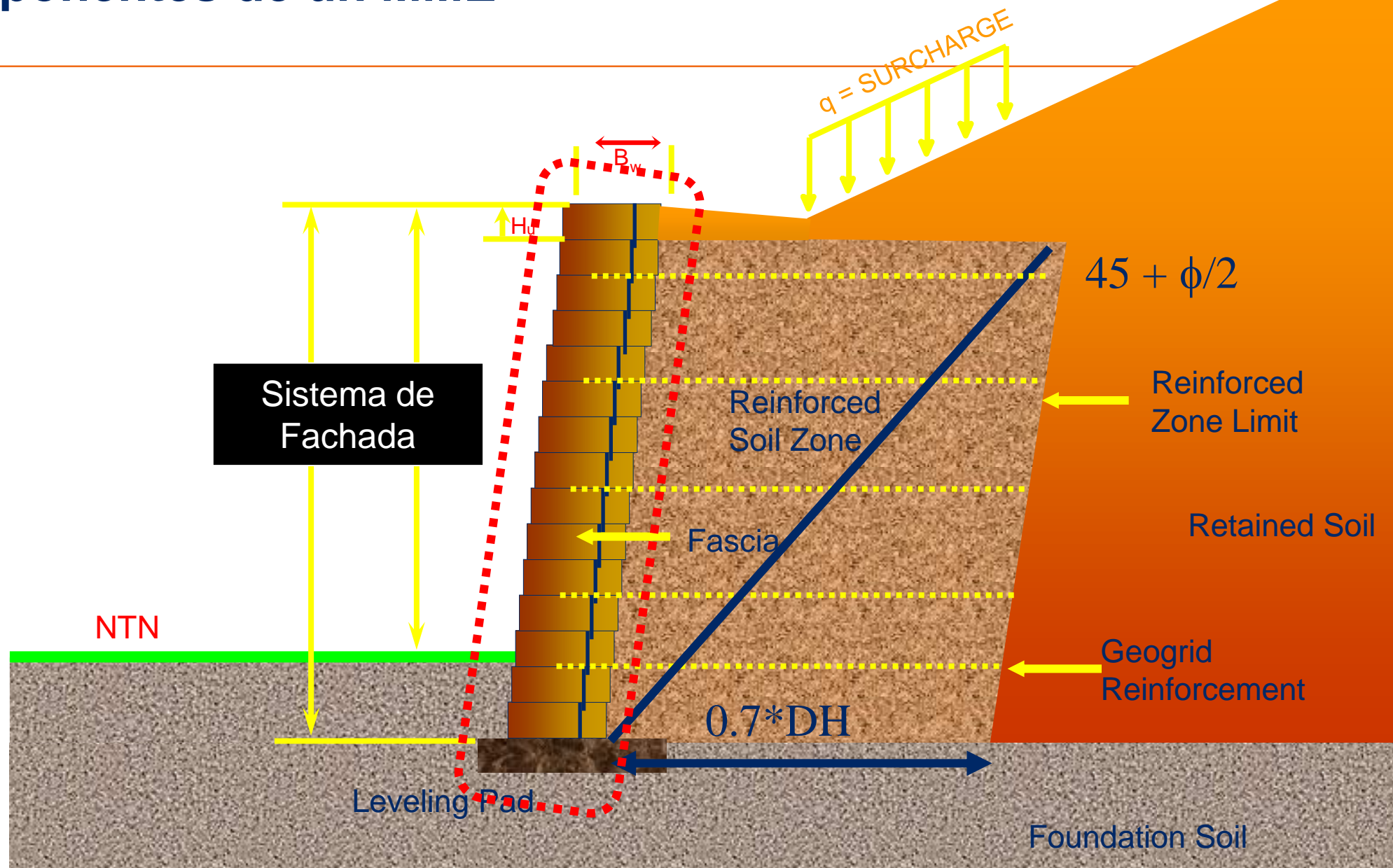
# Componentes de un MME



# Componentes de un MME



# Componentes de un MME



# Componentes de un MME

## Tipos de Paramento

Dependiendo del tipo de proyecto, se puede seleccionar entre diferentes tipos de paramento frontal como:

- Paramento con Gaviones
- Paramento fachada verde/geosintético
- Paramento con placas de concreto
- Paramento con bloques de concreto

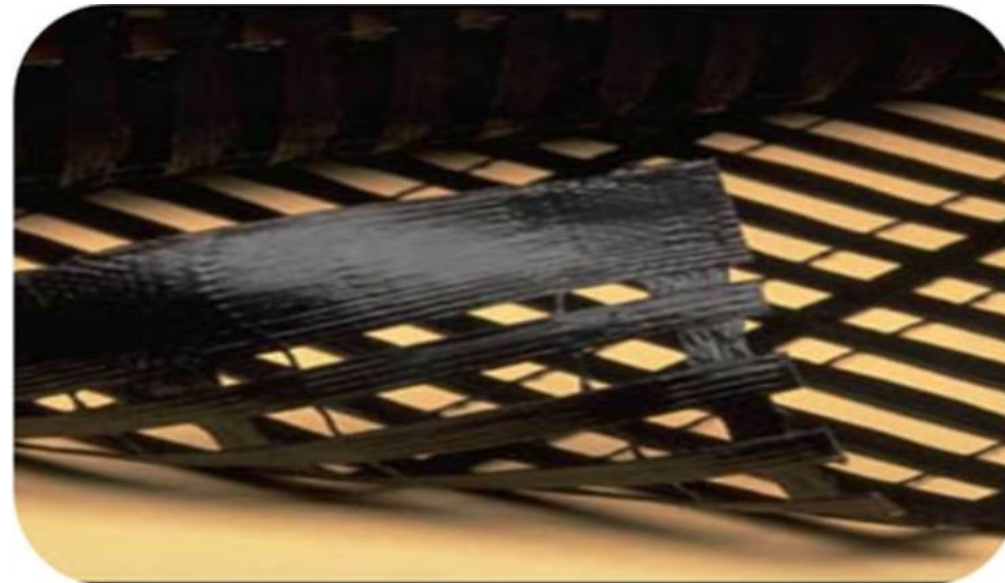
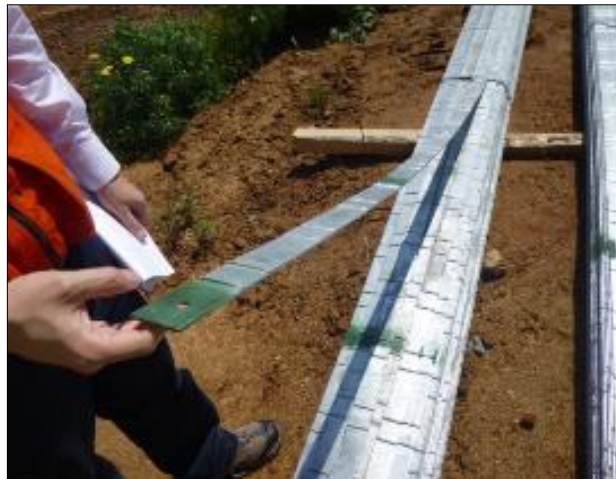


# Componentes de un MME

Tipos de Refuerzo

Tipos de Refuerzo:

- Geomallas Uniaxiales
- GeoTextiles Tejido
- Cintas y Flejes
- Escalerillas



# Componentes de un MME

Extensibilidad del Refuerzo

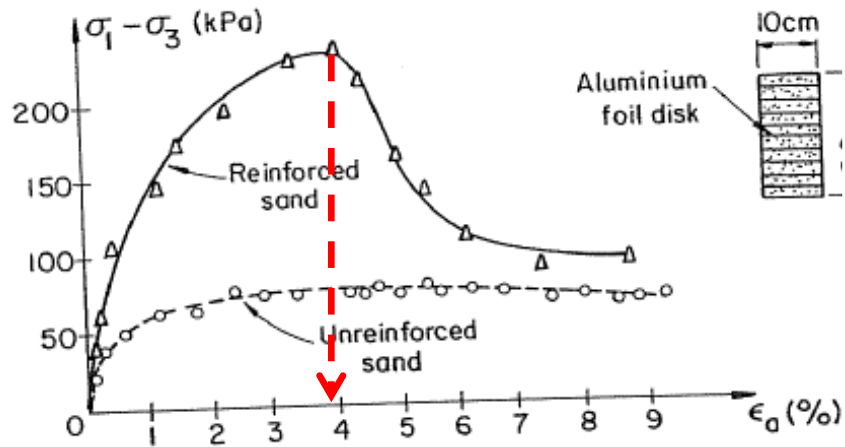
Según la Federal Highway Administration (FHWA), existen 2 tipos de comportamiento de los refuerzo:

- **Inextensible:** La deformación del refuerzo en la ruptura es mucho menor que la deformación del suelo.
- **Extensible:** La deformación del refuerzo en la falla es comparable o incluso superior con la deformación

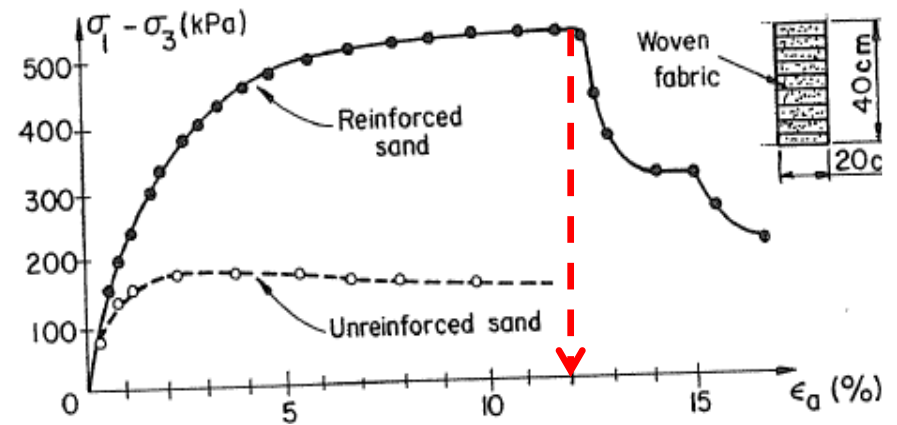


# Componentes de un MME

Extensibilidad del Refuerzo



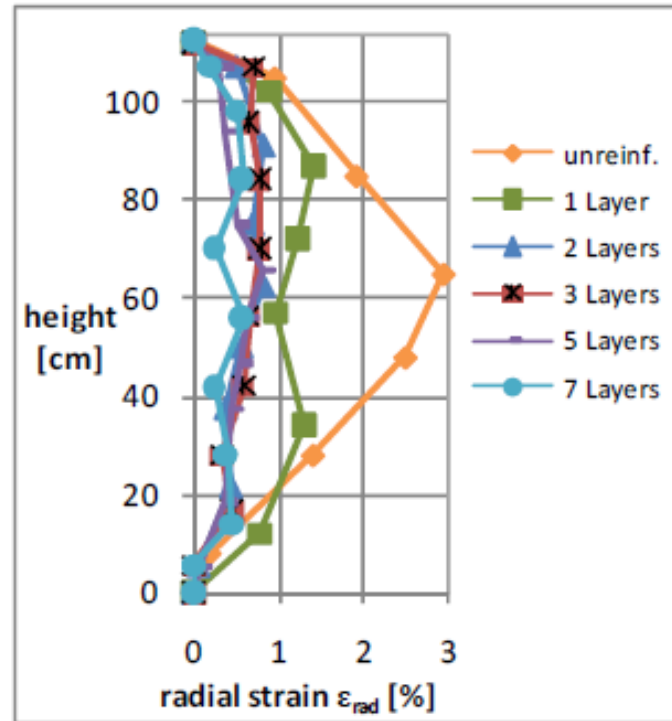
**Refuerzos Inextesibles**  
**Schlosser and Long (1972)**



