

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA “EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO”

14 al 18 de Noviembre de 2022



EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE GEOCELAS SOBRE SUELOS BLANDOS

**MIGUEL ÁNGEL TORRES PEÑA
GUILLERMO EDUARDO ÁVILA ÁLVAREZ
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá**

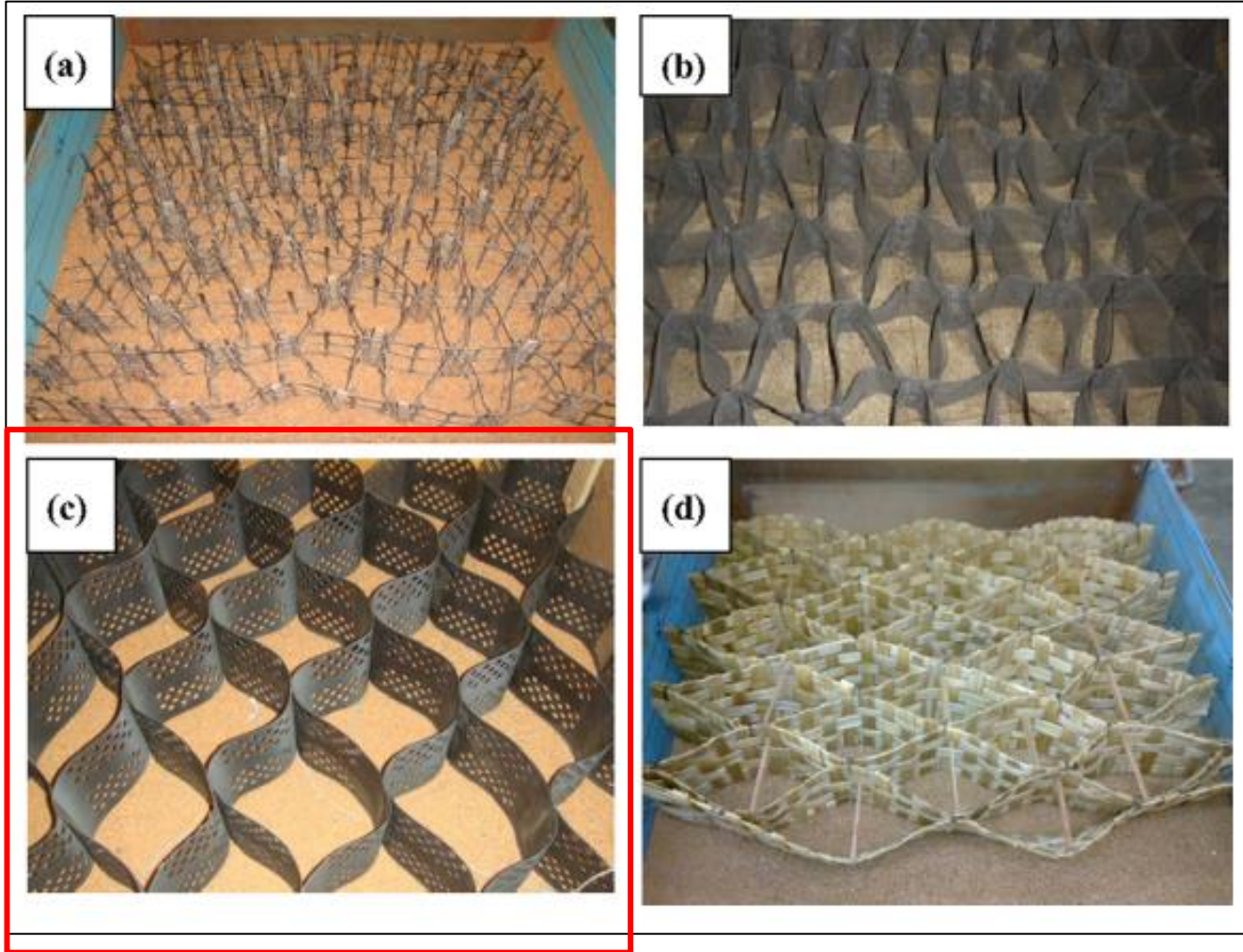


CONTENIDO

1. Introducción.
2. Las geoceldas para mejoramiento de suelos.
3. Montaje experimental y materiales analizados.
4. Resultados obtenidos.
5. Comparación con el modelo numérico.
6. Conclusiones.



1. INTRODUCCIÓN

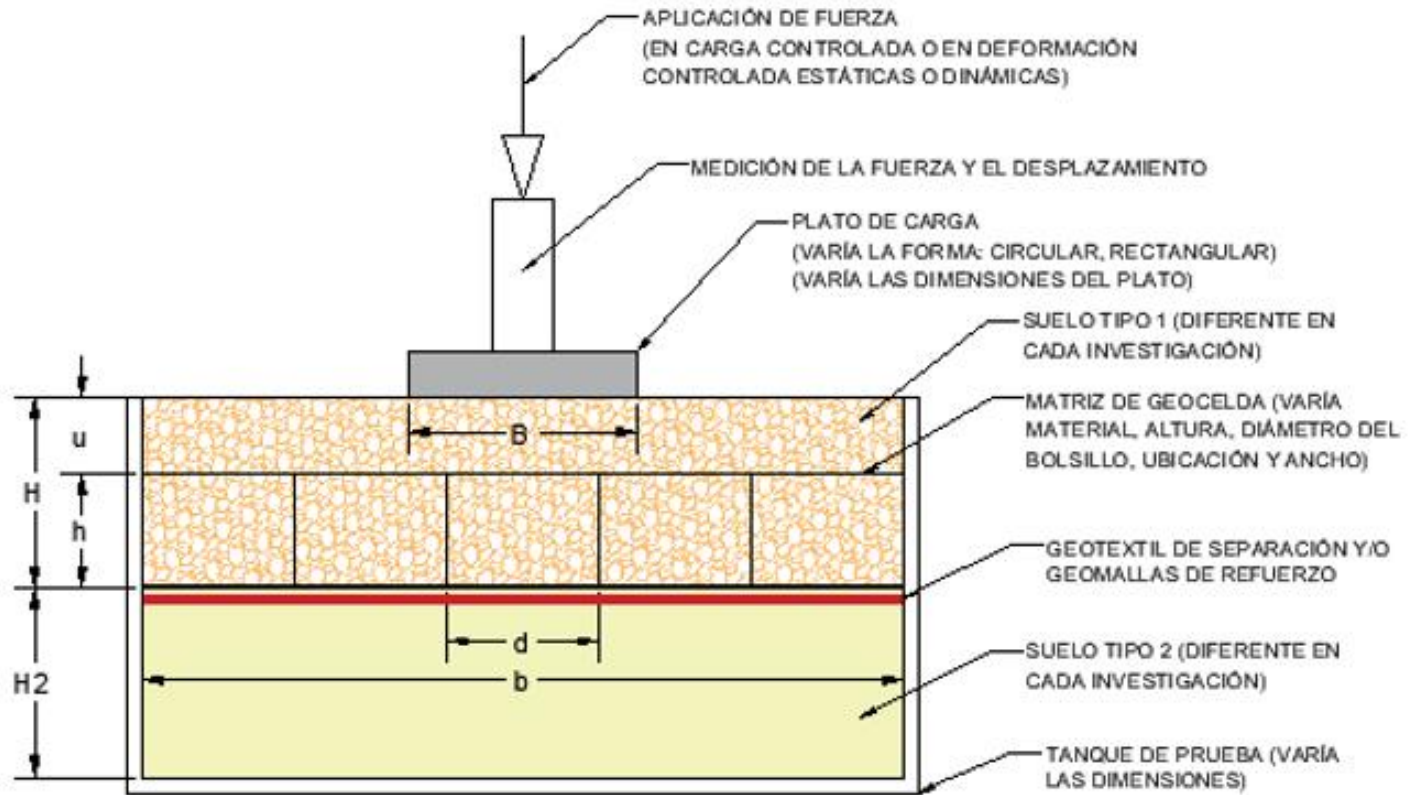


Fuente: Hegde (2017)



2. LAS GEOCELDAS PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS

Esquema de modelos de laboratorio hechos por varios autores

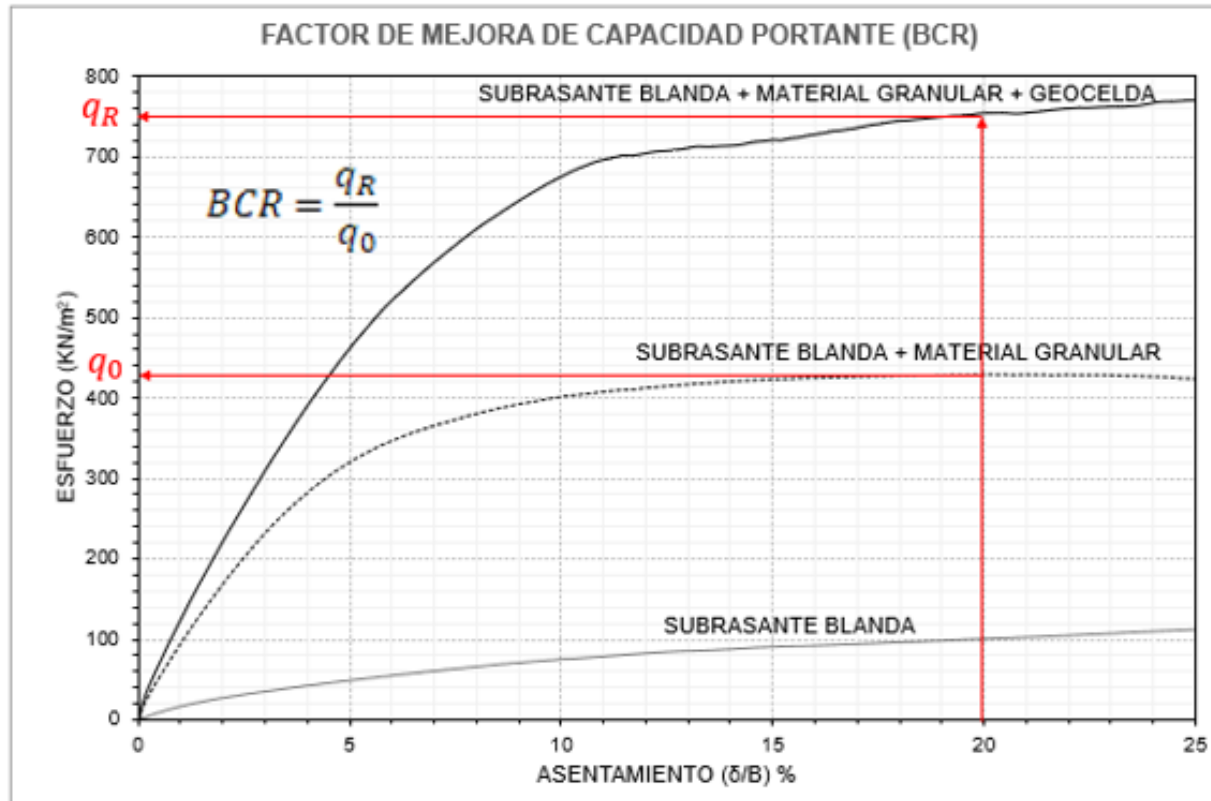


Fuente: Elaboración propia.



2. LAS GEOELDAS PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS

Figura 1-10: Representación gráfica factor de mejora de capacidad portante (BCR).



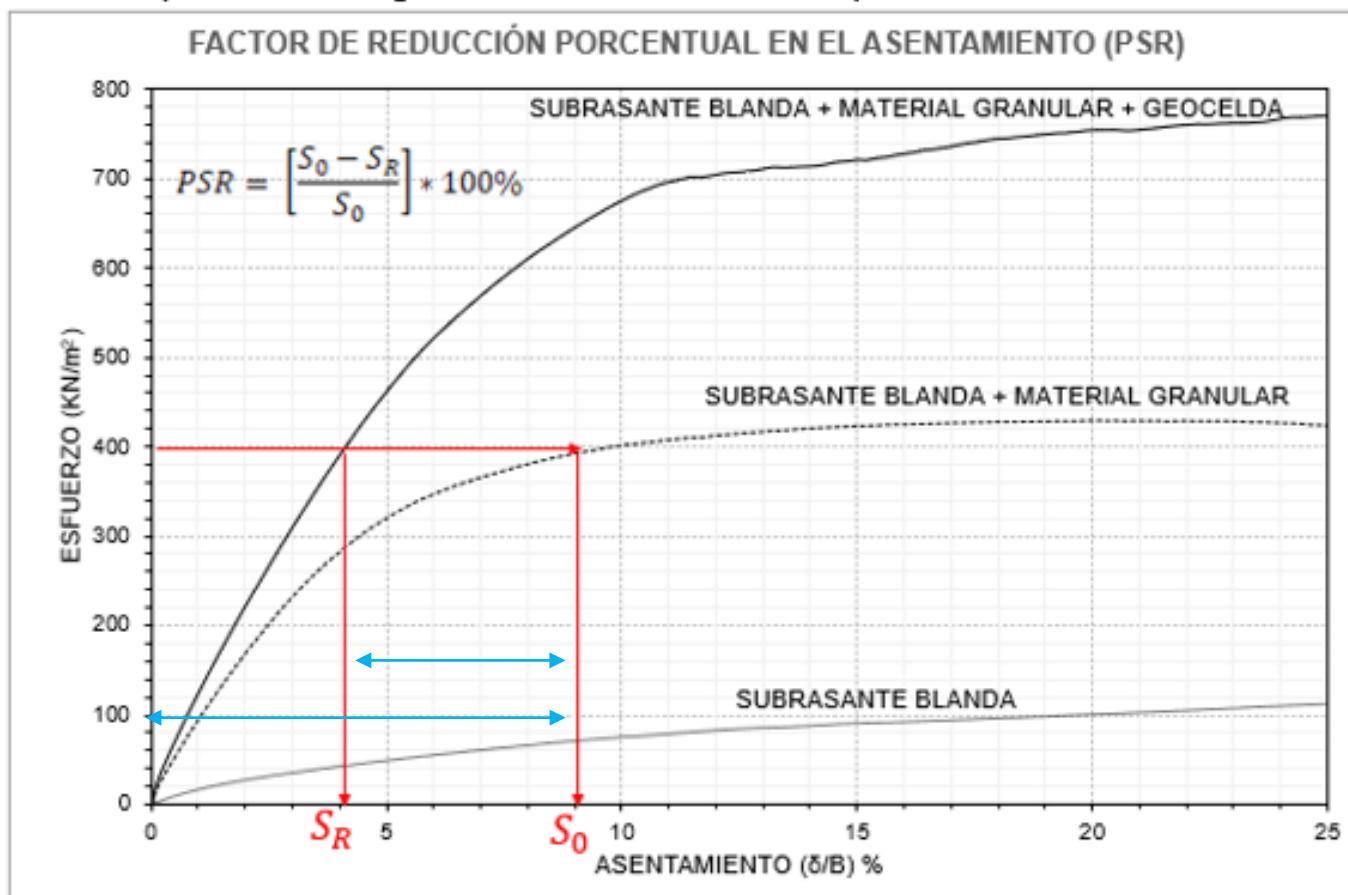
Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Factor de mejora}(\delta) = \frac{\text{Capacidad portante con Geocelda}}{\text{Capacidad portante sin Geocelda}}$$



