



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**SISTEMA DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA  
(Procedimiento de diseño y evaluación de estructuras  
existentes)**

**Lisbeth Johana Morataya Pérez**

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, agosto de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA**  
**(Procedimiento de diseño y evaluación de estructuras existentes)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LISBETH JOHANA MORATAYA PÉREZ**

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador García Gordillo
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. William Ricardo Young Chavarría
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **SISTEMA DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA (Procedimiento de diseño y evaluación de estructuras existentes)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Civil, con fecha septiembre de 2009.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lisbeth Johana Morataya Pérez', written over a light gray rectangular background.

Lisbeth Johana Morataya Pérez

Guatemala, 18 de enero del 2011

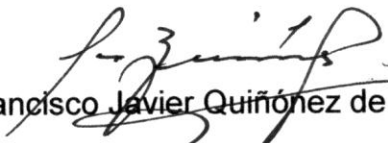
Ingeniero José Gabriel Ordóñez  
Coordinador del Área de Materiales  
Escuela de Ingeniería Civil

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **SISTEMA DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA (Procedimiento de diseño y evaluación de estructuras existentes)**, realizado por la estudiante universitaria **Lisbeth Johana Morataya Pérez**, quien conto con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por la estudiante **Morataya Pérez** cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva presentar a la presente.

Atentamente,

  
Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Ing. Civil Col. No. 1941  
Asesor

FRANCISCO JAVIER QUIÑONEZ DE LA CRUZ  
Ingeniero Civil  
Colegiada No. 1941

Cc. archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
2 de febrero de 2011

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **SISTEMA DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA (Procedimiento de diseño y evaluación de estructuras existentes)**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Lisbeth Johana Morataya Pérez, quien contó con la asesoría del Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Morataya Pérez, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

Y ENSEÑAR A TODOS

José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles

/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, al trabajo de graduación de la estudiante Lisbeth Johana Morataya Pérez, titulado SISTEMA DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA (Procedimiento de diseño y evaluación de estructuras existentes), da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto de 2011.

/bbdeb.



DTG. 304.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **SISTEMA DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA (Procedimiento de diseño y evaluación de estructuras existentes)**, presentado por la estudiante universitaria **Lisbeth Johana Morataya Pérez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 24 de agosto de 2011

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Porque de él, por él y para él son todas las cosas. A él sea la gloria para siempre. Por haberme dado la vida, sabiduría y las capacidades para permitirme alcanzar este anhelado triunfo.
- Mis padres** Hugo Réne Morataya Gonzales y Adilia Gloria Pérez de Morataya. Con mucho amor y admiración por su esfuerzo, ejemplo y apoyo incondicional cada momento de mi vida.
- Mis hermanas** Marlene, Marisol y Anabella Morataya. Como muestra sincera del gran cariño fraternal que existe entre nosotras.
- Mis abuelos** Felix Morataya y Luz Gonzalez (q.e.p.d.) Donato Pérez y Corina Almengor. Por sus consejos, apoyo incondicional, y por el gran cariño que me han brindado.
- Mi familia** Con mucho cariño y aprecio a todos.
- Amigos** Por su amistad invaluable y compañía en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por ser el máximo ingeniero constructor de un lindo mundo, inmortal, invisible, al único y sabio Dios a quien sea el honor y gloria por permitirme llegar a vivir mi sueño.
- Mis padres** Hugo Morataya y Gloria Pérez de Morataya, por darme la oportunidad de ser un profesional, por creer en mí dándome la mejor formación para enfrentar la vida.
- Mis hermanas** Marlene, Marisol y Anabella Morataya, por el cariño y el apoyo que me han brindado incondicionalmente siendo parte activa de este sueño.
- Mi familia** A mis abuelos, tío, tías, primos y primas. Con todo cariño y aprecio. Gracias por creer en mí y alentarme en los momentos más difíciles.
- Asesor** El Ing. Javier Quiñónez, por brindarme su asesoría y apoyo incondicional y especialmente por mostrarme sin egoísmo el camino hasta aquí.

**Ing. José Pérez**

Por su guía y tiempo invertido.