**Refuerzos Extensible**  
**Chandrasekaran (1988)**

# Componentes de un MME

Función del Refuerzo



Ensayo Arena - Geomallas  
Ruiken (2011)





# Evaluación del sitio

- Evaluación y Ensayos del Terreno Natural
- Sismicidad
- Condiciones de Carga
- Estudios Hidrológicos

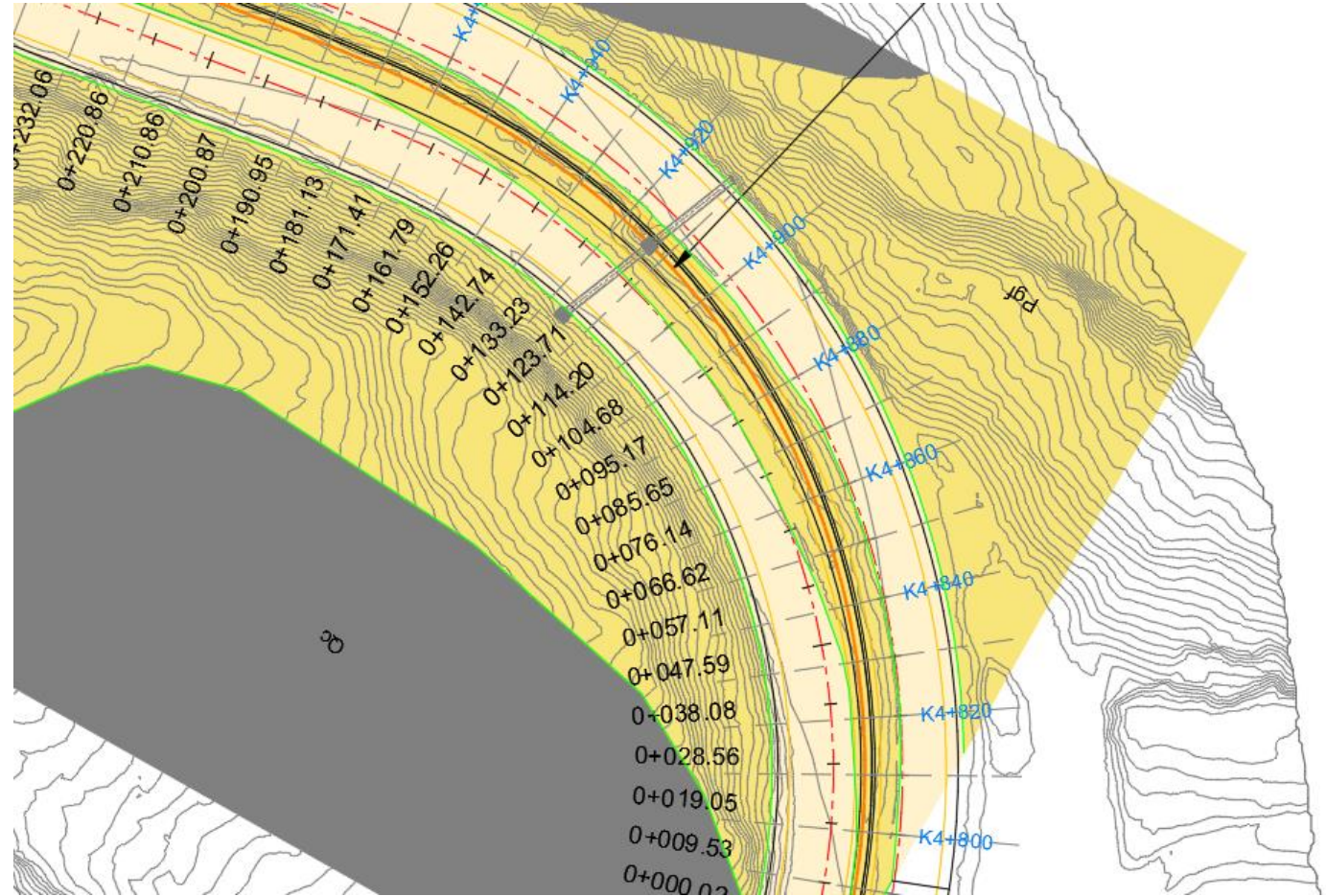


# Evaluación del Sitio

## Topografía

La topografía es muy importante para verificar la ubicación del muro, posibles interferencias y geometría del alineamiento.

Se debe considerar todos los accidentes notables del terreno así como los ríos, barrancas, construcciones, líneas de conducción, etc



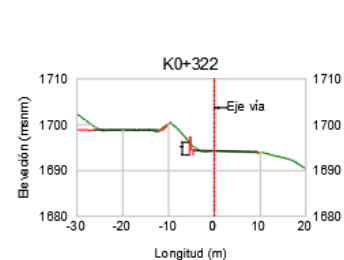
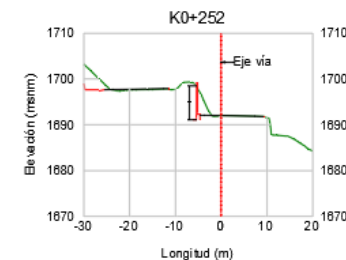
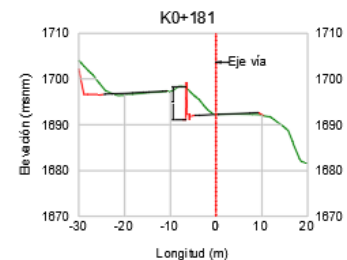
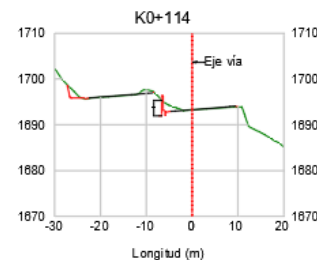
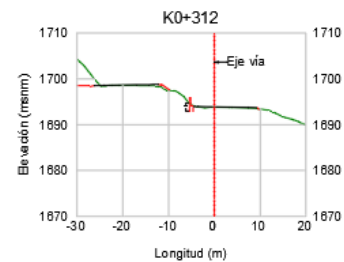
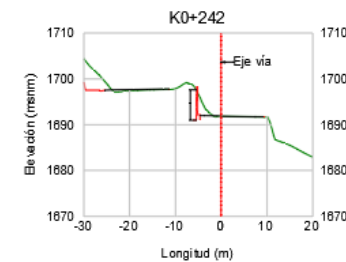
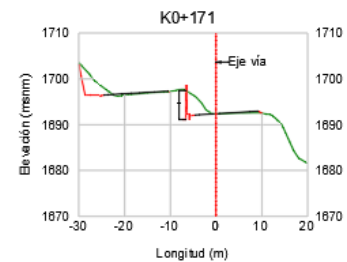
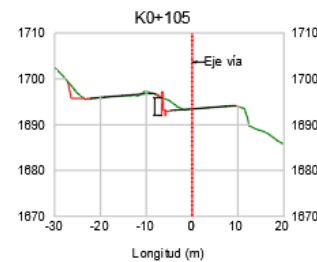
# Cortesía Ing. Rodrigo Flores – G&G