2. LAS GEOCELDAS PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS

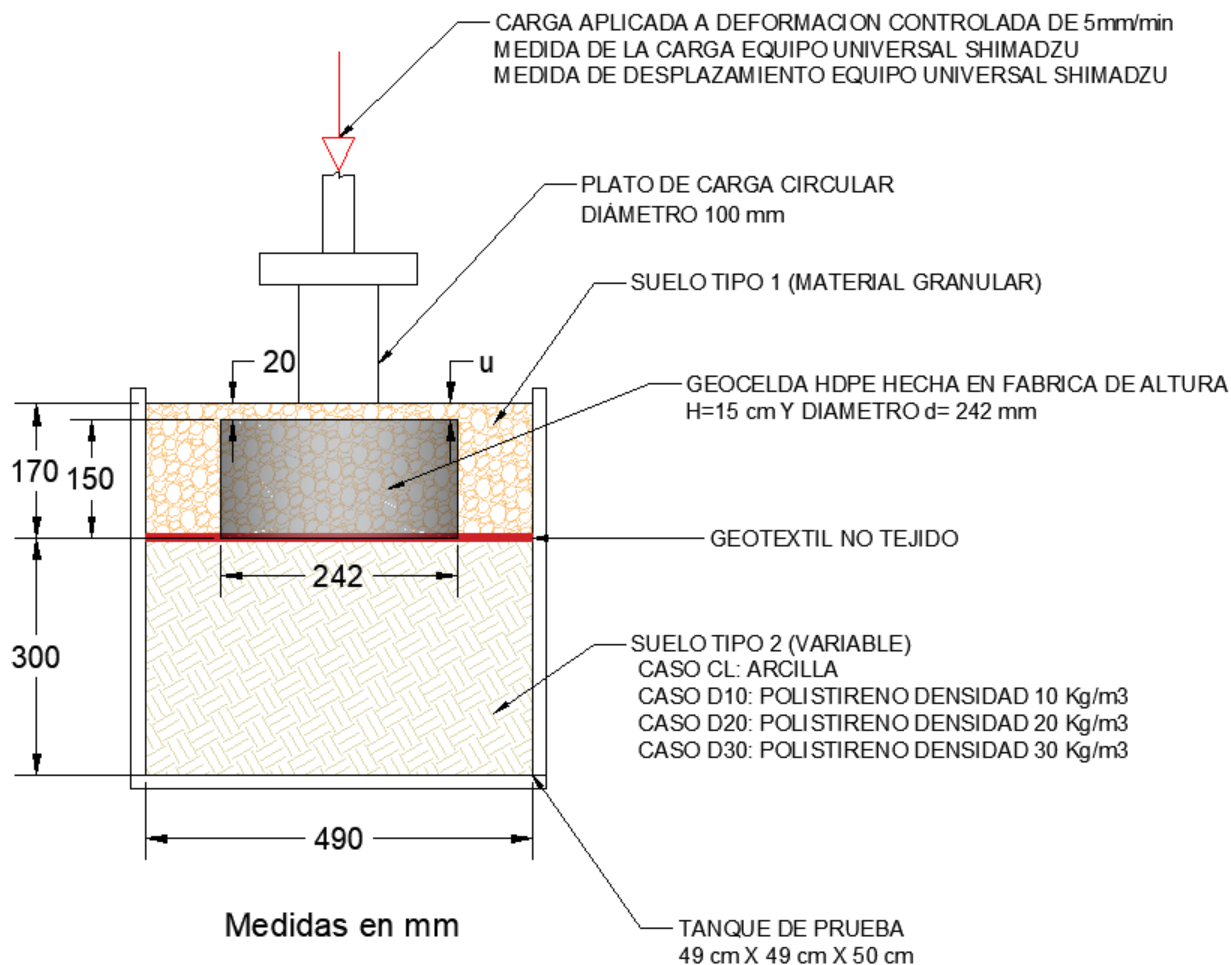
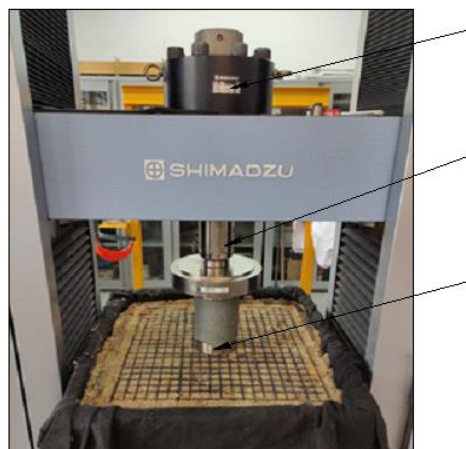
Figura 1-11: Representación gráfica factor de reducción porcentual en el asentamiento (PSR).



Fuente: Elaboración propia.



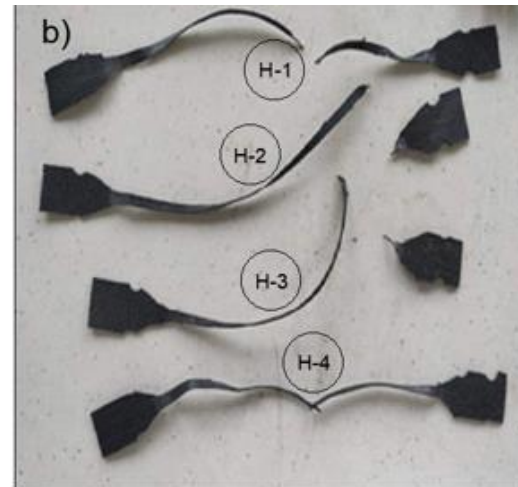
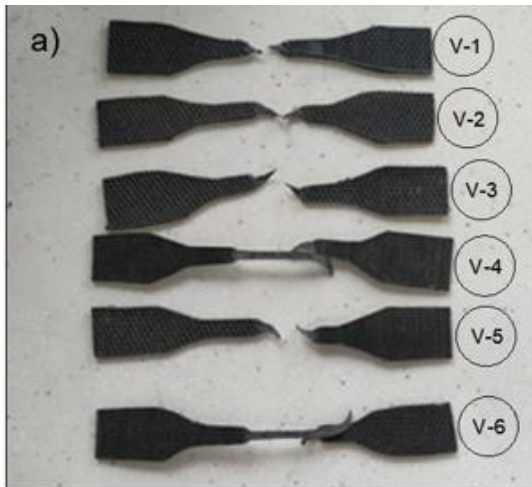
3. MONTAJE EXPERIMENTAL Y MATERIALES ANALIZADOS





3. MONTAJE EXPERIMENTAL Y MATERIALES ANALIZADOS

Caracterización de Geocelda.



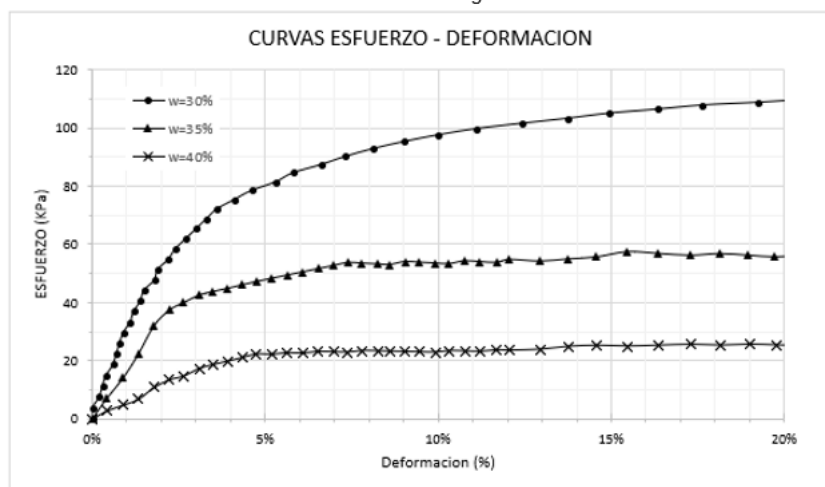
Fuente: Elaboración Propia.



3. MONTAJE EXPERIMENTAL Y MATERIALES ANALIZADOS

Caracterización de la arcilla

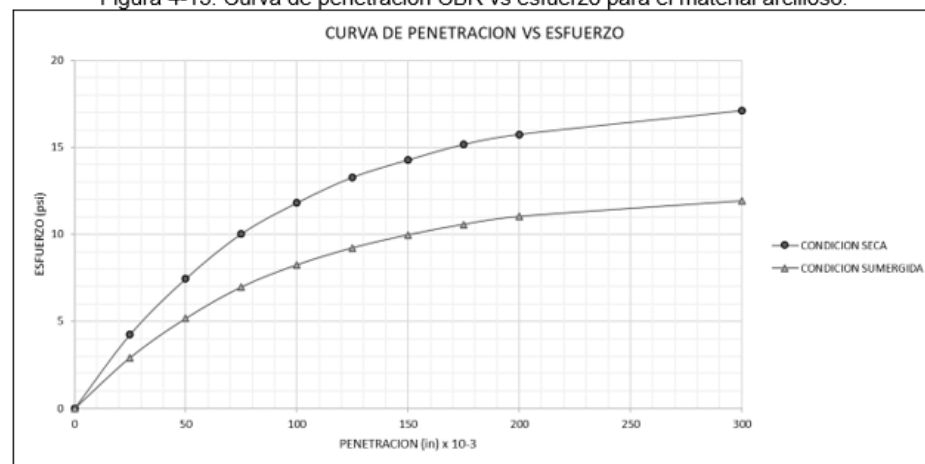
Figura 4-14: Curvas de esfuerzo deformación ensayos de compresión inconfiada para diferentes contenidos de agua.



Fuente: Elaboración propia.

COMPRESIÓN
INCONFINADA

Figura 4-13: Curva de penetración CBR vs esfuerzo para el material arcilloso.



Fuente: Elaboración Propia.

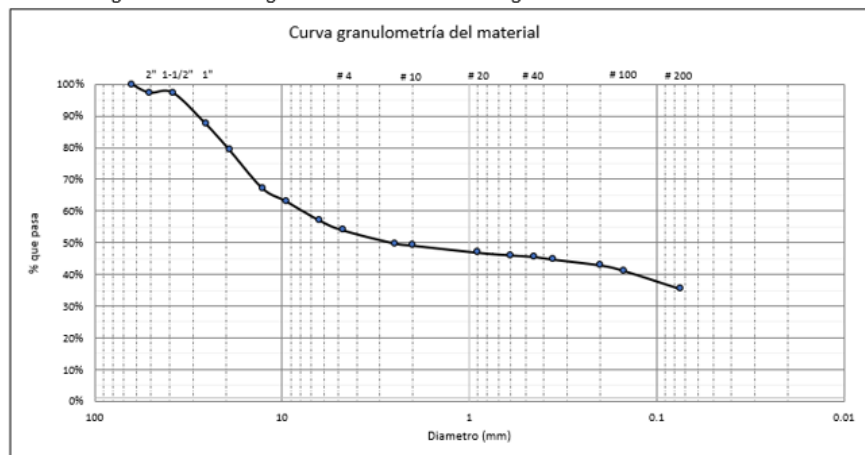
ENSAYO CBR
PARA W=40%



3. MONTAJE EXPERIMENTAL Y MATERIALES ANALIZADOS

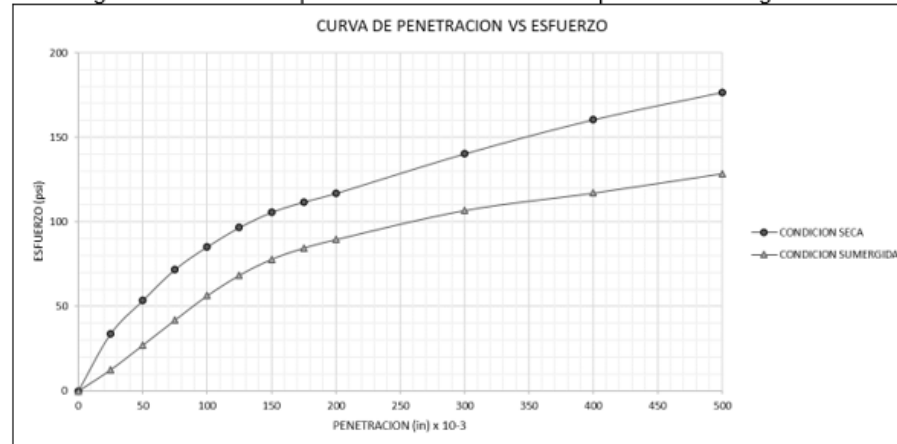
Caracterización del Material granular.

Figura 4-19: Curva granulométrica del material granular usado en los modelos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-21: Curva de penetración CBR vs esfuerzo para el material granular.



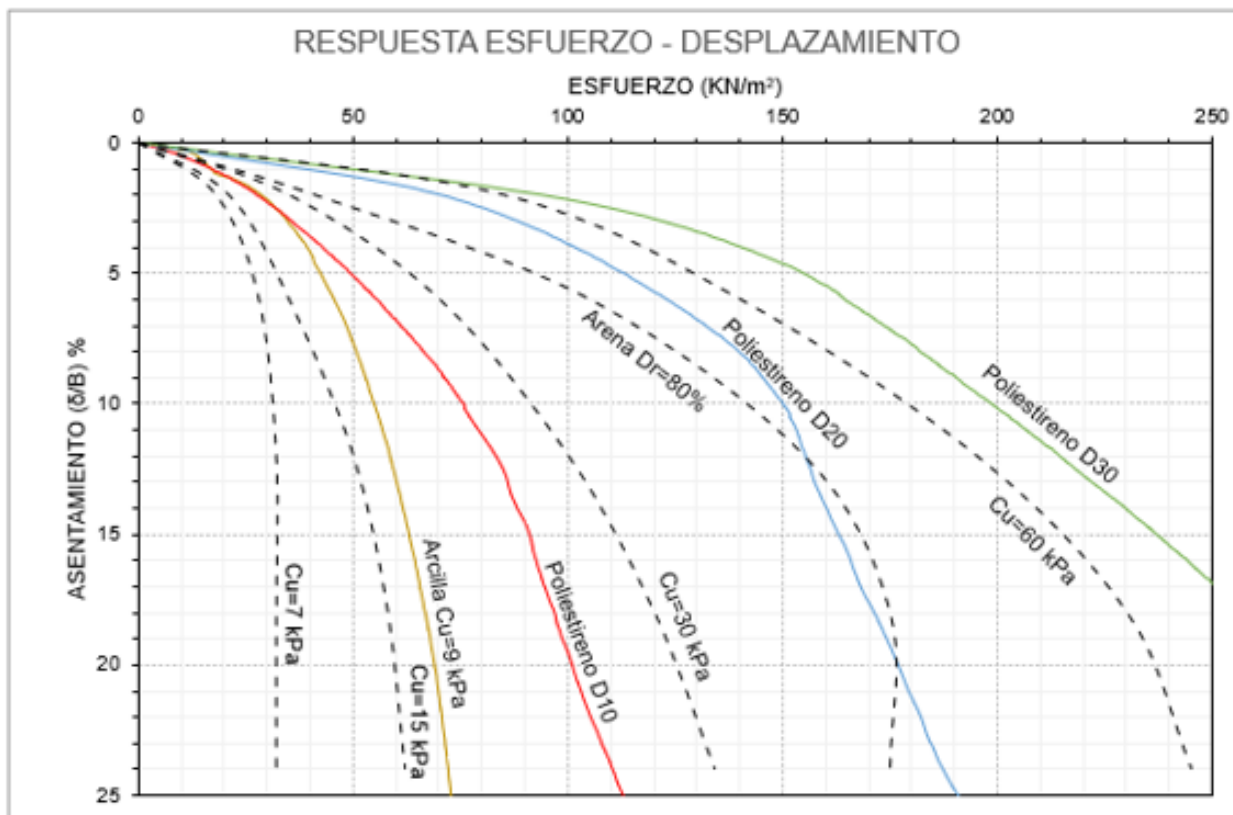
Fuente: Elaboración Propia.



4. RESULTADOS OBTENIDOS

Resultados experimentales. Curvas Esfuerzo - desplazamiento

Figura 6-3: Comparación entre los resultados experimentales de Biswas et al. (2013) (en líneas a trazos) y los resultados experimentales del presente trabajo (en líneas continuas).

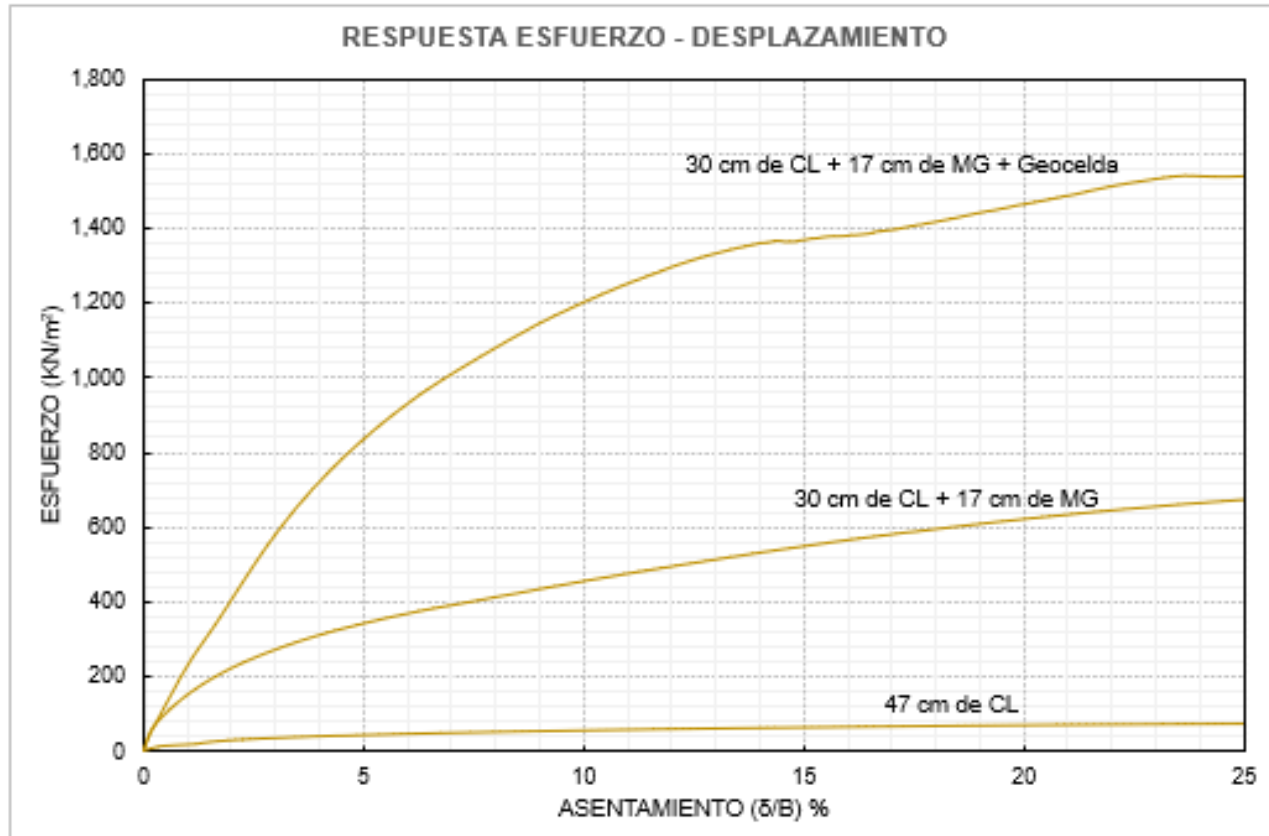


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Biswas et al. (2013) y datos de esta investigación.



4. RESULTADOS OBTENIDOS

Resultados experimentales.

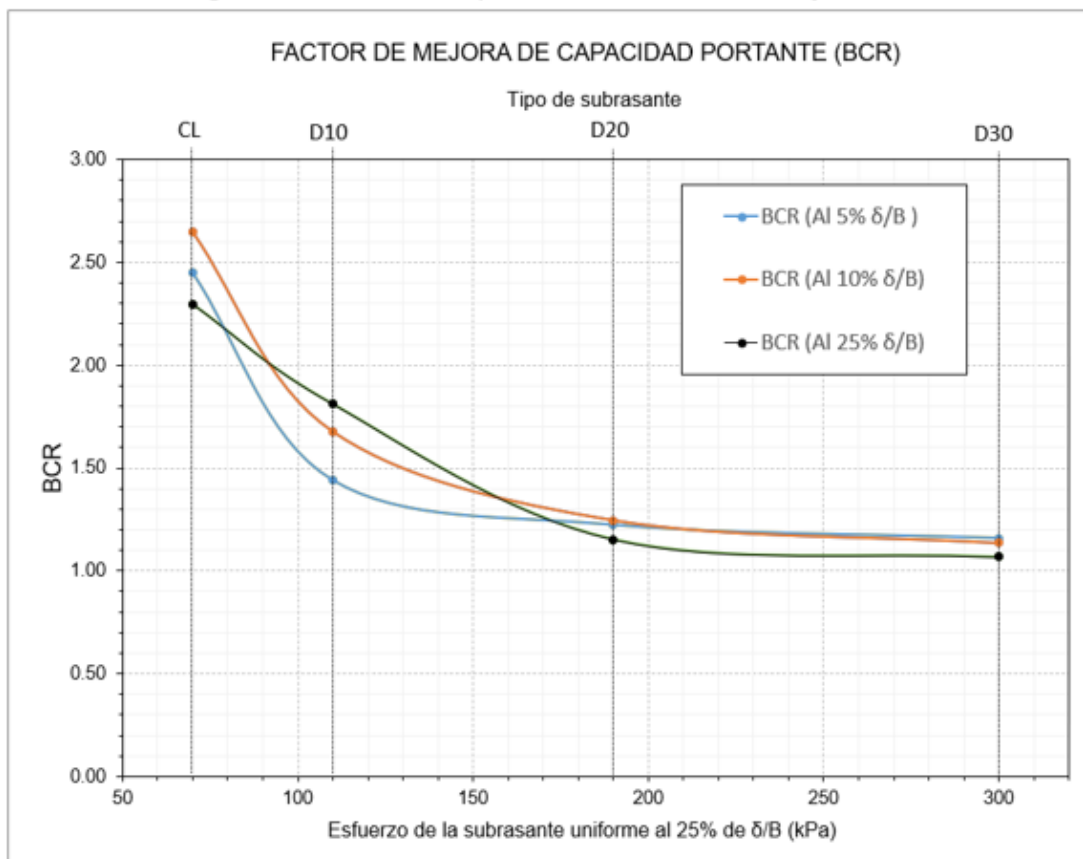




5. RESULTADOS OBTENIDOS

Resultados experimentales.

Figura 6-9: Resultados experimentales del factor de mejora BCR.



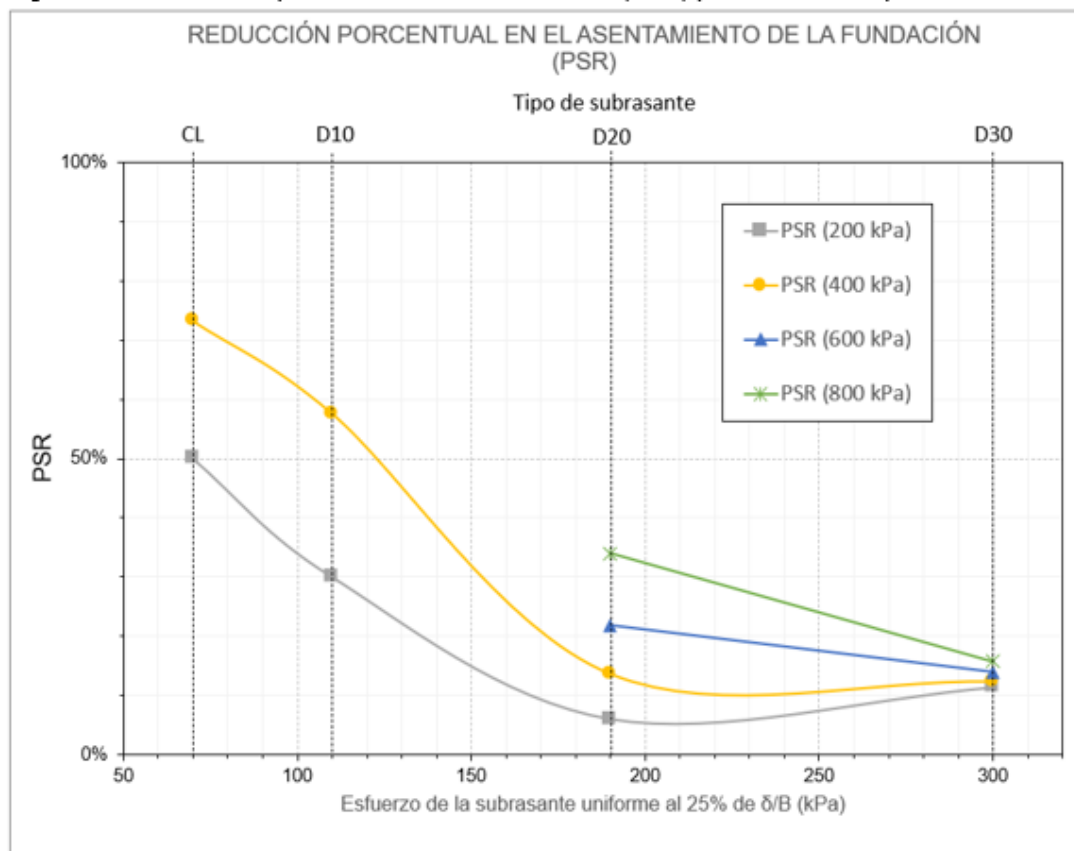
Fuente: elaboración propia.



5. RESULTADOS OBTENIDOS

Resultados experimentales.

Figura 6-10: Reducción porcentual en el asentamiento (PSR) para diferentes tipos de subrasante.



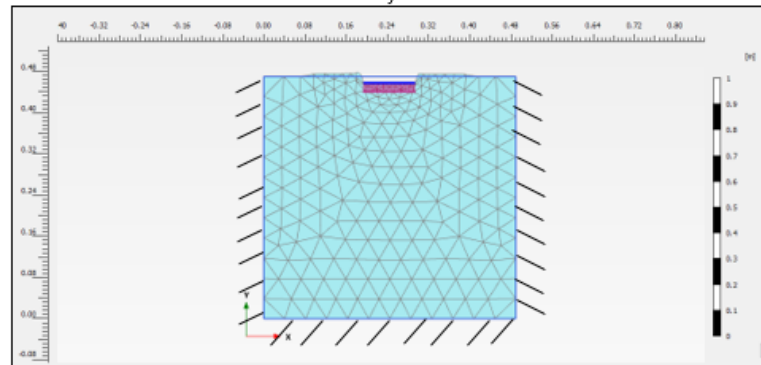
Fuente: elaboración propia.



6. COMPARACIÓN CON EL MODELO NUMÉRICO

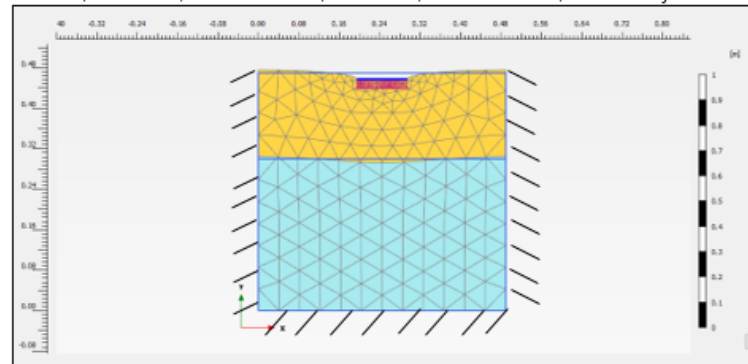
Resultados numéricos.

Figura 7-1: Modelo en elementos finitos para modelos experimentales de capa uniforme CL, D10, D20 y D30.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-2: Modelo en elementos finitos para modelos experimentales con dos capas CL+MG, CL+MG+GC, D10+MG, D10+MG+GC, D20+MG, D20+MG+GC, D30+MG y D30+MG+GC.



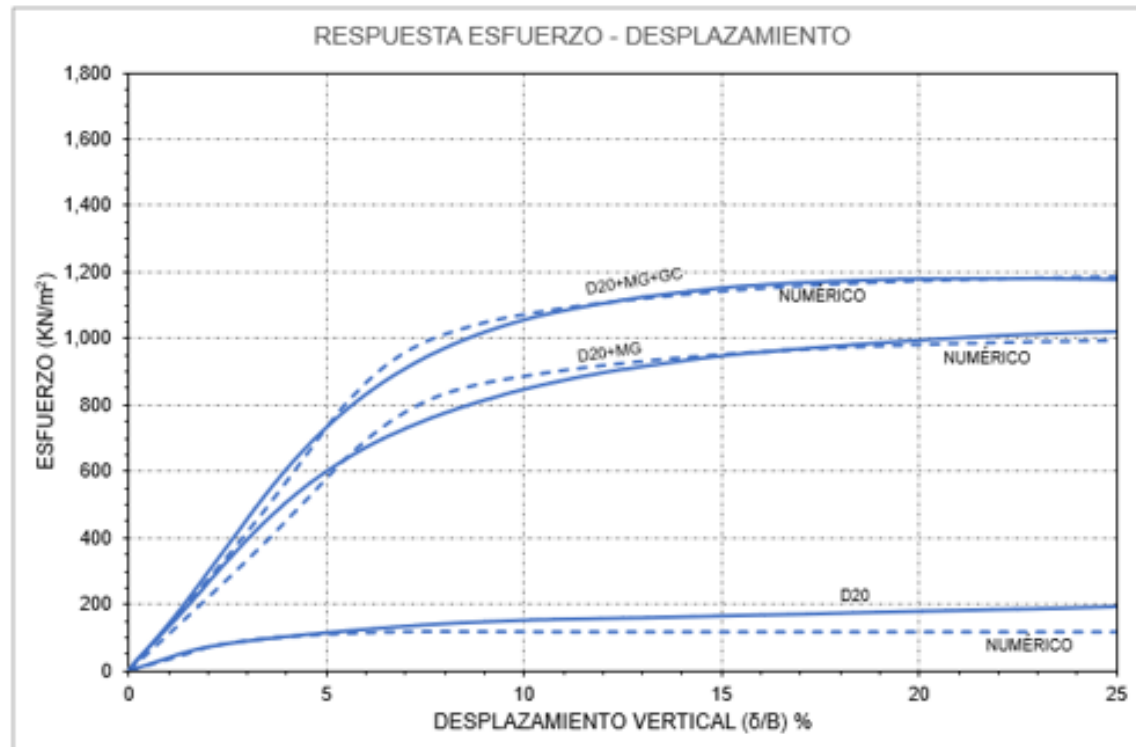
Fuente: Elaboración propia.