# Evaluación del Sitio

## Secciones

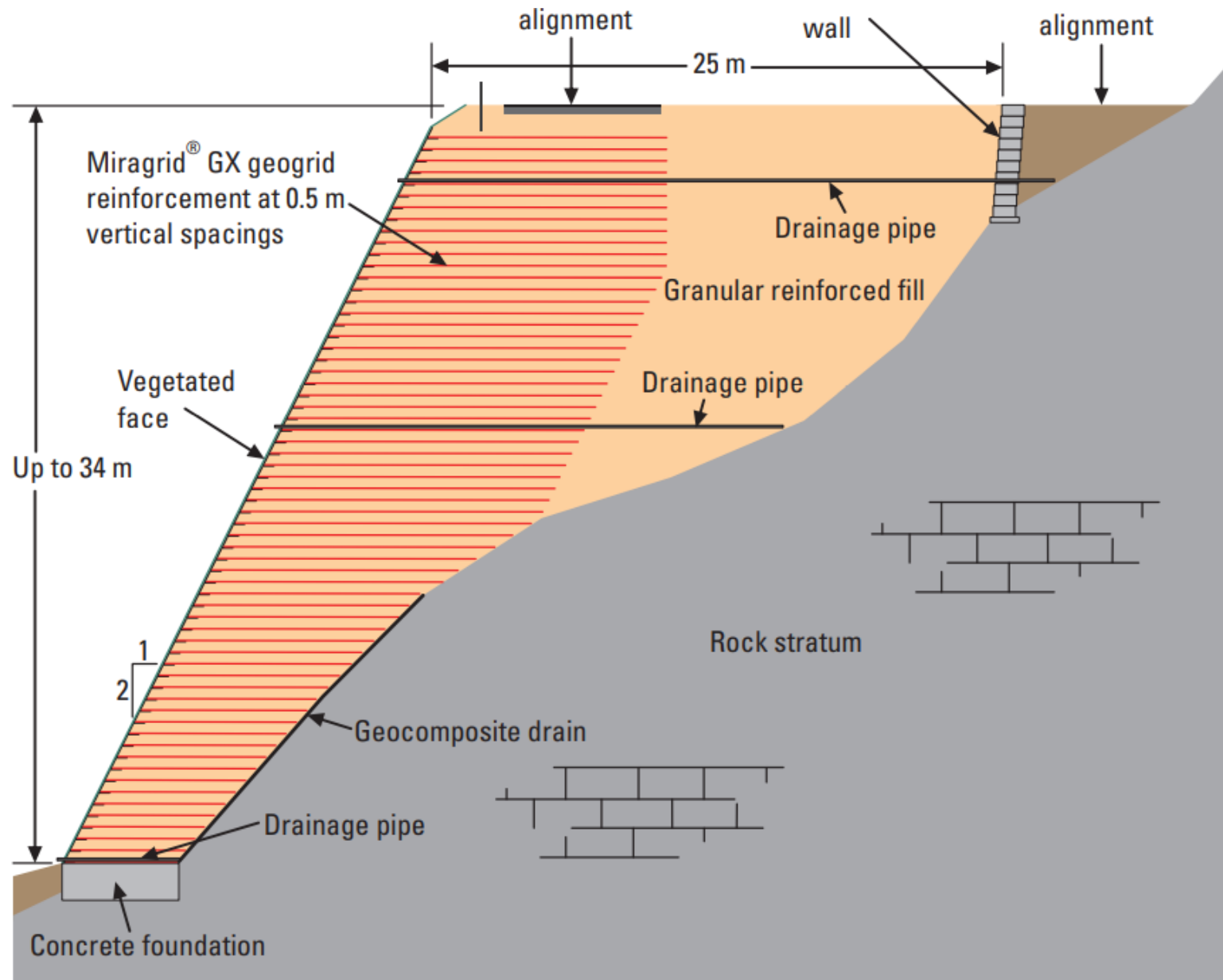
Son secciones o perfiles del terreno normales al eje proyectado en planta, que se obtienen a cada 20 m siguiendo el kilometraje, y a veces también se requiere en puntos intermedios especiales. Serán en corte y terraplén según lo indique el perfil en el punto correspondiente. Dichas secciones deberán contener el trazo de los Muros Mecánicamente Estabilizados (M.M.E.), así como carpeta, bombeos, cunetas, taludes de terraplén, de corte, terreno natural, etc.



# Proyecto de Extensión de Carretera → TenCate Austria







# Evaluación del Sitio

## Estudios Geotécnicos

- Las investigaciones del subsuelo no solo son requeridas en el área de proyección del MME, sino también detrás y al frente de la estructura para evaluar la estabilidad global de la estructura. El tipo y cantidad de exploración serán definidos después de revisar los datos preliminares obtenidos del reconocimiento de campo y recopilación de la información, y serán suficientes para evaluar la geología y subsuelo en el área de construcción.





# Evaluación del Sitio

Estudios Geotécnicos

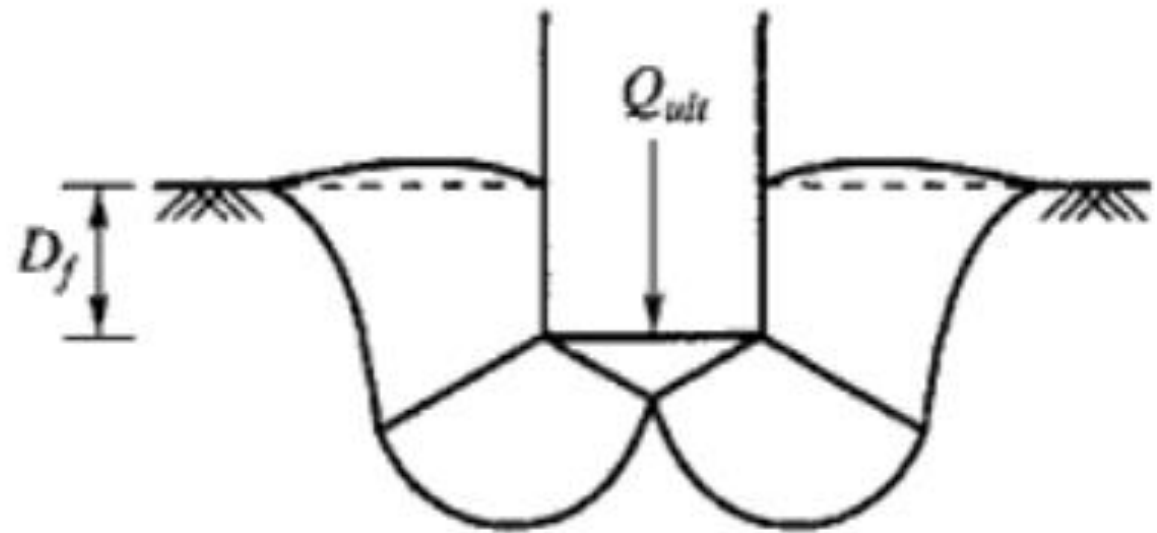
- Angulo de Fricción Interna ( $^{\circ}$ )
- Peso Unitario ( $\gamma$ ), [kN]/[m<sup>3</sup>]
- Cohesión ( $c$ ), [kN]/[m<sup>2</sup>]



# Evaluación del Sitio

Terreno Natural

Es el terreno sobre el cual se desplantará el terreno natural , por lo que se deben conocer sus propiedades geotécnicas

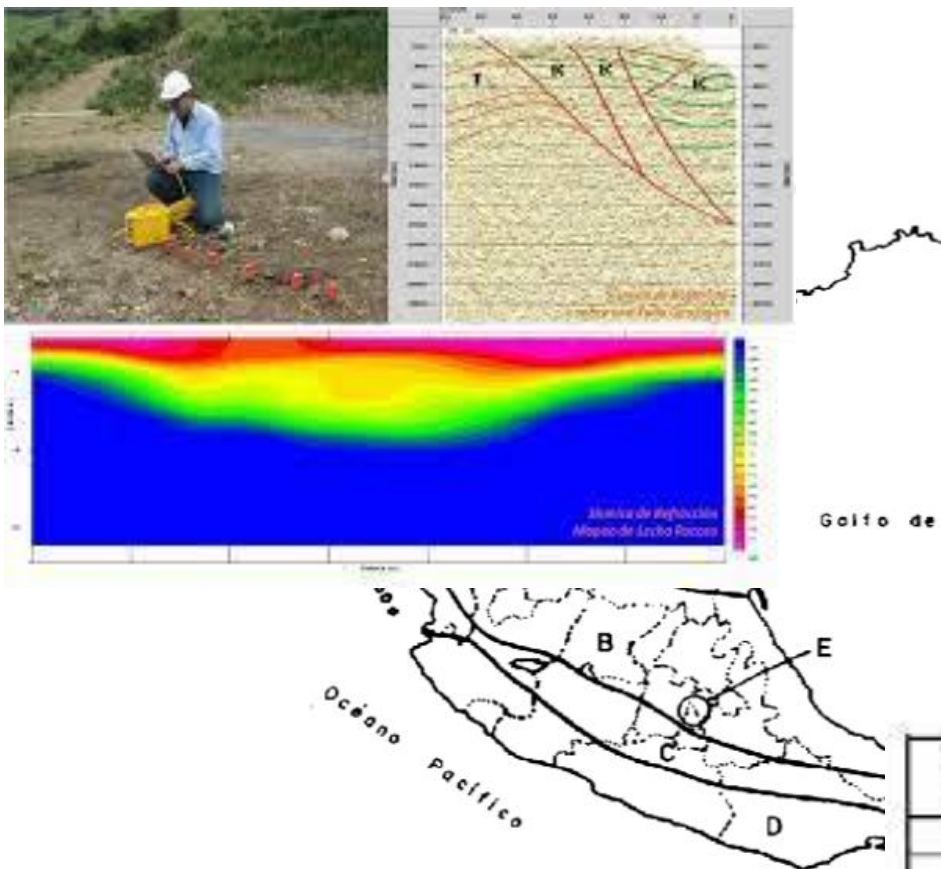


Cortesía Rafael Eduardo Del Rosario Vivas

# Evaluación del sitio

Sismo

## Estudio de Peligro Sísmico



Tipo de Suelo	Descripción del perfil de suelo
A	Roca dura con velocidad de onda de corte promedio $V_{s30m} > 1500$ m/s (5000 ft/s)
B	Roca con velocidad de onda de corte promedio: $760$ m/s (2500 ft/s) $< V_{s30m} < 1500$ m/s (5000 ft/s)
C	Suelo muy denso y roca suave con velocidad de onda promedio $360$ m/s (1200 ft/s) $< V_{s30m} < 760$ m/s (2500 ft/s), o con un conteo de golpes promedio de SPT $N_{30m} > 50$ , o con resistencia al corte no drenada promedio $S_u > 100$ kPa (2000 psf)
D	Suelo rígido con velocidad de onda de corte promedio $180$ m/s (600 ft/s) $< V_{s30m} < 360$ m/s (1200 ft/s), o con un conteo de golpes promedio de SPT $15 \leq N_{30m} \leq 50$ , o con resistencia al corte no drenada promedio $50$ kPa (1000 psf) $\leq S_u \leq 100$ kPa (2000 psf)
E	Perfil de suelo con velocidad de onda de corte promedio $V_{s30m} < 180$ m/s (600 ft/s), o con un conteo de golpes promedio de SPT $N_{30m} < 50$ , o $S_u < 50$ kPa (1000 psf) * o cualquier perfil con más de 30 m (10 ft) de arcilla suave, definida como un suelo con índice de plasticidad $PI > 20$ , contenido de agua $w \geq 40$ por ciento y una resistencia al corte no drenada $S_u < 25$ kPa (500 psf)
F	Suelos que requieren evaluaciones específicas en el sitio: por ejemplo, suelos licuables, capas orgánicas o de turba, arcillas suaves o de alta plasticidad, y otras condiciones especiales de sitio.