6. COMPARACIÓN CON EL MODELO NUMÉRICO

Resultados numéricos.

Figura 7-5: Resultados numéricos para los modelos con subrasante en poliestireno densidad 20 kg/m^3 .



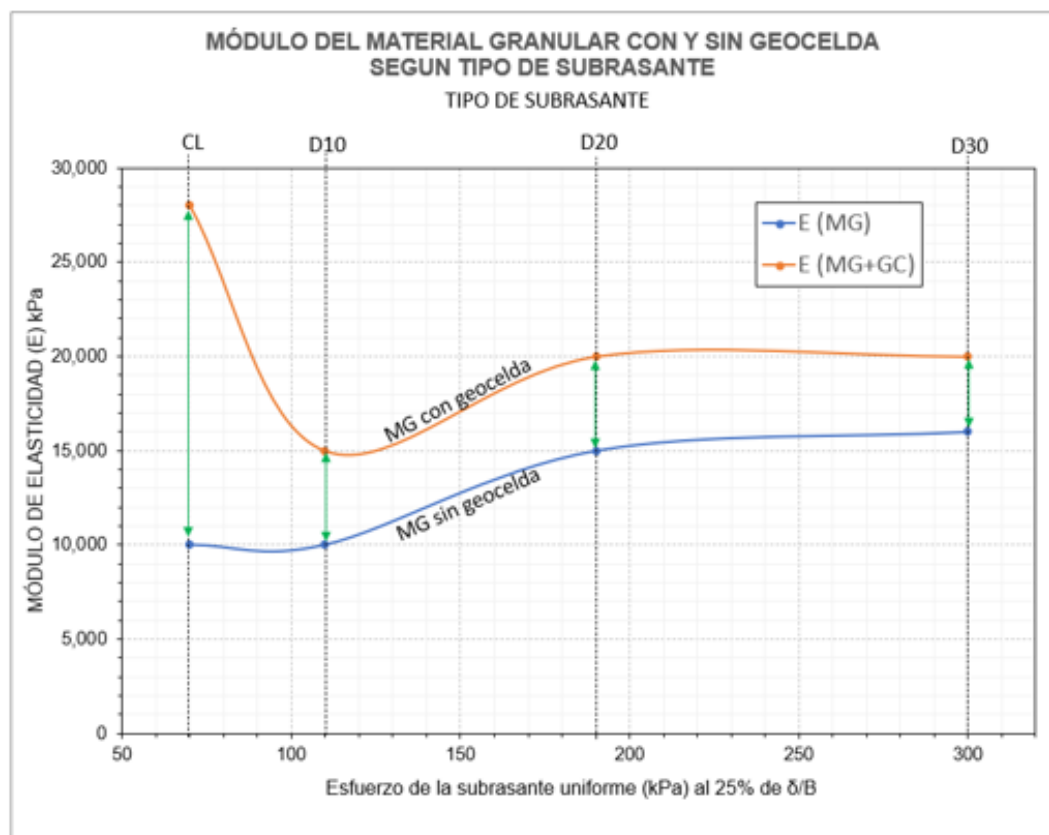
Fuente: elaboración propia.



6. COMPARACIÓN CON EL MODELO NUMÉRICO

Resultados numéricos.

Figura 7-7: Variación del módulo de elasticidad de las capas de material granular con y sin geocelda en función de la subrasante.



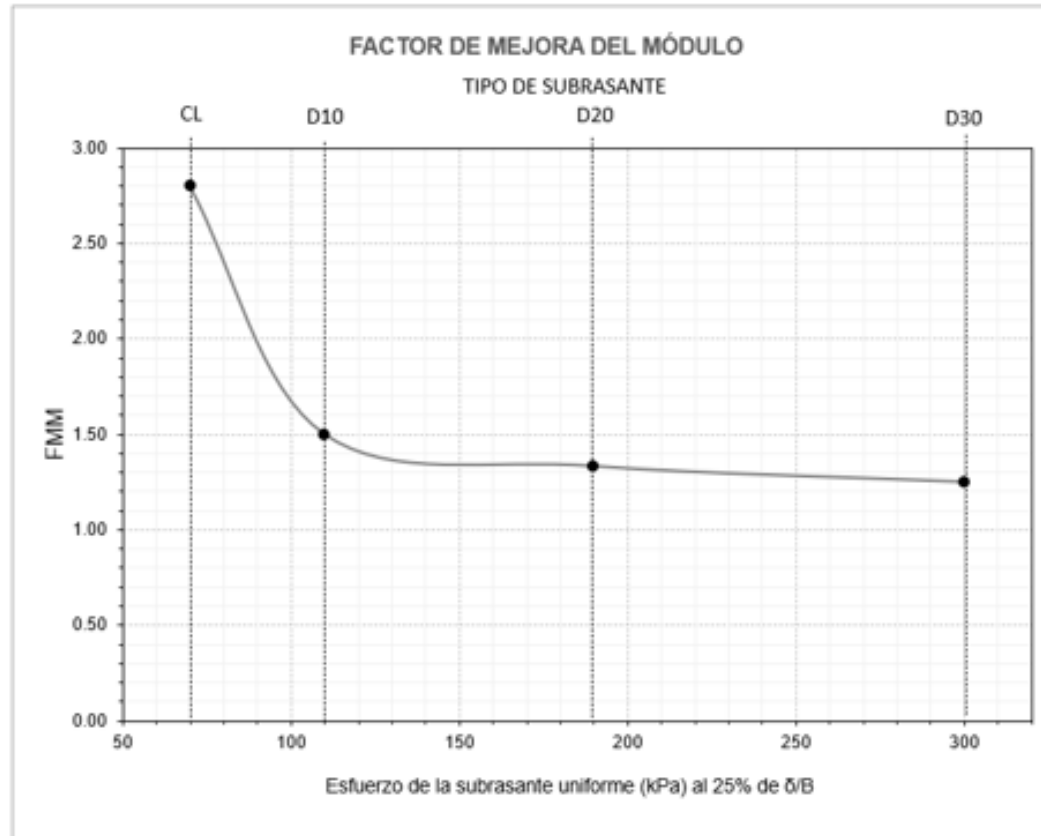
Fuente: elaboración propia.



6. COMPARACIÓN CON EL MODELO NUMÉRICO

Resultados numéricos.

Figura 7-8: Variación del factor de mejora del módulo FMM en función de la subrasante.



Fuente: elaboración propia.



CONCLUSIONES

- El uso de la geocelda mostró mejoras en la rigidez y la resistencia, en todos los modelos experimentales con geocelda. A sí mismo, se observaron reducciones en los desplazamientos verticales medidos en un mismo nivel de esfuerzo.
- Los resultados experimentales y numéricos mostraron que la capacidad portante del sistema con geocelda se incrementó de 1.45 a 2.45 veces la capacidad portante del sistema sin geocelda.
- Los resultados experimentales también mostraron que el módulo de elasticidad de la capa de material granular con geocelda mejoró entre 1.25 a 2.8 veces el módulo de la capa de material granular sin geocelda.
- El trabajo muestra que el aporte de la geocelda se da en mayor proporción cuando se usa sobre subrasantes más blandas, esto permite inferir que precisamente su principal utilidad se presenta cuando se usa sobre este tipo de materiales blandos.



XVII CCG
I SSAG 2022

Cartagena



SCG

50
años

1971-2021

¡GRACIAS!

¿Preguntas?

matorres@unal.edu.co

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA “EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO”

14 al 18 de Noviembre de 2022



GEOMALLAS COMO MATERIAL DE REFUERZO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES IMPLEMENTANDO UNA MODIFICACIÓN AL MÉTODO AASHTO 93

AUTORES

Carlos Slebi Acevedo, Linda Melissa Guerrero, Brandon Martinez Barrera
Semillero de Investigación del Área de Pavimentos
Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito



CONTENIDO

1. Justificación
2. Metodología
3. Resultados
4. Conclusiones/Recomendaciones



JUSTIFICACIÓN

¿Cómo disminuir el material de cantera usado en las capas granulares de la estructura de pavimento sin que se vean afectadas las características portantes de la misma?

CAUSAS

- Escasez
- Aumento de su costo
- Afectación indirecta a la cual se ve expuesto el medio ambiente

Analizar el impacto que tienen la incorporación de geomallas con resistencia a la tracción de 20 KN/m (G20) y de 30 KN/m (G30), como refuerzo en las capas granulares del pavimento flexible, evaluando el efecto en la reducción de los espesores de las capas granulares sin afectar las componentes portantes del pavimento y variando el valor relación de soporte (CBR) entre el 1% y el 6%, en la subrasante.



WORLD





METODOLOGIA

Parámetros de diseño	Unidad	Valor
Periodos de diseño	Años	10
Ejes equivalentes 8,2 Ton	-	8000000
Confiabilidad	%	90
Serviciabilidad inicial		4,2
Serviciabilidad final		2
Error normal combinado		0,45
Nivel de transito		NT3

Tabla 1. Parámetros de entrada del diseño

SE UTILIZA EL MÉTODO AASHTO 93

Geomallas de 20 KN/m y de 30 KN/m





METODOLOGIA

DETERMINACIÓN NÚMERO ESTRUCTURAL (METODOLOGIA AASHTO 93)

$$\text{Log}W_{18} = Z_r * S_0 + 9.36 * \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{2.7}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}(M_R) - 8.07$$

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} \rightarrow D_i = \frac{SN_i - SN_{i-1}}{a_i * m_i} \quad \text{ESPESOR DE CADA CAPA}$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$



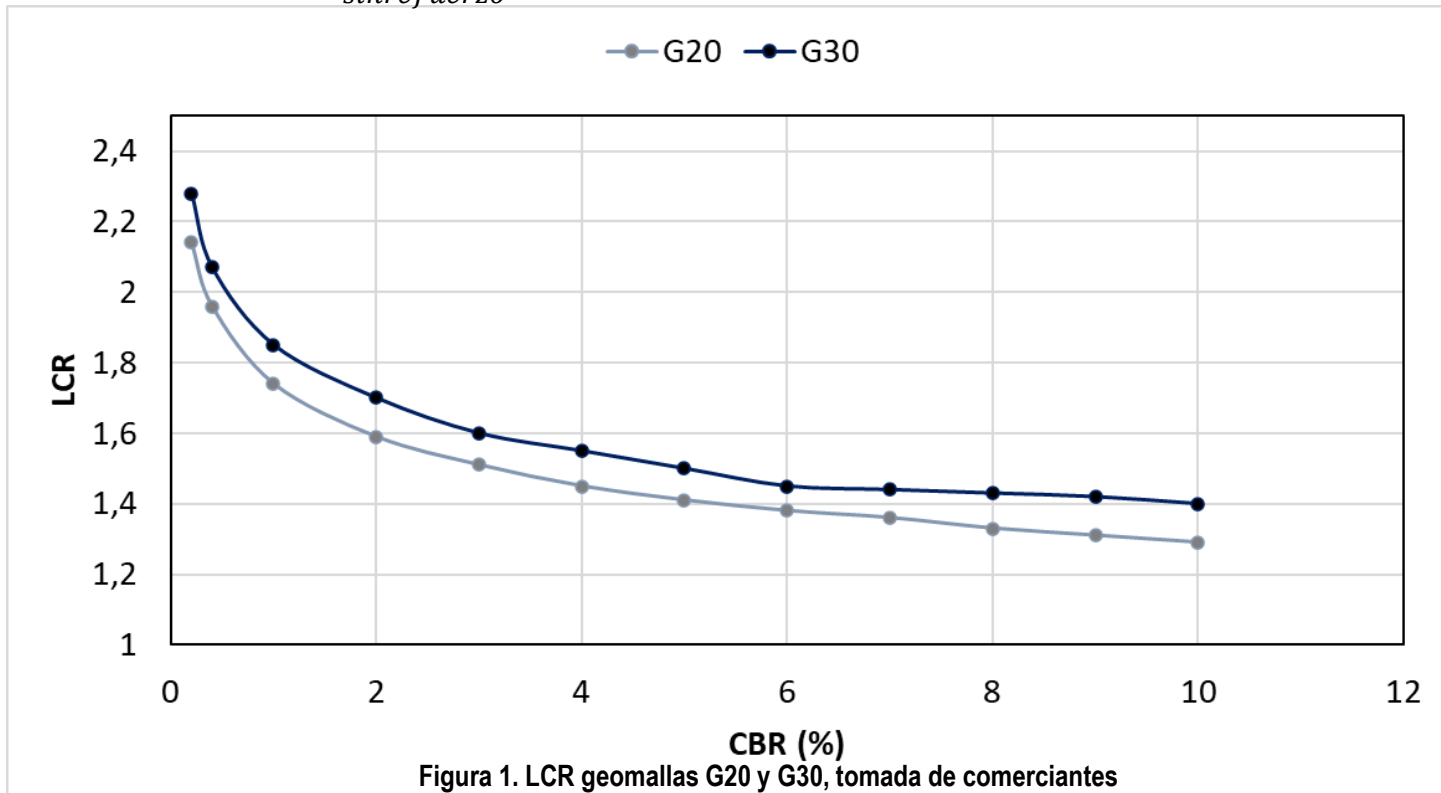
METODOLOGIA

DETERMINACIÓN NÚMERO ESTRUCTURAL (METODOLOGÍA AASHTO 93 MODIFICADO)

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 LCR D_3 m_3$$

$$BCR = \frac{EC_{sinrefuerzo} - EC_{reforzado}}{EC_{sinrefuerzo}}$$

Número estructural teniendo en cuenta la implementación de la geomalla en la capa de subbase granular





RESULTADOS

MÉTODO AASHTO 93

Es muy importante recalcar que a menor valor de CBR de la subrasante, mayor es la reducción que se puede obtener en las capas granulares con la aplicación de una geomalla.