Tabla 3.10.3.2-1 — Valores del factor de Sitio,  $F_{PGD}$ , en el periodo de vibración cero del Espectro de Aceleraciones

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos (Véase la Nota 1)				
	$PGA \leq 0.1$	$PGA = 0.2$	$PGA = 0.3$	$PGA = 0.4$	$PGA \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

# Evaluación del sitio

Sismo



# Evaluación del Sitio

Estudio de Sobrecargas



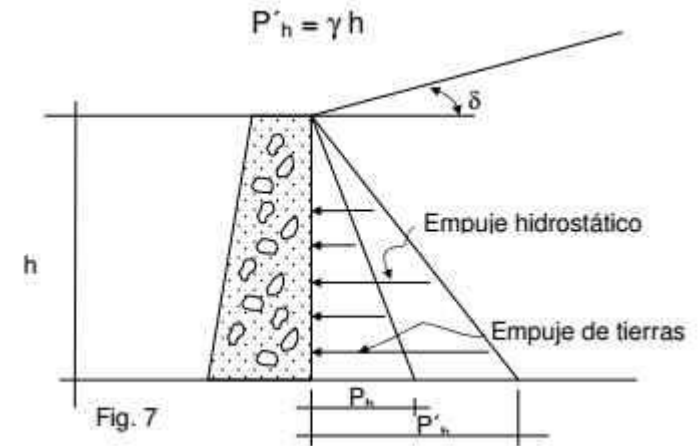
# Estudio de Sobrecargas



# Evaluación del Sitio

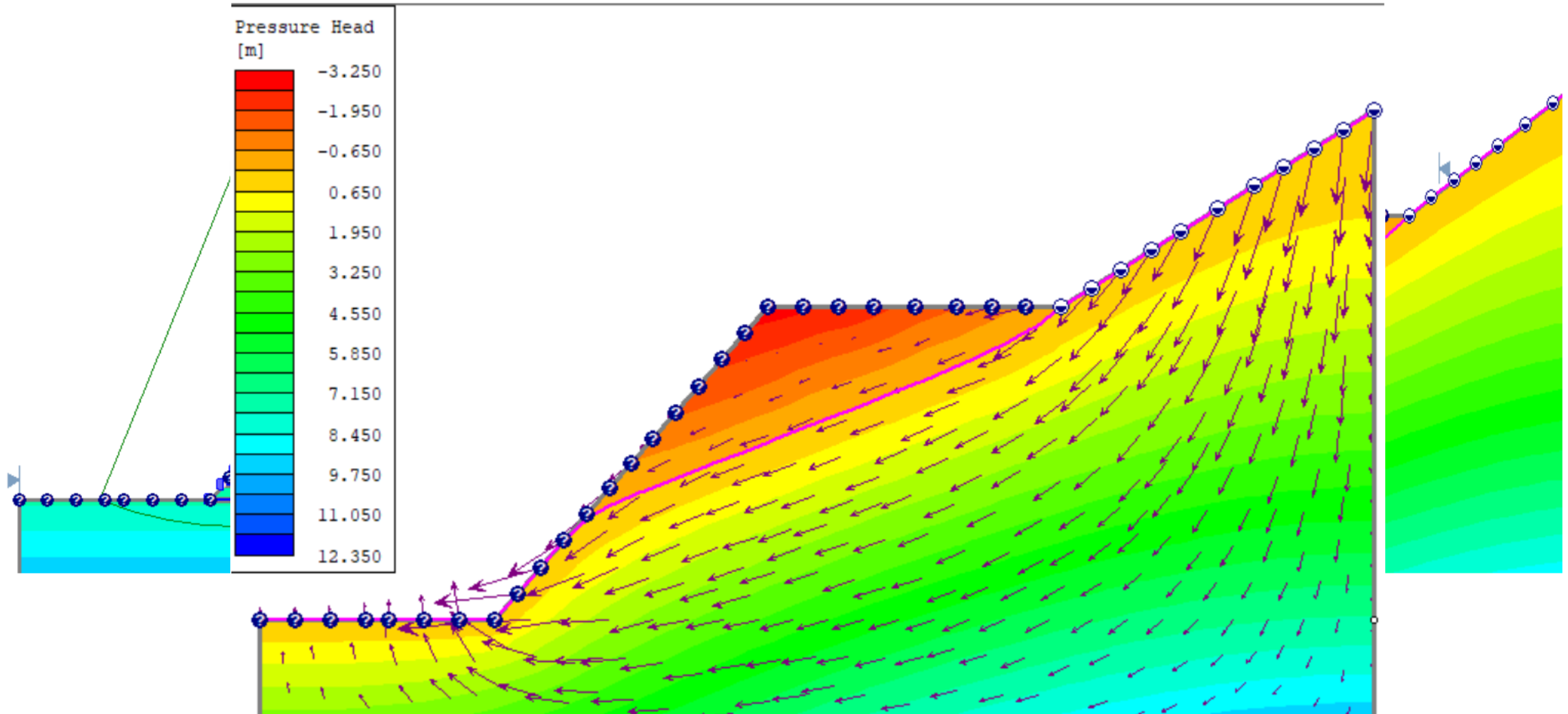
Agua

- Estudio Hidrológico
- NAME: Nivel Máximo de Aguas Extraordinario



# Evaluación del Sitio

Influencia de la Presión Hidroestática





# Evaluación del Sitio

## Relleno Estructural

- Análisis granulométrico
- Para la determinación de los parámetros de resistencia al corte se empleará el ensaye de compresión triaxial, puede utilizarse la prueba no consolidada no drenada (UU), o el ensaye de corte directo, el cual se realizará con la porción fina de la muestra, la cual estará compactada al 95% de la prueba AASHTO (M-MMP-1-09/06)
- El ángulo de fricción interna, en ningún caso, será menor de  $34^{\circ}$  ( para el diseño del relleno reforzado)

# Evaluación del Sitio

Recomendaciones de IMT

- Se realizará por lo menos un sondeo puntual de exploración por cada Muro Mecánicamente Estabilizado para muro de más de 30.00 m de longitud, se realizará una exploración cada 30.00 o 60.00 m, alternando la localización del sitio explorado (Frente y atrás del MME).
- Se realizará por lo menos un sondeo puntual de exploración a cada 45 m de la parte posterior de la estructura de suelo reforzado del MME, esto debido a que el ancho de las estructuras de los muros puede asumirse como 0.8 veces la altura del muro.

# Evaluación del Sitio

Recomendaciones del IMT

- La profundidad mínima de exploración por debajo del nivel de desplante proyectado del muro, será por lo menos la profundidad a la cual el esfuerzo transmitido por el MME sea igual o menor al 10% por ciento de la carga, y no será menor de dos veces la altura del muro.
- En caso de que las condiciones del subsuelo, dentro de las profundidades mencionadas anteriormente, sean débiles e inadecuadas para las presiones que generará la estructura, entonces las perforaciones continuarán hasta encontrar un suelo en mejores condiciones.

# Evaluación del Sitio

Recomendaciones del IMT

---

- En caso de que el sitio de proyecto se encuentren rellenos sueltos, galerías de minas, grietas u otras oquedades y estas se encuentren por debajo del nivel de desplante proyectado se definirá su contacto con el apoyo de métodos indirectos.

# Refuerzo compuesto por inclusiones rígidas – TenCate Thailand



# Evaluación del Sitio

Métodos de Exploración

---

- Pozos a Cielo Abierto ( PCA)
- SPT Sondeos de Penetración Estándar
- Sondeos de Cono Eléctrico
- Refracción Sísmica