CBR (%)	SN				Reducción (cm)		BCR(%)	
	Calculado	Diseño sin refuerzo	Ref. 20 kN/m	Ref. 30 kN/m	20 kN/m	30 kN/m	20 kN/m	30 kN/m
1	6.24	6.27	6.57	6.31	19.61	24.61	28.07	35.23
2	5.47	5.49	5.57	5.54	13.10	15.10	24.56	28.31
3	5.05	5.07	5.11	5.12	9.21	10.21	20.72	23.00
4	4.76	4.77	4.78	4.79	6.86	7.86	18.01	20.63
5	4.55	4.59	4.61	4.62	6.13	7.13	17.88	20.79
6	4.39	4.41	4.46	4.44	4.32	5.32	14.17	17.45

Tabla 2. Números estructurales, reducción de espesores y valores de BCR(%)

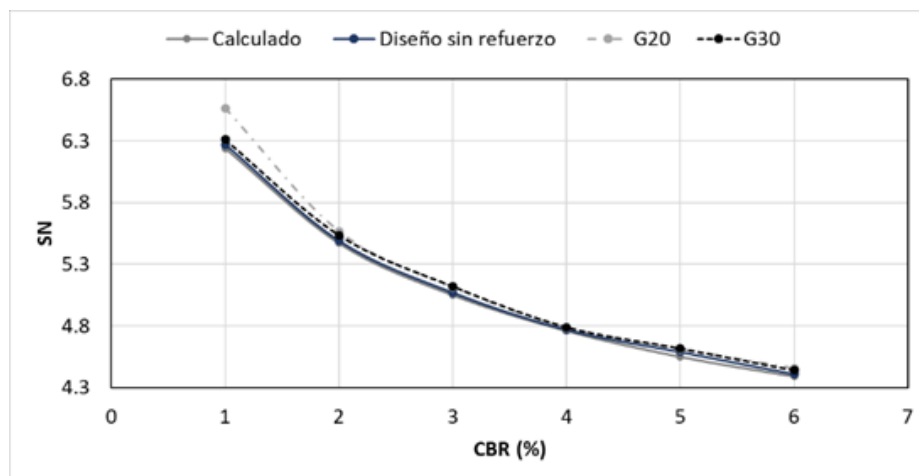


Figura 1. Variación del número estructural (SN) en función del diseño con geomalla para distintos valores de CBR

En la figura 1 se presenta la relación del número estructural (SN) en función del CBR (%), para el SN calculado, diseño sin refuerzo, con refuerzo de geomalla G20 y con refuerzo de geomalla G30



RESULTADOS

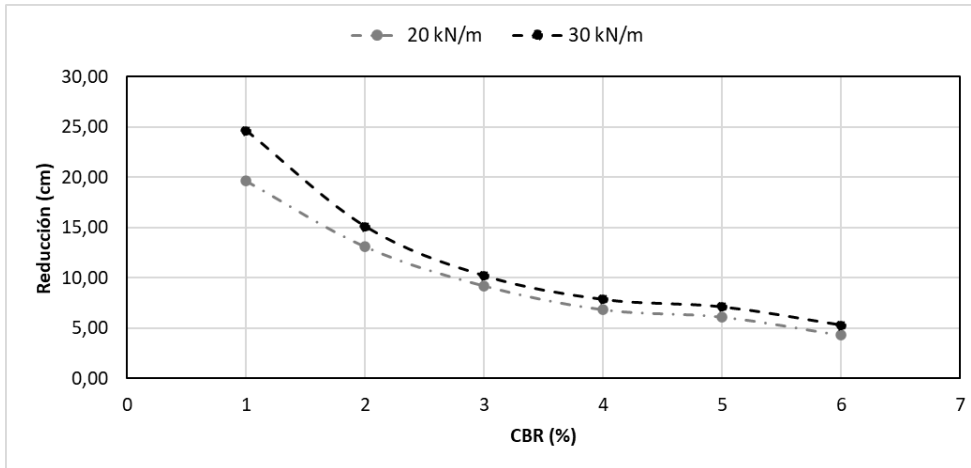


Figura 2. Valores de reducción de capa (cm) en función del CBR

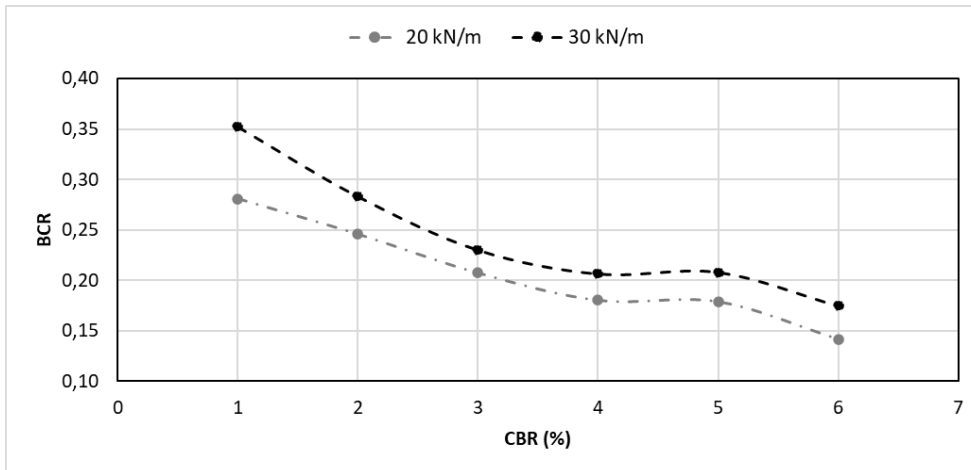


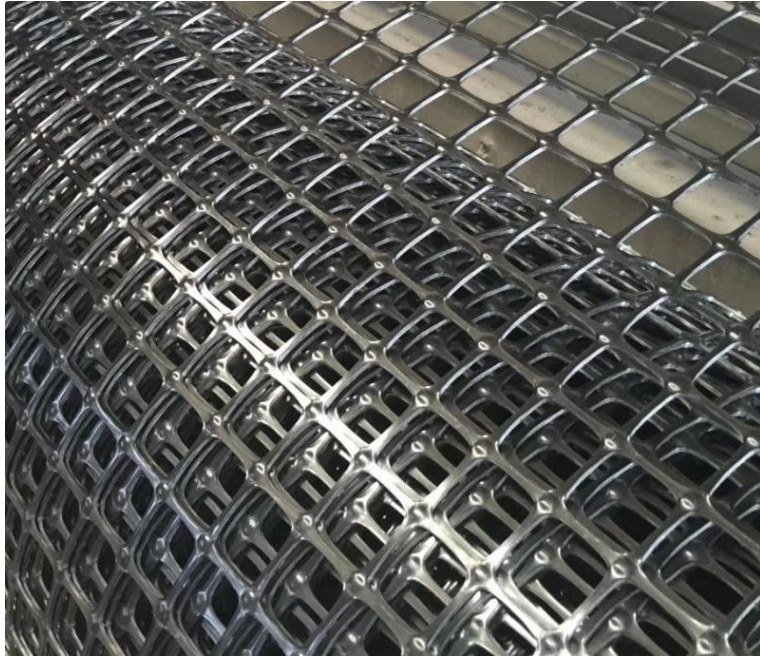
Figura 3. Valores de BCR (%)

La Figura 1 (a), muestra las reducciones de espesores en las capas granulares al incorporar las geomallas como refuerzo.

En la Figura 2 se muestra el coeficiente de reducción de capa de base (BCR) implementando las geomallas G20 Y G30



CONCLUSIONES



La incorporación de geomallas suele ser una solución útil cuando los valores de CBR son inferiores al 5%. Para pavimentos cuya subrasante posee un CBR mayor a 5%, la reducción de espesor no es un factor relevante para la diferenciación de los dos tipos de geomallas, ya que tanto para la geomalla G20 como para la G30 las reducciones de espesores son muy similares, por lo cual, se recomienda implementar la geomalla G20 en subrasante que presenten un CBR mayor a 5%.

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/PP-Polypropylene-Biaxial-Geogrid-SG15-15-405386286.html>



XVII CCG
I SSAG 2022

Cartagena



SCG

50
años

1971-2021

¡GRACIAS!

¿Preguntas?

carlos.slebi@escuelaing.edu.co

linda.guerrero@mail.escuelaing.edu.co

brandon.martinez@mail.escuelaing.edu.co

**XVII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA “EVALUACIÓN Y
GESTIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS CON ÉNFASIS EN LOS
EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO”**

14 al 18 de Noviembre de 2022



**XVII CCG
ISSAG 2022**

Cartagena

**ASPECTOS Y DETALLES FUNDAMENTALES SOBRE EL
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN
EN SUELO REFORZADO**

Carlos E. Espinosa P.

Consultor Geotecnia – Geosintéticos – Asesor Sector Publico y Privado

Omar Torres P.

Director GEOMATRIX SA





CONTENIDO

- **SME (Suelo Mecánicamente Estabilizado) - Tipo de muro, fachada, refuerzo**
- **Suelos del sitio y parámetros de resistencia.**
- **Altura de Diseño - Topografía y niveles del muro**
- **Resistencia disponible del geosintético según el tipo de polímero.**
- **Metodologías de Diseño**
- **Estabilidad interna, externa, global y combinada.**
- **Resistencia disponible del geosintético según el tipo de polímero.**
- **Ejemplo de Diseño**
- **Construcción MSR Hd =10m – 12m – 14m - Construcción Estribos y Aproches 2008**
- **Conclusiones**



1. SME (Suelo Mecánicamente Estabilizado)

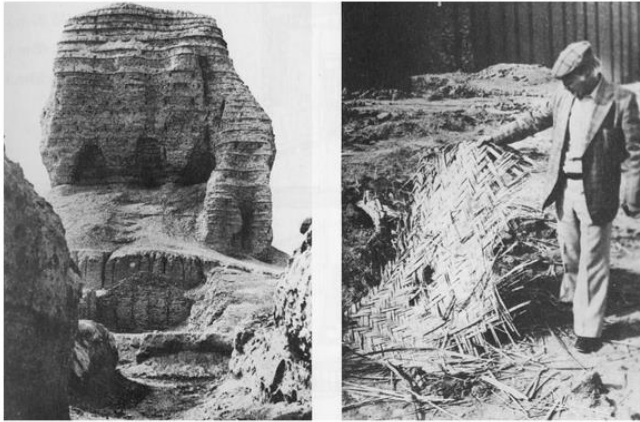


Fig. Ziggurat 3000 - 1500 A.C.



Fig. Ciudad Perdida – 1200-1600 D.C.



1956 J.P. Giroud –
1977 Términos Geotextil y Geomembrana



Fig. Actualidad MSEW (Antioquia)

**ASPECTOS Y DETALLES FUNDAMENTALES SOBRE EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN SUELO REFORZADO**



2. Tipo de muro, fachada, refuerzo



Wrap around



Escamas de concreto



Bloques mampostería



Paneles de concreto

<https://reinforcedearth.com/products/retaining-walls/mechanically-stabilized-earth-mse-retaining-walls/piano-wall/>



Fachadas de gavión



Llantas recicladas

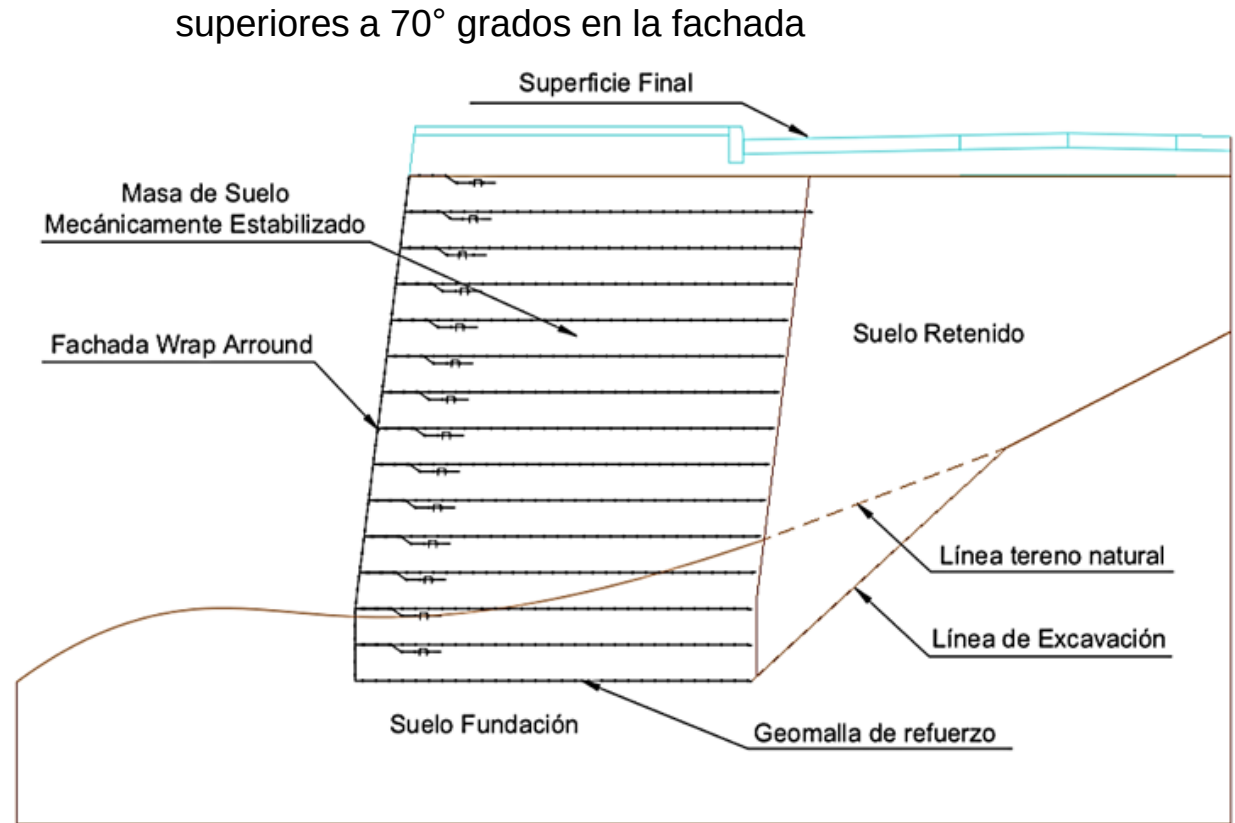
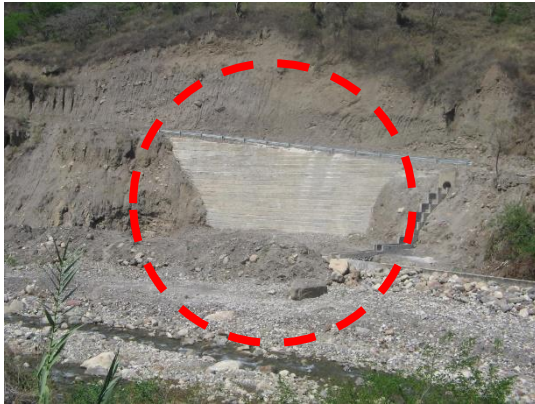
<https://magazine.cim.org/en/operations/reimagining-a-tired-design-en/>



3. Suelos del sitio y parámetros de resistencia.

3 suelos

γ, ϕ, c



reforzado, retenido, fundación



3. Suelos del sitio y parámetros de resistencia.

existe estudio geotécnico del sitio?



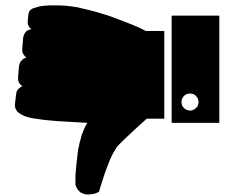
Que suelos se tienen
para rellenos ?