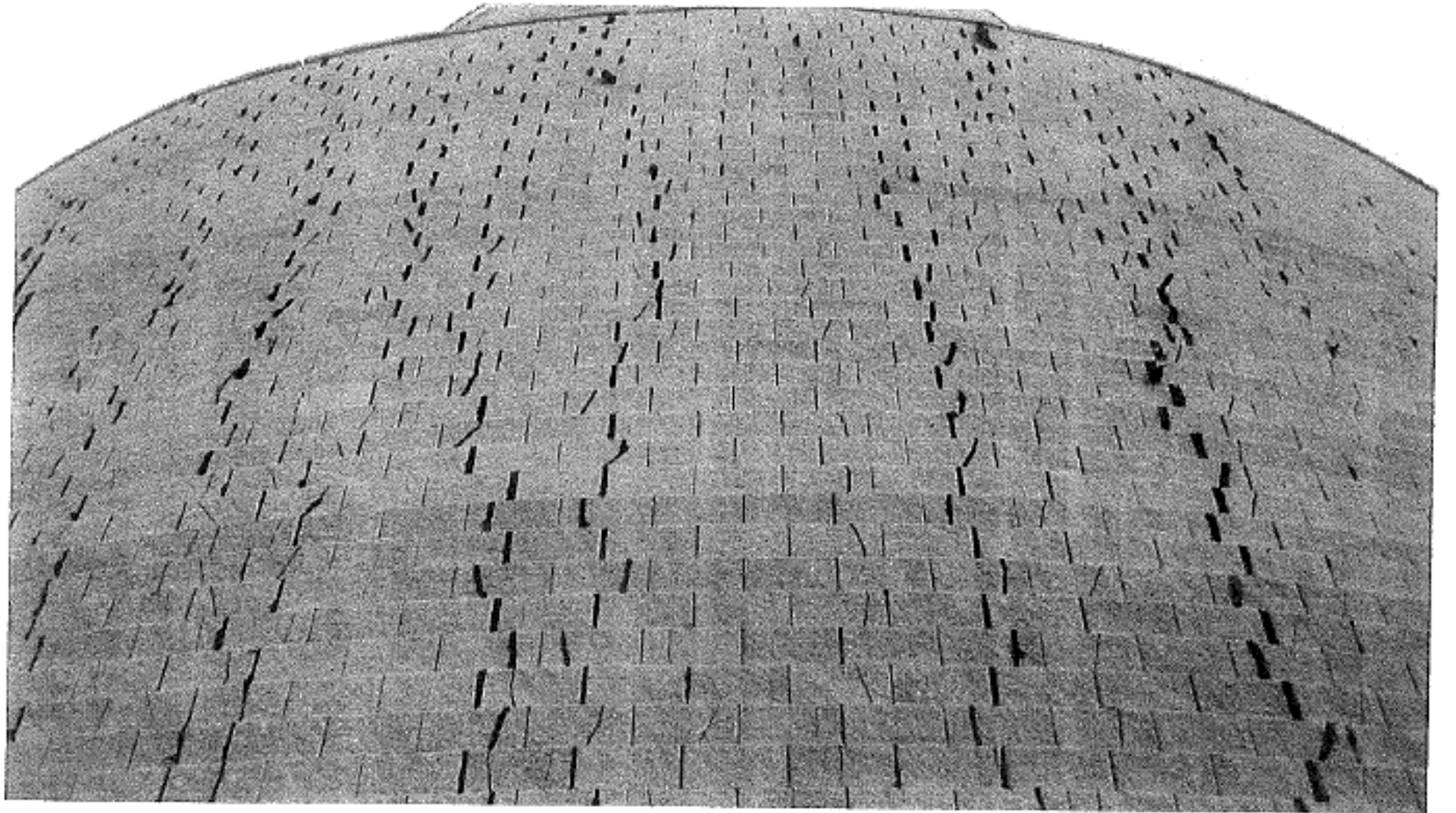
# Evaluación del Sitio

Falla por capacidad de carga



# Evaluación del Sitio

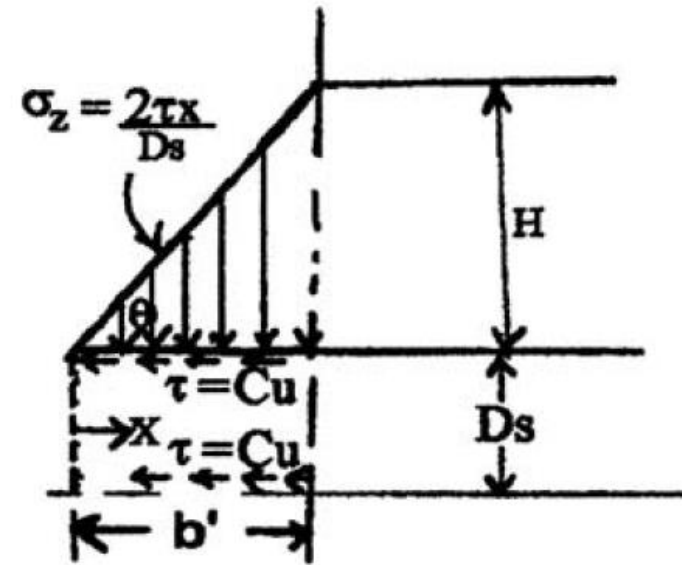
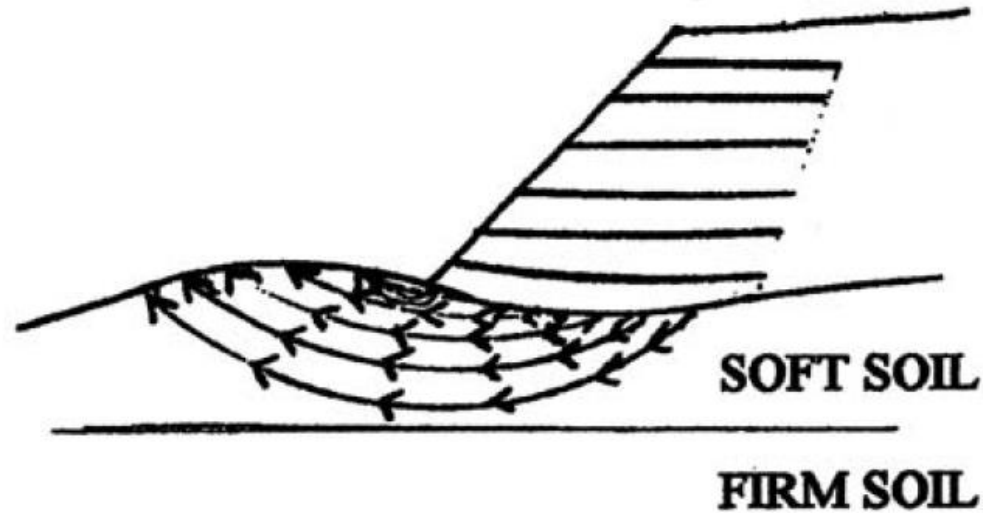
Falla por capacidad de carga





# Evaluación del Sitio

Falla por capacidad de carga

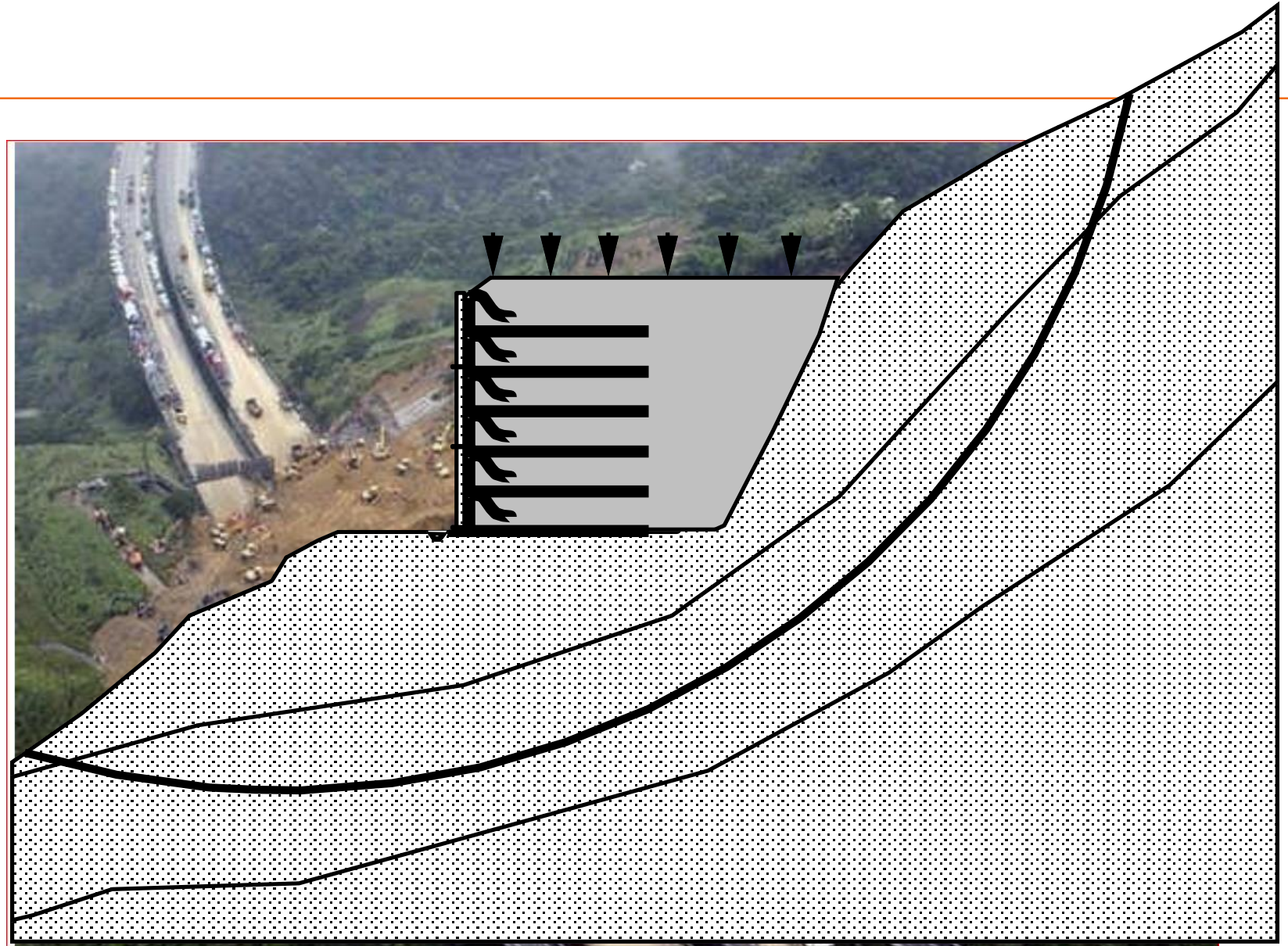


$$FS = \frac{2 c_u}{\gamma D_s \tan \theta} + \frac{4.14 c_u}{H \gamma}$$

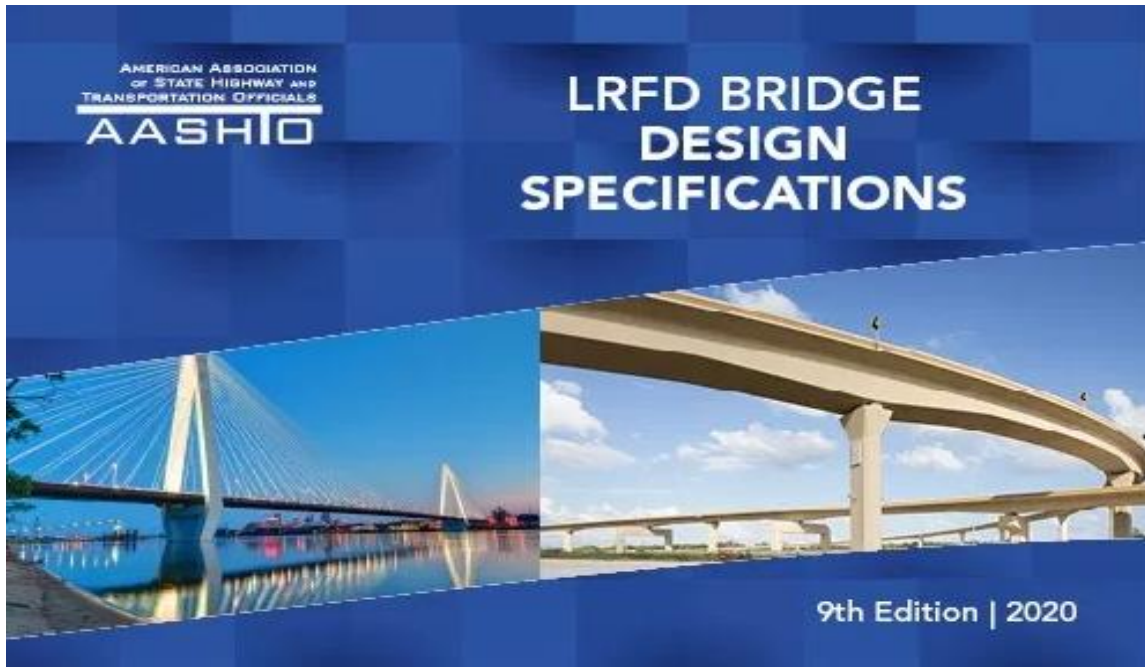
**b) Local bearing failure (lateral squeeze)**

# Estabilidad Global

Estabilidad Global



# Normativas – Guías de Diseño



U. S. Department of Transportation  
Federal Highway Administration

Publication No. FHWA-NHI-10-024  
FHWA GEC 011 – Volume I  
November 2009

NHI Courses No. 132042 and 132043

## Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I

Developed following:

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 4<sup>th</sup> Edition, 2007, with 2008 and 2009 Interims.

and

AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, 2<sup>nd</sup> Edition, 2004, with 2006, 2007, 2008, and 2009 Interims.



U. S. Department of Transportation  
Federal Highway Administration

Publication No. FHWA-NHI-10-025  
FHWA GEC 011 – Volume II  
November 2009

NHI Courses No. 132042 and 132043

## Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume II

Developed following:

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 4<sup>th</sup> Edition, 2007, with 2008 and 2009 Interims.

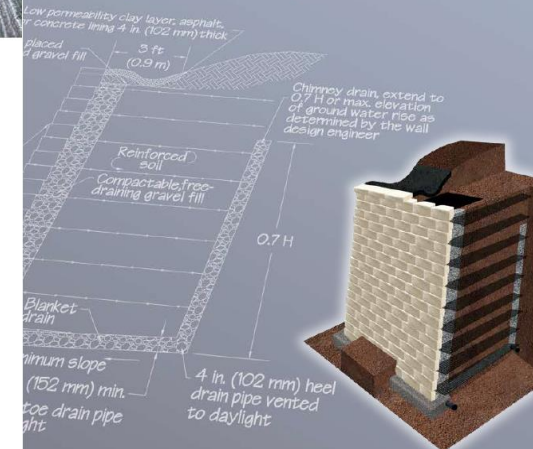
and

AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, 2<sup>nd</sup> Edition, 2004, with 2006, 2007, 2008, and 2009 Interims.



## Segmental Retaining Walls Best Practices Guide

for the Specification, Design, Construction, and Inspection of SRW Systems



# Consideraciones de Diseño

Existen 2 metodologías de Cálculo

- ASD (Allowable Stress Design)

$$FS = \frac{X_{pas}}{X_{act}} > FS_{req}$$

- LRFD (Load and Resistance Factor Design)

$$\sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot Q_i \leq \phi \cdot R_n$$

AASHTO → LRFD para muros mecánicamente estabilizados

AASHTO → ASD Taludes reforzados y Estabilidad global ( ambos casos)

NCMA → ASD para muros mecánicamente estabilizados

# Consideraciones de Diseño

---

- En la metodología LRFD existen tres estados límites que representan los distintos criterios de comportamiento:
  1. Estado Límite de Rotura.
  2. Estado Límite de Servicio.
  3. Estado Límite de Evento Extremo.

# Consideraciones de Diseño

Paramento Frontal



# Consideraciones de Diseño

## Longitud del Refuerzo

- Las guías de diseño mencionan una longitud mínima de refuerzo que varía entre  $0.6H$  y  $0.8H$  para los muros MME en condiciones estáticas. Usualmente un valor de  $0.7H$  es lo adoptado por los diseñadores.

**Table 2-1. Typical Minimum Length of Reinforcement.**

<b>Case</b>	<b>Typical Minimum L/H Ratio</b>
Static loading with or with traffic surcharge	0.7
Sloping backfill surcharge	0.8
Seismic loading	0.8 to 1.1

# Consideraciones de Diseño

## Sobrecarga

- Para proyectos viales, la adopción de una altura equivalente de suelo ( $h_{eq}$ ) es tomado acorde a la ubicación del MME.

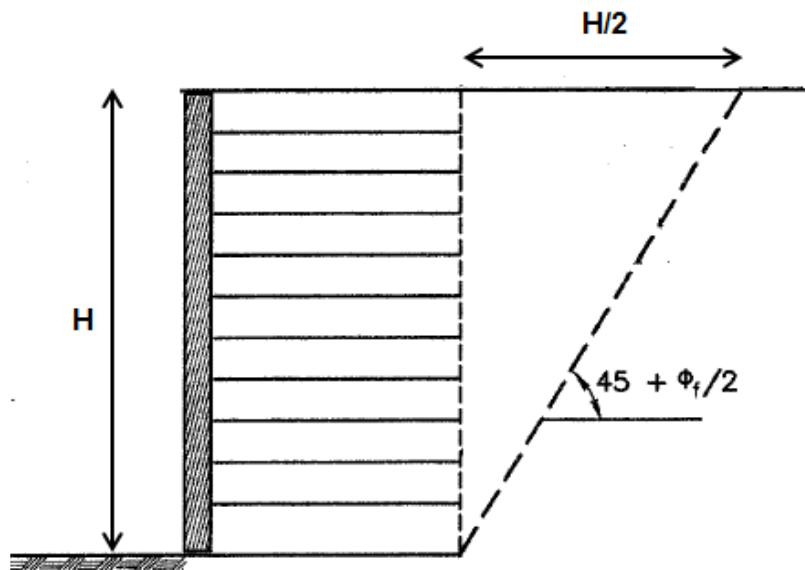


Table 3.11.6.4-1—Equivalent Height of Soil for Vehicular Loading on Abutments Perpendicular to Traffic

Abutment Height (ft)	$h_{eq}$ (ft)
5.0	4.0
10.0	3.0
$\geq 20.0$	2.0

Table 3.11.6.4-2—Equivalent Height of Soil for Vehicular Loading on Retaining Walls Parallel to Traffic

Retaining Wall Height (ft)	$h_{eq}$ (ft) Distance from wall backface to edge of traffic	
	0.0 ft	1.0 ft or Further
5.0	5.0	2.0
10.0	3.5	2.0
$\geq 20.0$	2.0	2.0



# Consideraciones de Diseño

## Empotramiento

- El empotramiento mínimo para los MMEE es de 2ft (0.60m) sin embargo acorde al tipo de geometría o condición de la topografía se puede adoptar diferentes

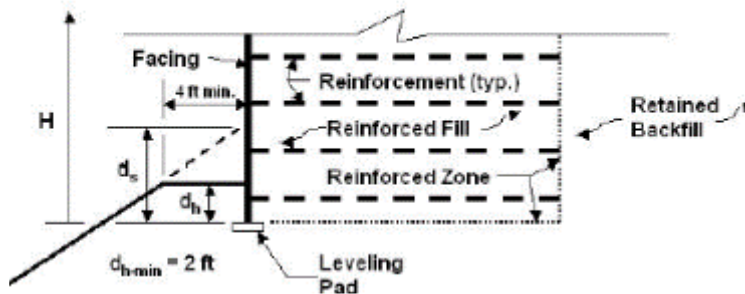
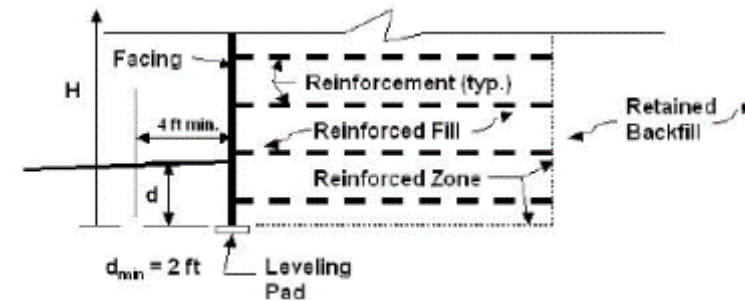


Table 2-2. Minimum MSEW Embedment Depths.

Slope in Front of Wall	Minimum Embedment Depth to Top of Leveling Pad*
All Geometries	2 ft minimum
horizontal (walls)	H/20
horizontal (abutments)	H/10
3H:1V	H/10
2H:1V	H/7
1.5H:1V	H/5

\* Minimum depth is the greater of applicable values listed, frost depth, or scour depth.

# Consideraciones de Diseño

## Material de Relleno

- AASHTO considera el uso de relleno granulares, libres de materia orgánico y libres de materiales deteriorables

Table 3-1. MSE Wall Select Granular Reinforced Fill Requirements.

<b>Gradation:</b> (AASHTO T-27)	U.S. Sieve Size	Percent Passing <sup>(a)</sup>
	4 in. (102 mm) <sup>(a,b)</sup>	100
	No. 40 (0.425 mm)	0-60
	No. 200 (0.075 mm)	0-15
<b>Plasticity Index, PI</b> (AASHTO T-90)	PI ≤ 6	
<b>Soundness:</b> (AASHTO T-104)	The materials shall be substantially free of shale or other soft, poor durability particles. The material shall have a magnesium sulfate soundness loss of less than 30 percent after four cycles (or a sodium sulfate value less than 15 percent after five cycles).	

MME

Table 3-2. RSS Granular Reinforced Fill Requirements.

<b>Gradation:</b> (AASHTO T-27)	U.S. Sieve Size	Percent Passing
	4 in. (102 mm) <sup>(a,b)</sup> ¾-inch (20 mm) <sup>(a)</sup>	100
	No. 4 (4.76 mm)	100 – 20
	No. 40 (0.425 mm)	0-60
	No. 200 (0.075 mm)	0 – 50
<b>Plasticity Index, PI</b> (AASHTO T-90)	PI ≤ 20	
<b>Soundness:</b> (AASHTO T-104)	Magnesium sulfate soundness loss less than 30% after 4 cycles, based on AASHTO T-104 or equivalent sodium sulfate soundness of less than 15 percent after 5 cycles.	

TME

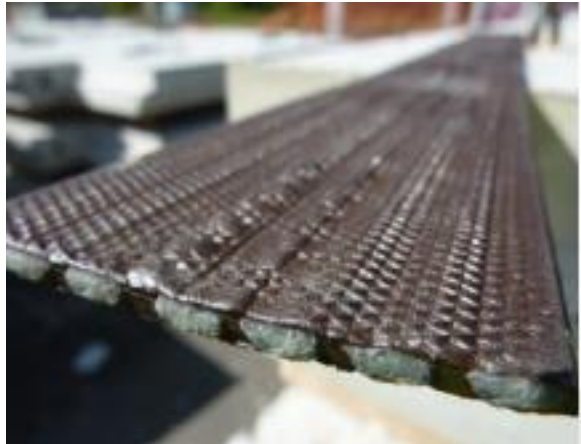
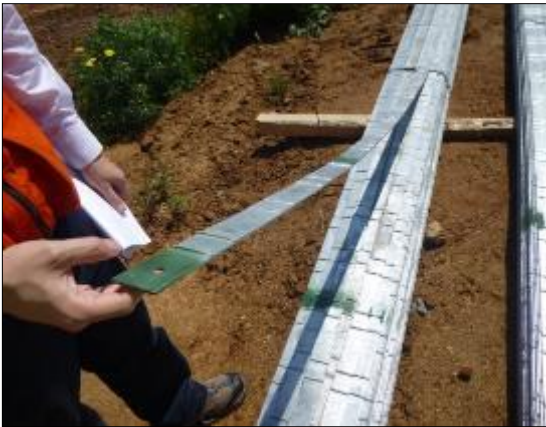
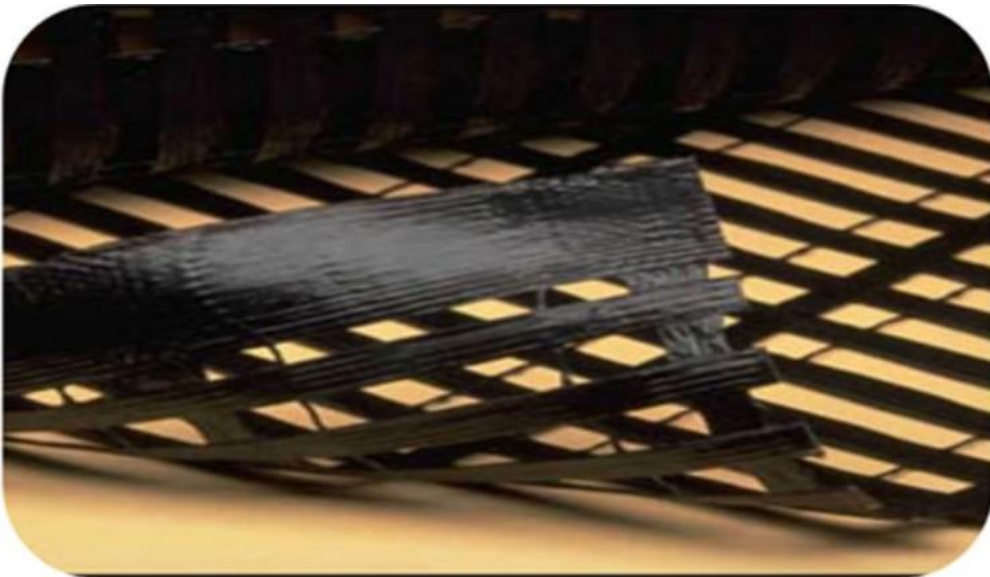
# Consideraciones de Diseño