Parámetros de
resistencia?

El estudio es solo para
el diseño de Edificios?

γ, ϕ, c

~~información de suelos NO DISPONIBLE~~



Solicitar un Estudio Completo al
dueño del proyecto

Asumir las propiedades y
parámetros de resistencia



3. Suelos del sitio y parámetros de resistencia.

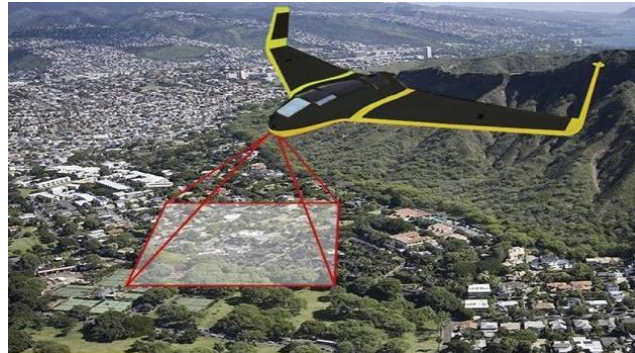
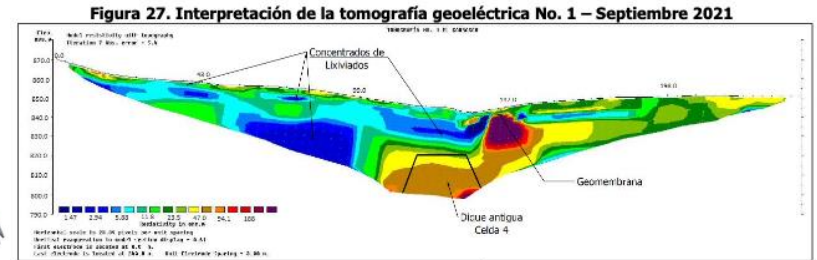
ingeniería geotécnica para muros MSR - SME - MSEW





4. Altura de Diseño - Topografía y niveles del muro

geofísica,
drones,
estaciones,
niveles y
cintas
métricas





4. Altura de Diseño - Topografía y niveles del muro



SEP - 2012



NOV - 2012



NOV - 2012



NOV - 2012



NOV - 2013



OCT - 2016

ASPECTOS Y DETALLES FUNDAMENTALES SOBRE EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN SUELO REFORZADO



5. Resistencia disponible del geosintético según el tipo de polímero.

$$T_{dis} = \frac{T_{ult}}{RF_{ID} \cdot RF_D \cdot RF_{CR}} \quad (1)$$

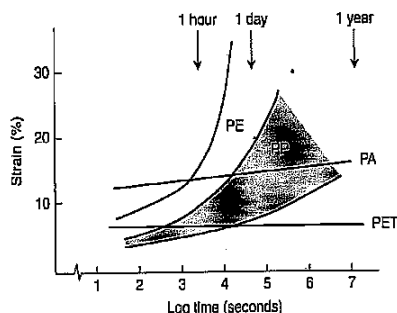
T_{dis} = resistencia disponible

T_{ult} = resistencia última

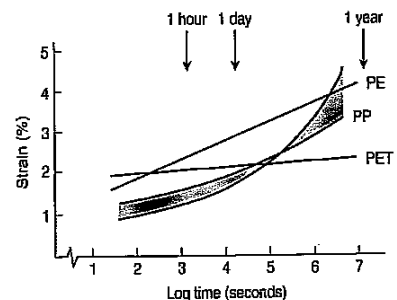
RF_{ID} = factor de reducción por daño de instalación

RF_D = factor de reducción por durabilidad

RF_{CR} = factor de reducción por creep



(b) Creep at 60% load



(a) Creep at 20% load

Tipo de Polímero	RF_{CR}
Poliéster (PET)	2,5 - 1,6
Polipropileno (PP)	5,0 - 4,0
Polietileno de alta (HDPE)	5,0 - 2,6

R. Koerner, Designing With Geosynthetics.



6. Metodologías de Diseño

- AASHTO98 /Demo 82
- AASHTO02/FHWA-NHI-00-043
- AASHTO 2007-2010
- FHWA-NHI-10-024
- NCMA1997
- AASHTO 2017-2020. Simplified AASHTO Method
- AASHTO 2020 – Simplified Stiffness Method for geosynthetics which can be used instead of the Simplified AASHTO.

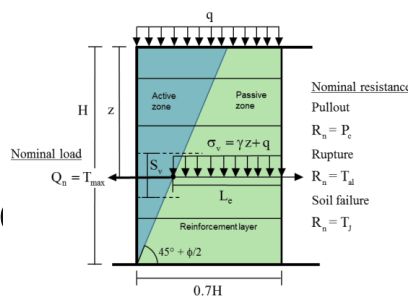
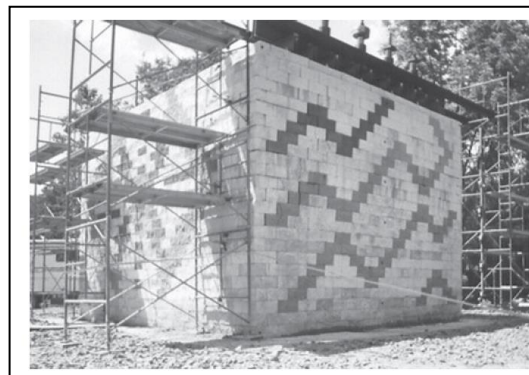
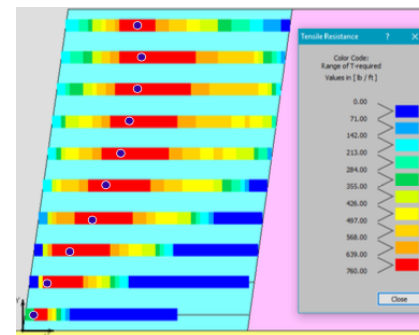
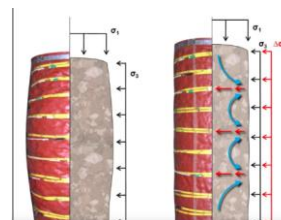


Figure 5. Internal stability limit states.

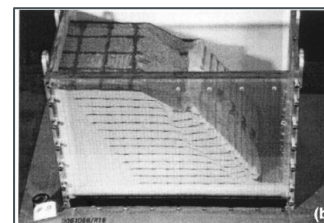
Bathurst, R.J



Dov Leshchinsky



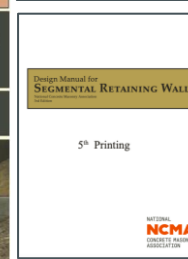
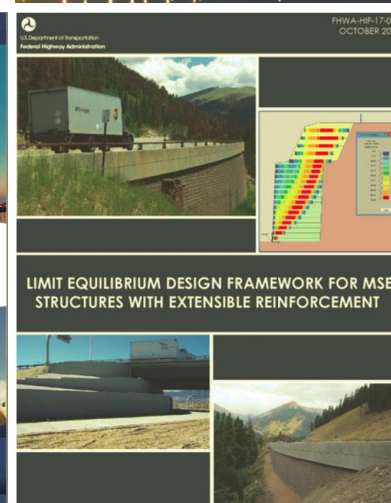
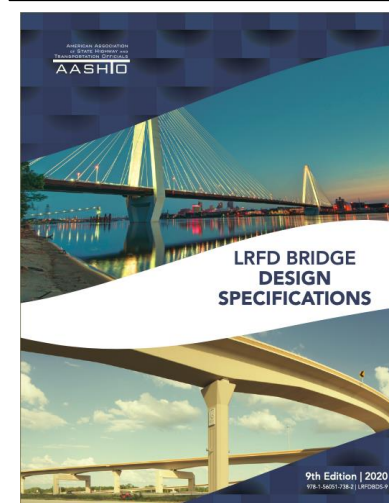
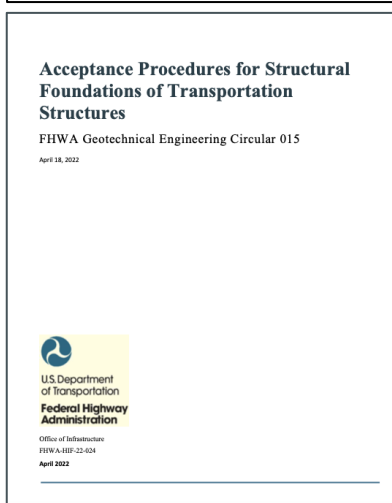
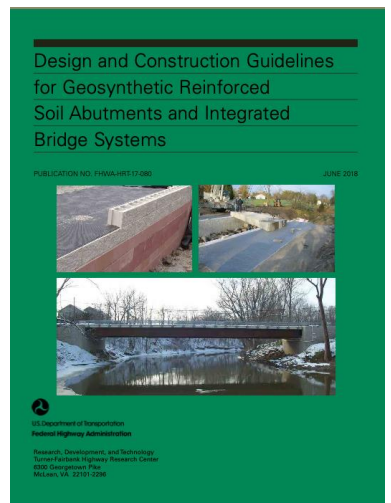
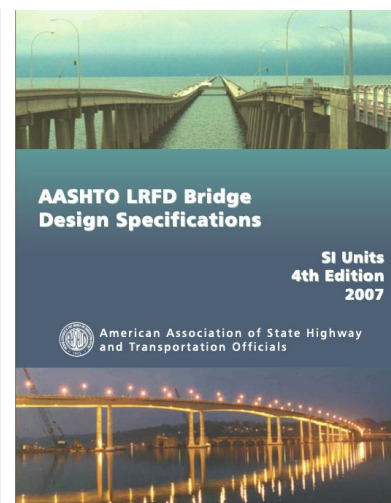
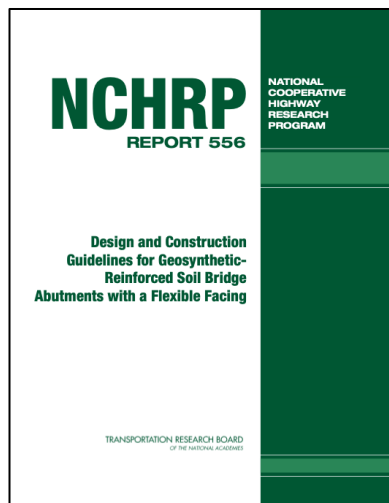
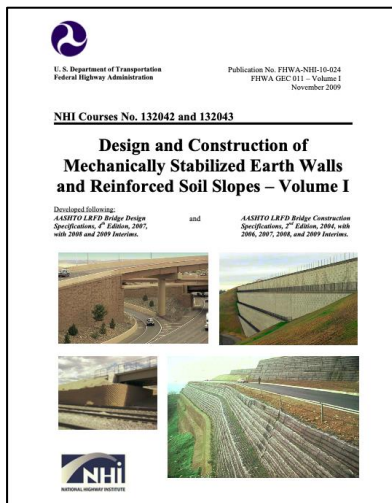
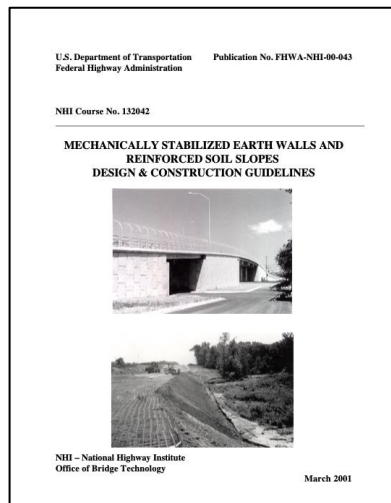
M. Ziegler



Fuente. Jorge G. Zornberg

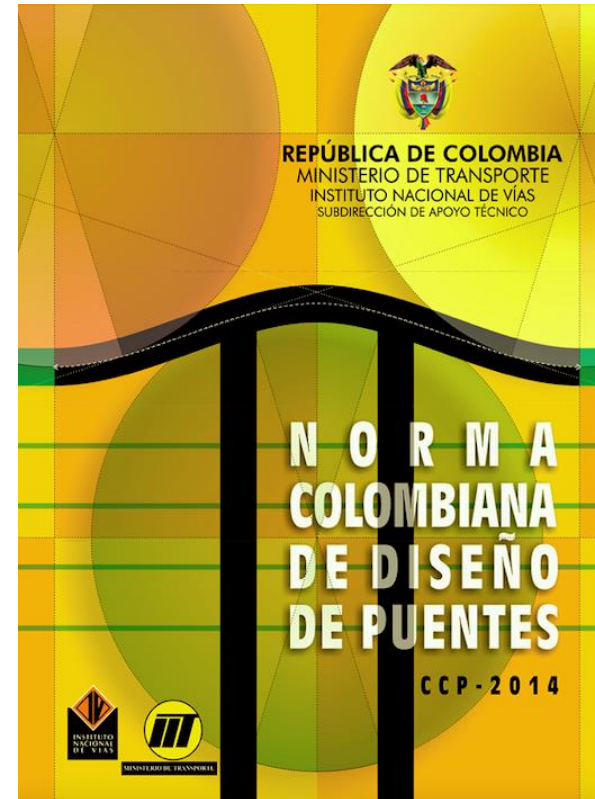


7. Metodologías de Diseño



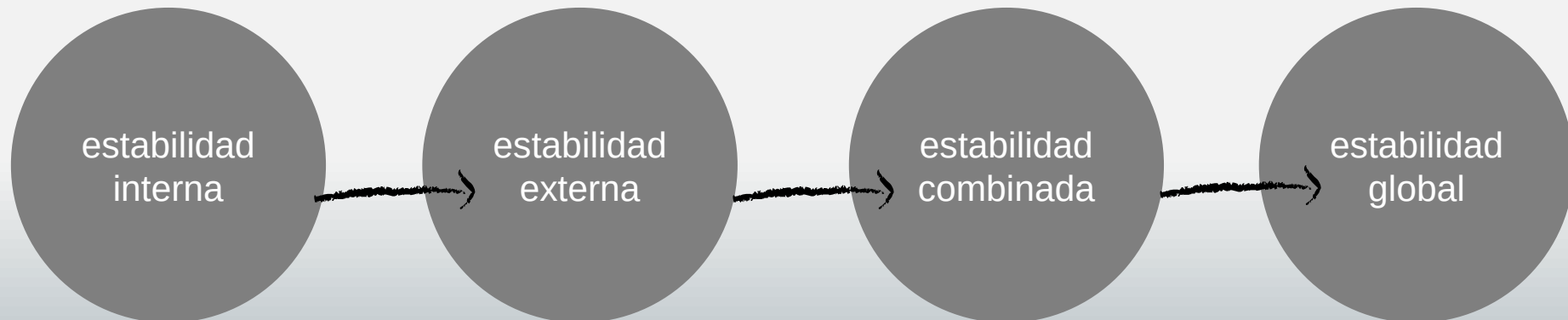


7. Metodologías de Diseño





8. Estabilidad interna, externa, global y combinada



Resistencia
Rotura



Pull out



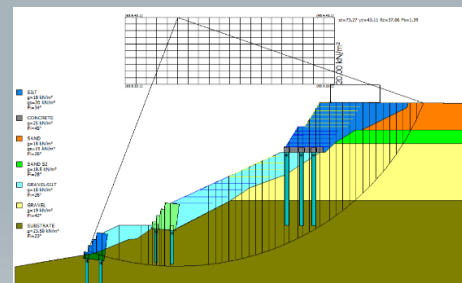
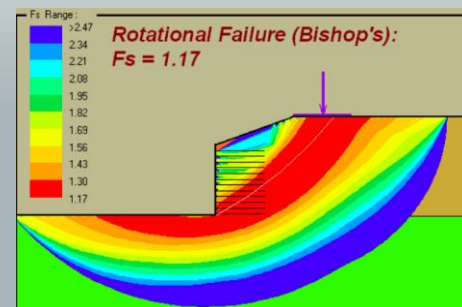
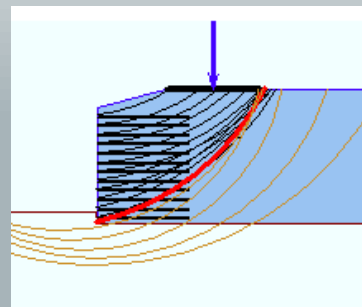
Capacidad
portante