## Material de Relleno

- Para determinar la agresividad potencial de los suelos de relleno se deben realizar ensayos de pH, resistividad eléctrica y contenido de sales incluyendo sulfatos y cloruros.
- Se debe tomar un ángulo de fricción  $\phi$  como máximo de  $34^\circ$  a menos que se hayan realizado ensayos triaxiales o de corte directo, AASHTO especifica que en ningún caso se permite utilizar ángulos de fricción superiores a  $40^\circ$  así sean respaldados por ensayos.
- La compactación del material de relleno se debe de realizar al 95% del Proctor de acuerdo a la AASHTO T-99, los espesores de capa no deben de ser mayores a 30cm, la humedad óptima  $\pm 2\%$ .

# Consideraciones de Diseño



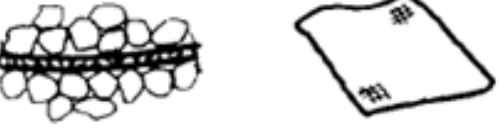
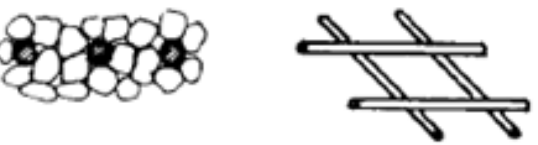
Refuerzo



# Consideraciones de Diseño

Refuerzo – Mecanismos de Transferencia

Tabla 2.4: Mecanismos de Interacción (Marques, 1987)

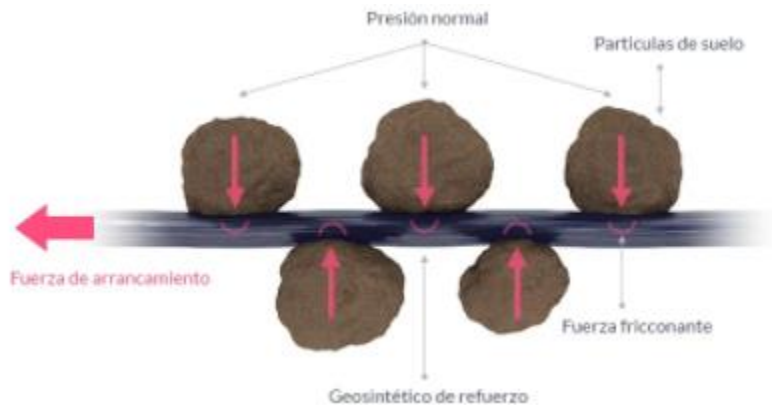
Tipo de Refuerzo	Mecanismo	
	Fricción	Trabazón
Banda Lisa de Metal		
Banda Rugosa de Metal		
Geotextil		
Geomalla		

# Consideraciones de Diseño

Refuerzo – Mecanismos de Transferencia

## FRICCIÓN

Desarrollo de desplazamientos relativos debido a los esfuerzos de corte entre superficie de refuerzo y relleno



## RESISTENCIA PASIVA

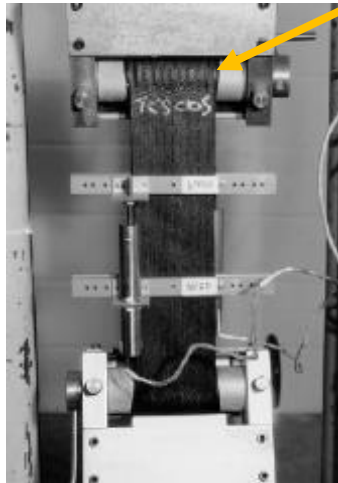
Desarrollo de esfuerzos generados en los refuerzos transversales, es decir, perpendiculares al movimiento principal del muro MME



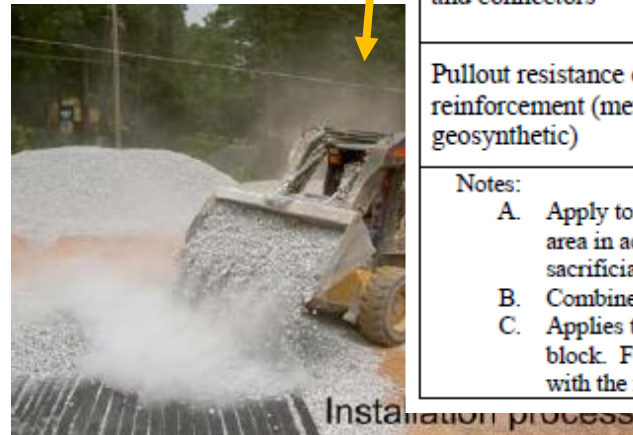
# Consideraciones de Diseño

- Refuerzos Sintéticos:.

$$T_r = \phi T_{al} = \frac{T_{ult}}{RF} = \frac{T_{ult}}{RF_{II}}$$



Creep



Daños de Instalación

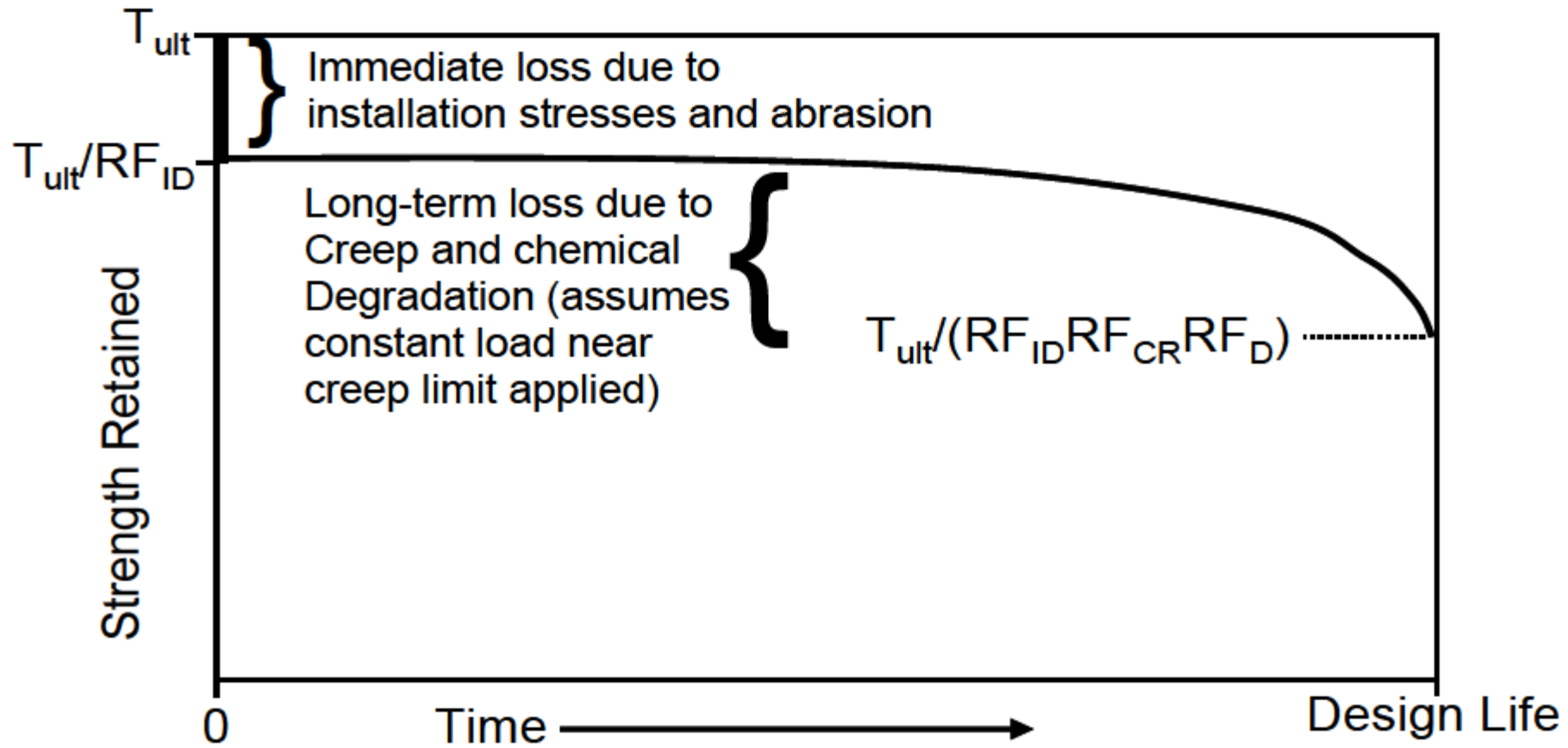
Daños Ambientales

Table 4-7. Resistance Factors,  $\phi$ , for Tensile and Pullout Resistance for MSE Walls (after Table 11.5.6-1, AASHTO {2007}).