Deslizamiento
directo



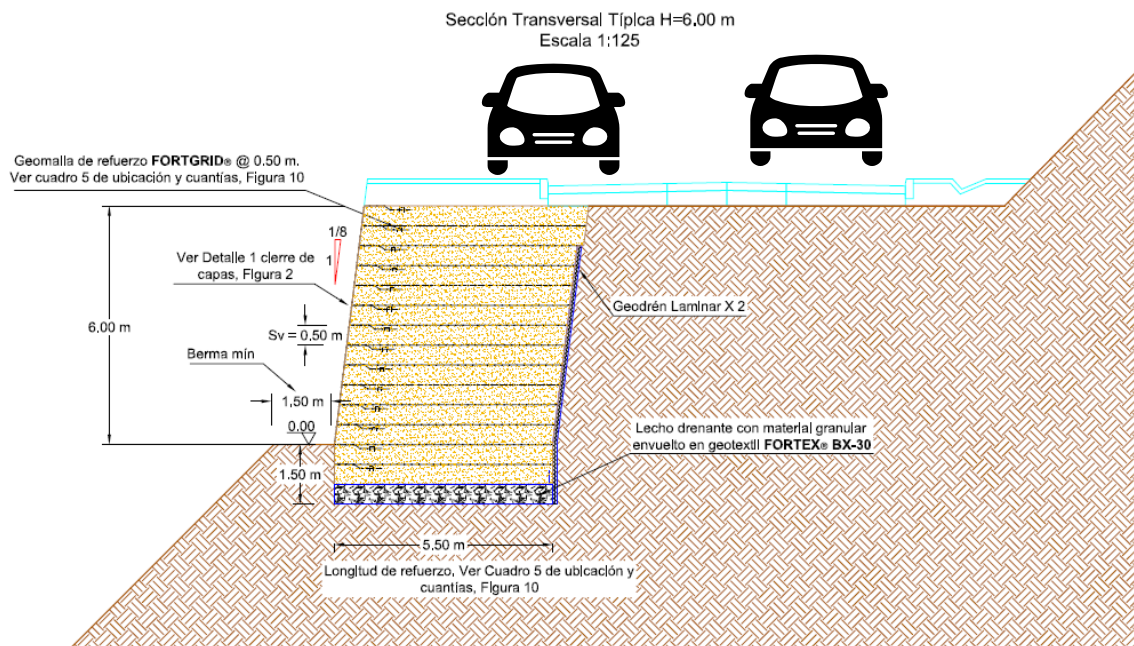
Volcamiento



ASPECTOS Y DETALLES FUNDAMENTALES SOBRE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN SUELO REFORZADO 14



9. Ejemplo de Diseño



Altura de diseño = 5,5 m – 6.0 m - 6,5 m

Fachada Wrap Around

Inclinación

Refuerzo con geomallas de poliéster

- Carga muerta 18 kpa

- Carga viva 21 kpa

Zona sísmica Aa = 0,25

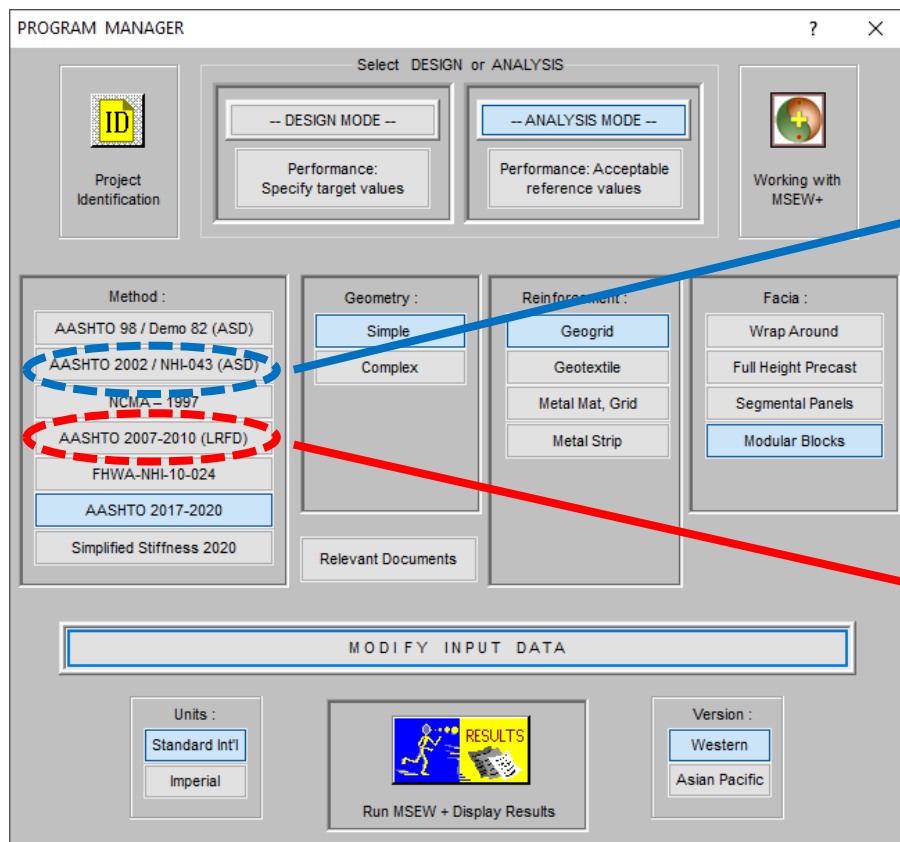
Software MSEW 3,0

Método AASHTO 2002 ASD

Método AASHTO 2007-10 LRFD



9. Ejemplo de Diseño



Metodología ASD Allowable Stress Desing

AASHTO 2002 ASD DESIGN METHOD
Muro H=4,5 (+ 1,0) m
MSEW(3.0): Update # 14.981

PROJECT IDENTIFICATION

Title: Muro H=4,5 (+ 1,0) m SCI
Project Number:
Client:
Designer: GEOMATRIX S.A.
Station Number: 067

Metodología Diseño LRFD (Load and Resistance Factors Design)

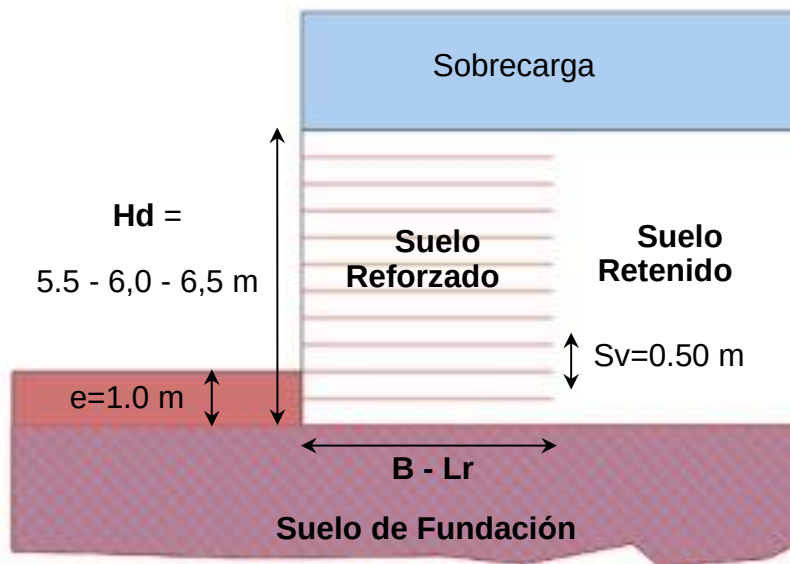
AASHTO 2007-2010 (LRFD)
Muro H=4,5 (+ 1,0) m
MSEW(3.0): Update # 14.981

PROJECT IDENTIFICATION

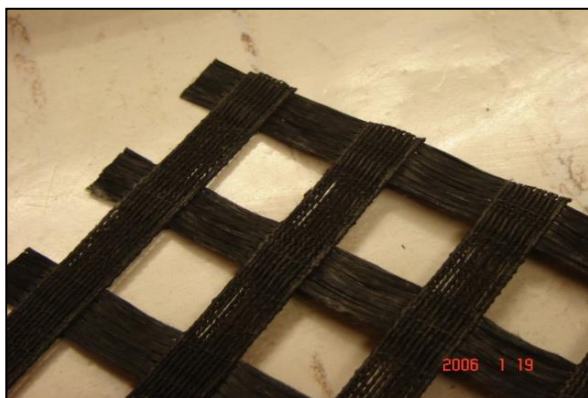
Title: Muro H=4,5 (+ 1,0) m SCI
Project Number:
Client:
Designer: GEOMATRIX S.A.
Station Number: 067



9. Ejemplo de Diseño



Zona de suelo	γ Peso unitario	ϕ Angulo de fricción	C cohesión
	kN/m ³	Grados	kPa
Reforzado	20.0	32.0	0.0
Retenido	18.0	30.0	0.0
Fundación	16.0	30.0	20.0



Geomalla Poliéster	resistencia última	RF_{ID}	RF_D	RF_{CR}	resistencia disponible
	kN/m				kN/m
UX 75	115,0	1,3	1,15	1,58	48,7
UX 50	80,0	1,3	1,15	1,58	33,9
UX 100	55,0	1,3	1,15	1,58	23,3



9. Ejemplo de Diseño

Metodología Diseño ASD (Allowable Stress Design)

$$FS = \frac{F \text{ Resistentes}}{F \text{ Desestabilizantes}}$$

Factores de Seguridad

Estabilidad Externa	Estático	Sismo
FS Deslizamiento Directo	= 1,50	75%
Max. Capacidad Portante (e/L)	= 0,25	0,33
FS Capacidad Portante	= 1,90	75%
Volcamiento	= 1,50	75%
Excentricidad máxima (e/L) c/ref	= 0,1667	0,33
Estabilidad interna		
FS PullOut	= 1,50	75%
FS Resistencia Refuerzo	= 1,50	75%
Estabilidad Combinada		
FS Estabilidad Combinada	= 1,30	1,10

Metodología Diseño LRFD (load and resistance factors design)

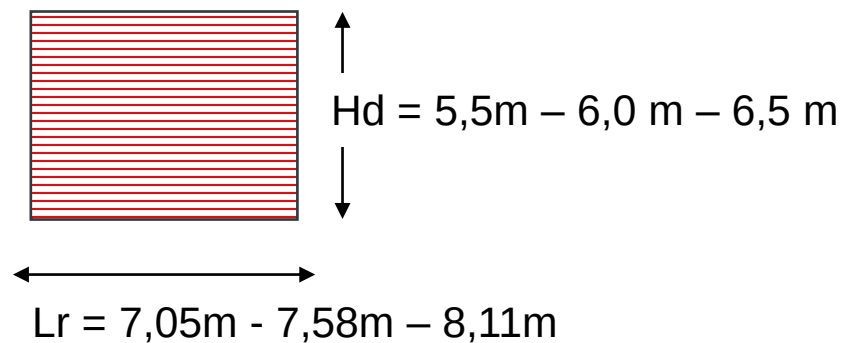
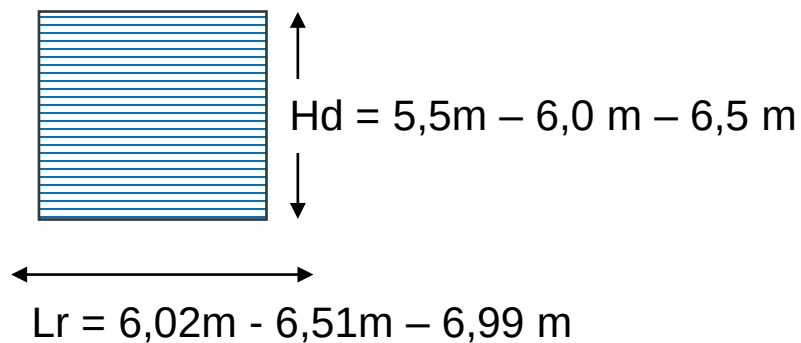
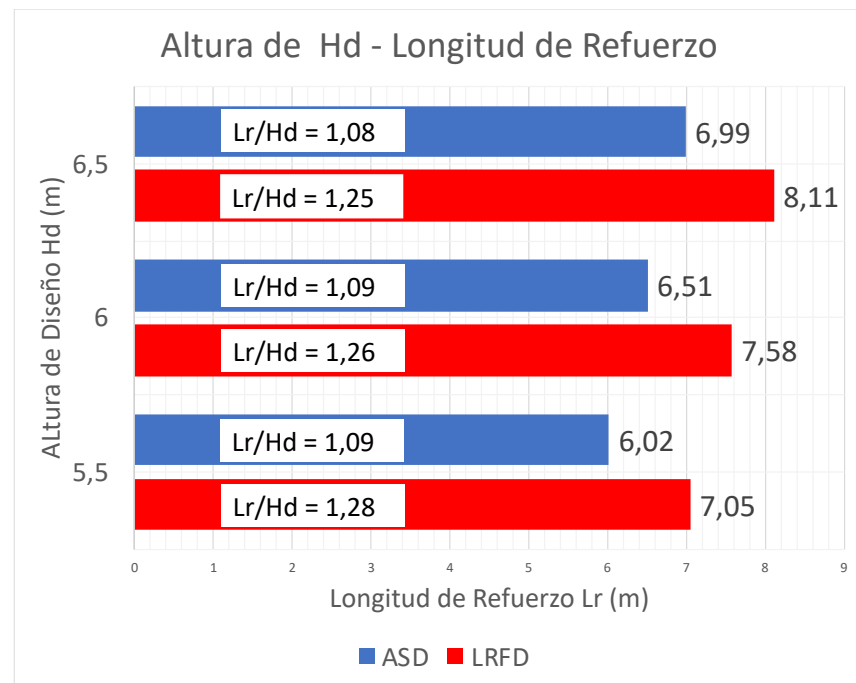
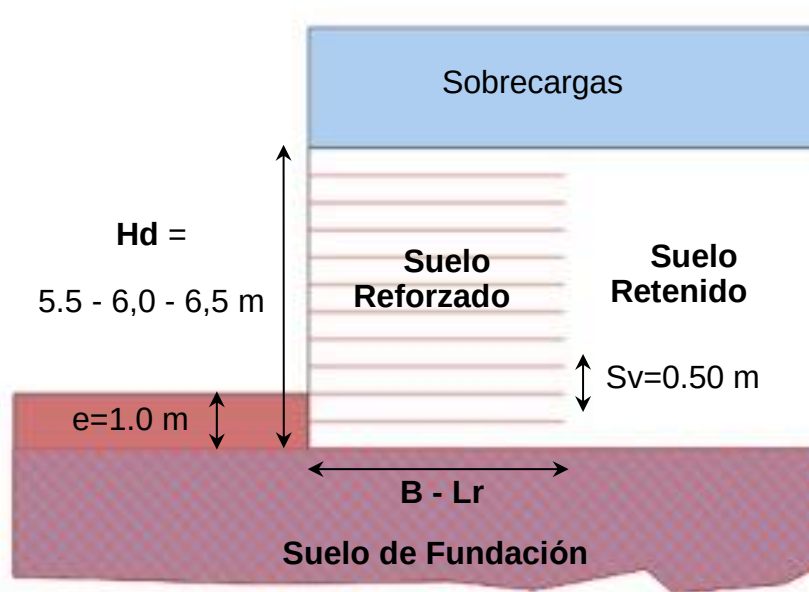
$$CDR = \frac{F \text{ Resistentes (reducidas)}}{F \text{ desestabilizantes (aumentadas)}}$$