Reinforcement Type and Loading Condition		Resistance Factor
Metallic reinforcement and connectors	Strip reinforcements <sup>(A)</sup>	
	Static loading	0.75
	Combined static/earthquake loading	1.00
	Combined static/traffic barrier impact <sup>(B)</sup>	1.00
	Grid reinforcements <sup>(A, C)</sup>	
	Static loading	0.65
Geosynthetic reinforcement and connectors	Combined static/earthquake loading	0.85
	Combined static/traffic barrier impact <sup>(B)</sup>	0.85
	Static loading	0.90
Pullout resistance of tensile reinforcement (metallic and geosynthetic)	Combined static/earthquake loading	1.20
	Combined static/traffic barrier impact <sup>(B)</sup>	1.20
	Static loading	1.00
Notes:		
A. Apply to gross cross-section less sacrificial area. For sections with holes, reduce gross area in accordance with AASHTO (2007) Article 6.8.3 and apply to net section less sacrificial area.		
B. Combined static/traffic barrier impact resistance factors are not presented in AASHTO.		
C. Applies to grid reinforcements connected to rigid facing element, e.g., a concrete panel or block. For grid reinforcements connected to a flexible facing mat or which are continuous with the facing mat, use the resistance factor for strip reinforcements.		

# Consideraciones de Diseño

Refuerzos – Factores de Reducción





# Consideraciones de Diseño

## Refuerzos – Factores de Reducción

- La AASHTO permite en ciertos casos utilizar un Factor de Reducción general.

$$T_{al} = \frac{T_{ult}}{RF} = \frac{T_{ult}}{7}$$

- Esto para:
  1. Relleno granular (arenas o gravas).
  2. Si el PH varia entre 4.5 y 9
  3. Temperatura 30°
  4. Tamaño máximo de las partículas en el relleno 20mm

*“Hay que tener en cuenta que el Factor de Reducción general de 7.0 es muy conservador y puede reducirse considerablemente con resultados de ensayos realizados al refuerzo”*

# Consideraciones de Diseño

## Refuerzos – Geometría del refuerzo

- **Flejes, Cintas y Mallas de Acero:** Están caracterizadas por el área de una sección, el espesor, perímetro del elemento del refuerzo y la distancia centro-centro entre los elementos.
- **Geotextiles y Geomallas:** Están caracterizadas por el ancho del refuerzo y la distancia centro-centro entre los elementos. El área de la sección no es necesaria, debido a que la resistencia de este tipo de refuerzo es expresada en tensión por unidad de ancho.

El ratio de cobertura ( $R_c$ ) es utilizado para determinar el valor de la resistencia por unidad de ancho

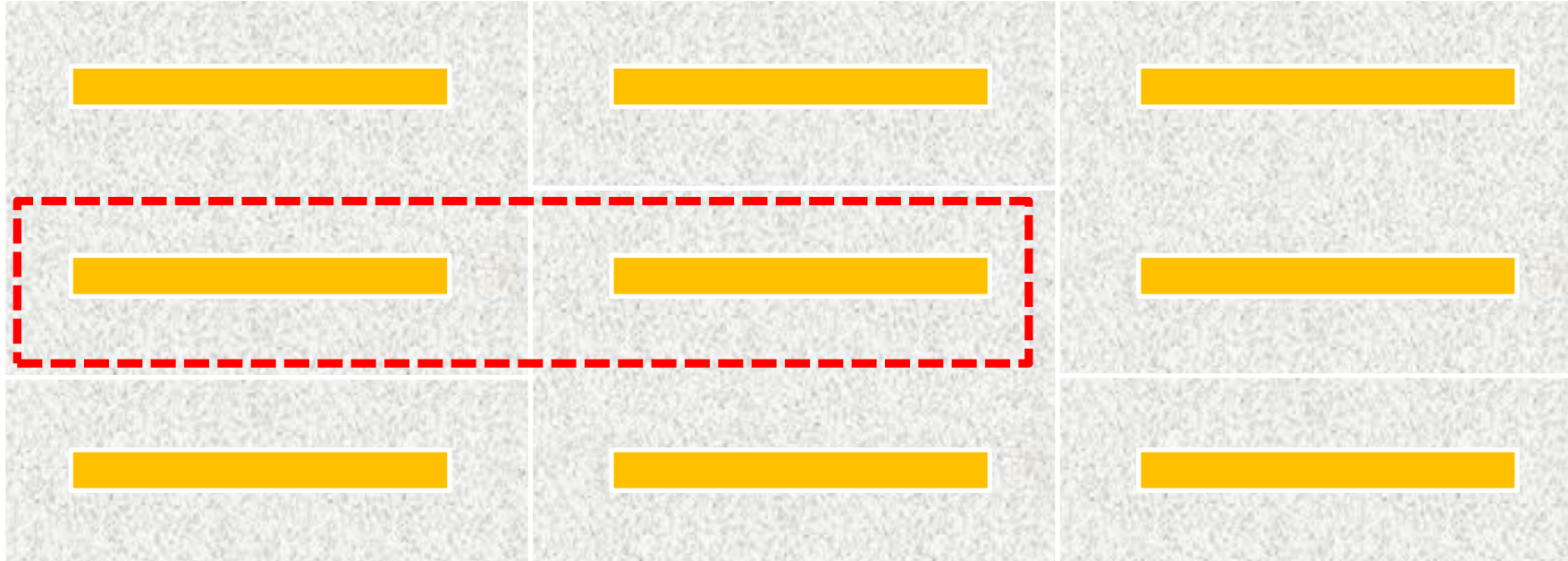
# Consideraciones de Diseño

Refuerzos – Geometría del refuerzo



# Consideraciones de Diseño

Refuerzos – Geometría del refuerzo – Ejemplo 01



## Ejemplo 1:

Ancho de Panel = 1.50m

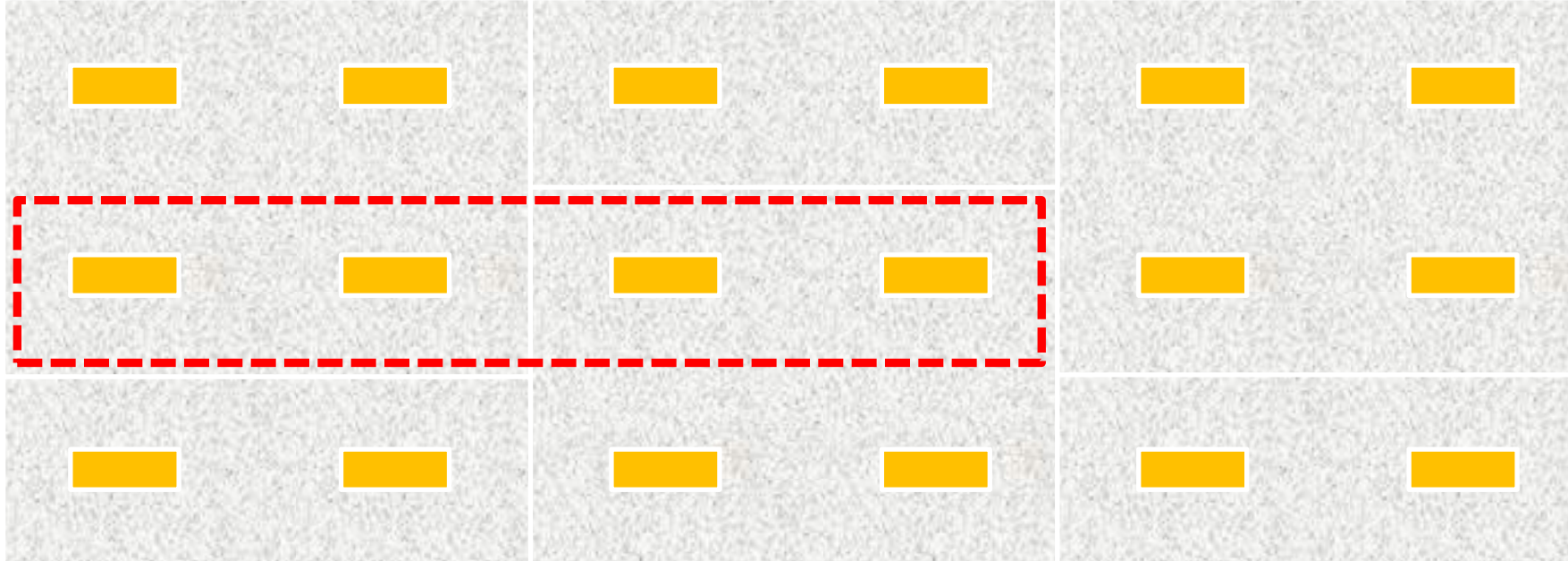
Ancho del refuerzo = 100mm

Distancia ente Anclajes = 750mm

$$R_c = \frac{100}{750} = 0.13$$

# Consideraciones de Diseño

Refuerzos – Geometría del refuerzo – Ejemplo 02



## Ejemplo 1:

Ancho de Panel = 1.50m  
Ancho de Cinta = 50mm  
Distancia ente Anclajes = 750mm  
Espaciamiento @ cinta =  $3.0/(4 \times 2) = 375\text{mm}$

$$R_c = \frac{50}{375} = 0.13$$

# Consideraciones de Diseño

Refuerzos – Geometría del refuerzo – Ejemplo 03

Se tiene que diseñar un MME con una altura total de 6m con un refuerzo continuo tipo MiraGrid 7XT con una resistencia  $T_{adm} = 51.7$  kN/ml.

Calcular la resistencia de diseño a largo plazo para dicho refuerzo según las recomendaciones de AASHTO, }

Para el ejemplo en mención, considerar que NO se cuenta con ensayos de laboratorio.

- Calcula la resistencia de diseño a largo plazo considerando una geomalla de poliéster de alto peso molecular con un factor de reducción por creep de 1.44 Vs. Una geomalla de polietileno con un factor de reducción por creep de 2.6.
- Ambos tienen un factor de reducción por durabilidad de 1.1 y un factor de reducción de daño contra la instalación de 1.05.
  - Tensión Última para ambos casos 100 kN/m
  - Geomalla Poliéster de Alto Peso Molecular → 60.12 kN/m
  - Geomalla de Polietileno → 33.33 kN/m

The image shows a drainage structure with a large circular opening covered by a corrugated metal grate. The structure is built with concrete and stone masonry. The background features a line of palm trees and other vegetation under a cloudy sky. The foreground is a dirt embankment.

# **TENCATE** **GEOSYNTHETICS**

Gracias por su atención

**Ing. Wilfredo Rodríguez**  
**EBM Tencate Geosynthetics**

**Ing. Juan Pablo Broissin**  
**CD Tencate Geosynthetics**