Capacity Demand Ratio

Estabilidad Externa	Estático	Sismo
Min. CDR Deslizamiento Directo	= 1,0	100%
Max. Capacidad Portante (e/L)	= 0,25	0,40
Min. CDR Capacidad Portante	= 1,0	100%
Volcamiento	= 1,0	100%
Excentricidad máxima (e/L) c/ref	= 0,25	0,40
Estabilidad interna		
Min. CDR PullOut	= 1,0	100%
FS Resistencia Refuerzo	= 1,50	100%
Estabilidad Combinada		
Min. CDR Estabilidad Combinada	= 1,30	1,10

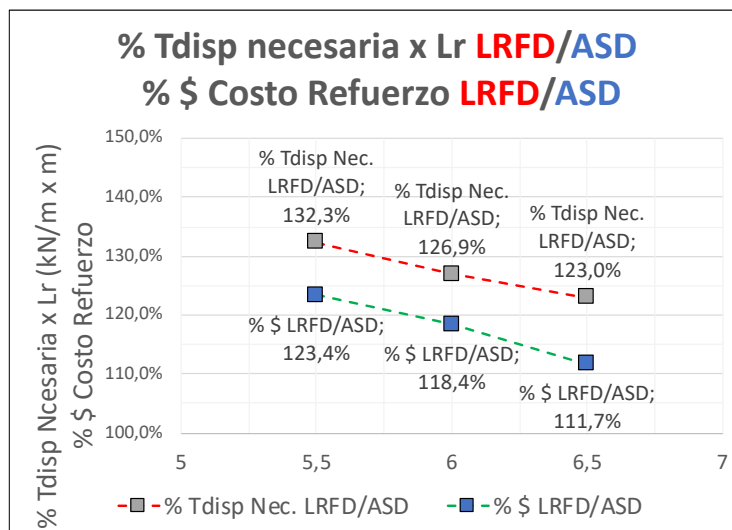
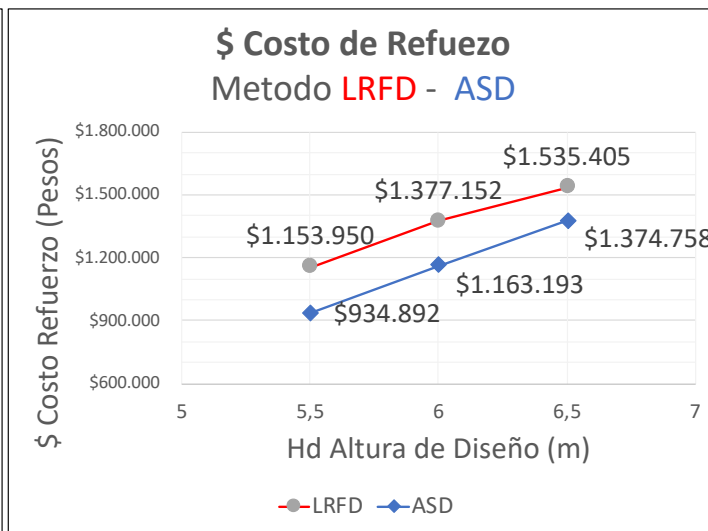
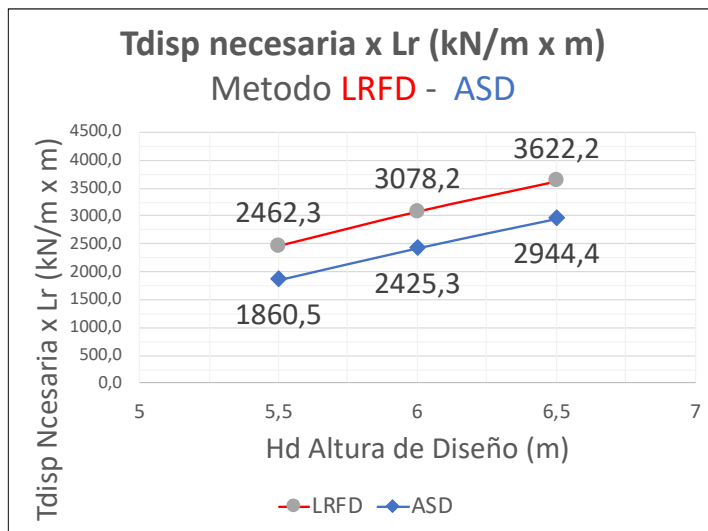


9. Ejemplo de Diseño





9. Ejemplo de Diseño

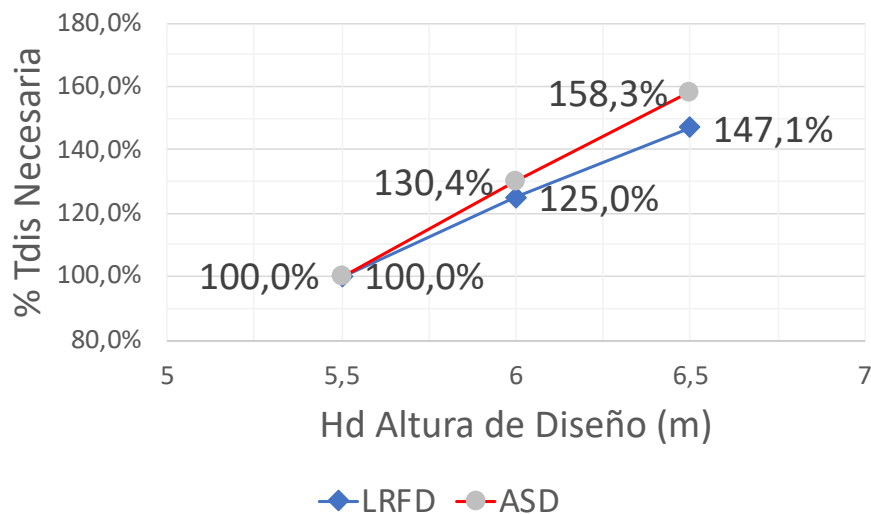




9. Ejemplo de Diseño

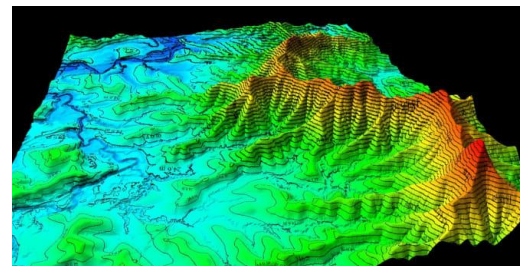
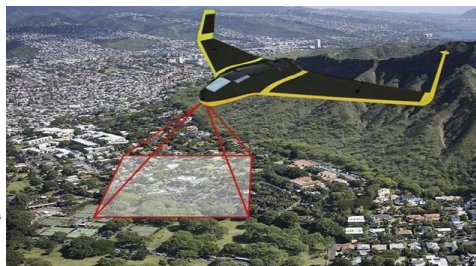
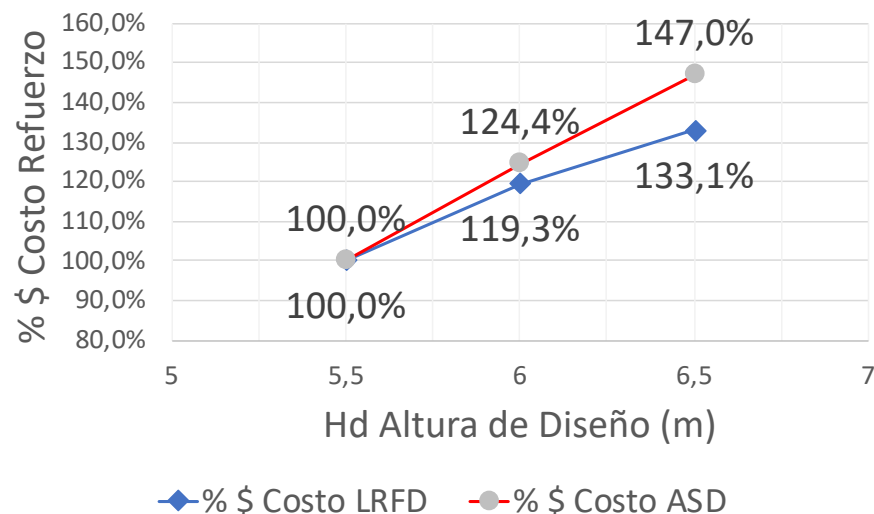
% Tdis Necesaria Hd / Hd 5,5 m

Metodo LRFD - ASD



% \$ Costo Refuerzo Hd / Hd 5,5 m

Metodo LRFD - ASD





10. Construcción 2011 MSR Hd =10m – 12m - 14m



2011



10. Construcción 2011 MSR Hd =10m – 12m - 14m



JUL - 2011



AGO - 2011



10. Construcción 2012 MSR Hd =10m – 12m - 14m



JUL - 2011



JUN - 2011



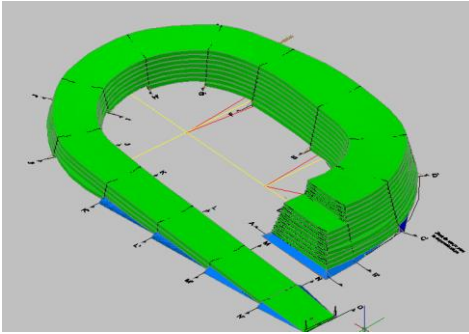
10. Construcción 2012 MSR Hd =10m – 12m - 14m



OCT - 2022



11. Contrucción Estribos y Aproches 2008

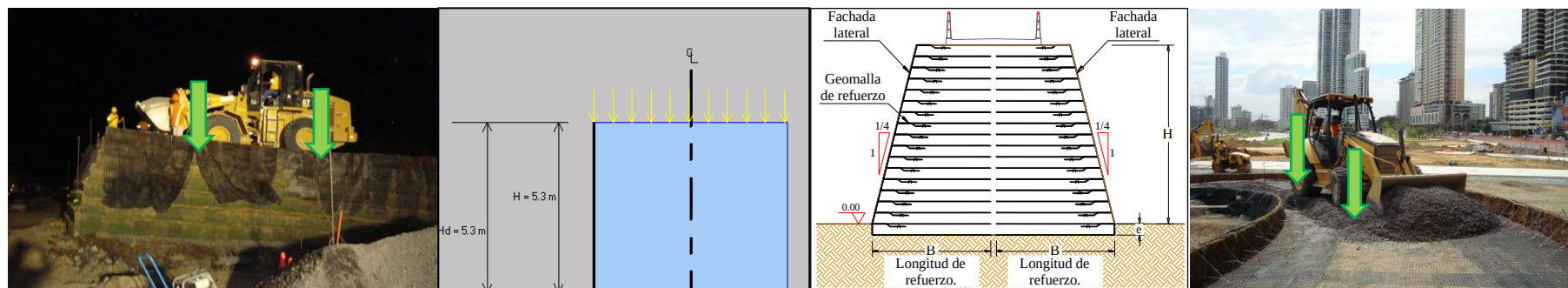
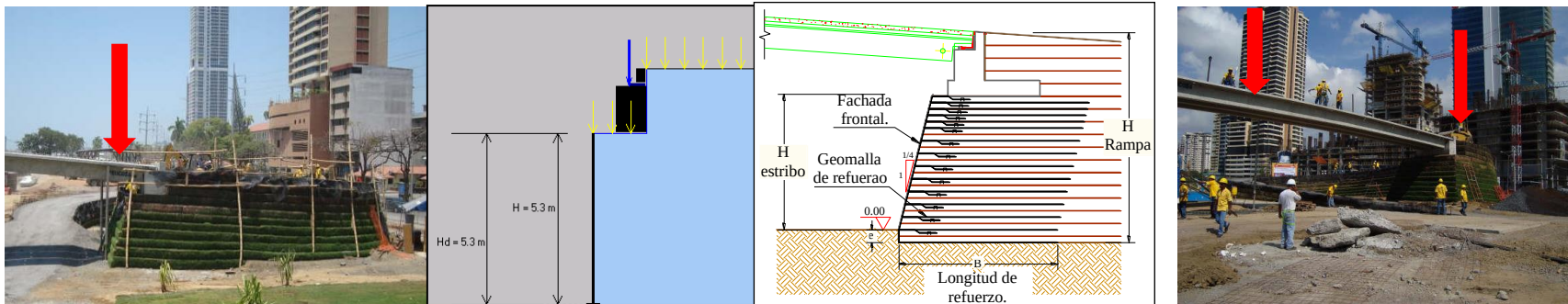


Cinta Costera de Panamá. 2008 -GEOMATRIX





11. Sobrecargas (servicio – construcción)



**Cinta Costera de
Panamá 2006.
GEOMATRIX SA**

**ASPECTOS Y DETALLES FUNDAMENTALES SOBRE EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN SUELO REFORZADO** 29



12. Conclusiones

- Comparar metodología LRFD ASATHO (2007-2010) vs ASD AASTHO (2002)
- Las T necesaria de elementos de refuerzo varia 23%-32%
- El Costo de refuerzo varia 11%-23%
- Aumentando 1.0 altura
 - T necesaria aumenta entre 47%-58%
 - Costo aumenta 33%-47% mas asociado al refuerzo
- La normativa CCP 14 y la INVIAS 2022 (2014 ED 7ª AASTHO) y en USA esta AASTHO 2020 ED 9ª Stiffness Method (Bathurst) 2020? L-E 2016

Futuro

- Consultoría-Construcción-Industria-Universidades- Gremios
- Handbook - Manuales de Obra e inspección



50
años
1971-2021

¡GRACIAS!



In memoriam

† Álvaro Jaime Gonzales
† Juan Montero Olarte

¿Preguntas?

carlosgeomecanica@gmail.com

Cel: (+57) 3214906057