**Ing. Bernal Monge**

Su asesoría y dirección para la culminación de mi carrera, consejos invaluable para ser una mejor profesional.

**Mi casa de estudio**

Tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala, especialmente a la Facultad de Ingeniería, por darme las herramientas necesarias y permitirme forjar en sus aulas uno de mis más grandes anhelos.

**Mis catedráticos**

Gracias por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias.

**Mis amigos**

A todos sin excepción, por apoyarme. Principalmente a quienes me acompañaron en este largo camino. Gracias por permitirme compartir con ustedes el conocimiento de la ingeniería.

**Empresas**

Maccaferri Latinoamerica.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	I
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN .....	XI
OBJETIVOS .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. ASPECTOS GENERALES DE TIERRA ARMADA.....	1
1.1. Definición de talud .....	1
1.1.1. Talud reforzado .....	1
1.1.2. Tipos de talud.....	2
1.1.3. Partes del talud .....	3
1.1.3.1. Altura .....	3
1.1.3.2. Pie.....	3
1.1.3.3. Cabeza o escarpe .....	3
1.1.3.4. Altura de nivel freático .....	3
1.1.3.5. Pendiente .....	3
1.1.4. Estabilidad de talud .....	4
1.1.5. Fallas de un talud .....	5
1.1.5.1. Tipos de movimiento de tierra .....	6
1.1.6. Tipos de estabilidad .....	7
1.2. Clasificación de suelo que conforma el talud .....	7
1.2.1. Características mecánicas de los suelos .....	8
1.2.2. Estabilidad al deslizamiento superficial de arena seca .....	8

1.2.3.	Estabilidad al deslizamiento superficial de arena sumergida .....	9
1.2.4.	Límites de consistencia e índice de plasticidad .....	10
1.2.4.1.	Índice de liquidez IL .....	11
1.2.4.2.	El límite líquido LL .....	12
1.2.4.3.	El límite plástico LP .....	13
1.2.4.4.	El límite de retracción LR (o de contracción) .	13
1.2.4.5.	Índice de retracción IR .....	14
1.3.	Análisis granulométrico .....	14
1.4.	Coeficiente de fricción interna .....	16
1.5.	Cohesión de suelos .....	17
1.5.1.	Cohesión aparente.....	17
1.5.2.	Esfuerzo efectivo .....	17
1.5.2.1.	Resistencia máxima o resistencia pico .....	18
1.5.2.2.	Resistencia residual .....	18
1.5.2.3.	Parámetros de presión de poros .....	20
1.6.	Circulo de Mohr .....	22
1.6.1.	Envolvente de falla.....	22
1.6.2.	Trayectoria de esfuerzos.....	24
1.6.3.	Medición de la resistencia al cortante .....	25
1.7.	Aspectos generales de las geomallas .....	26
1.7.1.	Definiciones de las geomallas.....	27
1.7.2.	Tipos de geomallas.....	28
1.7.2.1.	Geomallas uniaxiales .....	28
1.7.2.2.	Geomallas biaxiales .....	29
1.7.2.3.	Geomallas tridimensionales .....	30
1.7.2.4.	Geomallas de fibra de vidrio.....	30
1.7.2.5.	Geomallas tejida .....	31
1.7.2.6.	Geomallas soldada .....	33

1.7.2.7.	Geomallas termosoldada .....	34
1.7.3.	Geomallas en aplicaciones de refuerzo .....	35
1.7.3.1.	Método A para aplicación de geomallas de refuerzo .....	36
1.7.3.2.	Método B para aplicación de geomallas de refuerzo .....	38
1.8.	Estabilidad de terraplén .....	39
1.8.1.	Análisis de estabilidad .....	40
1.8.2.	Tipos de análisis .....	41
1.8.2.1.	Taludes finitos .....	41
1.8.2.2.	Taludes finitos .....	42
1.8.3.	Métodos de análisis .....	42
1.8.3.1.	Método de Fellenius .....	42
1.8.3.2.	Método Bishop.....	43
1.8.3.3.	Método de las rebanadas .....	45
1.8.3.4.	Método de Morgenstern & Price .....	46
1.8.3.5.	Método de Jambu .....	46
1.9.	Factor de seguridad (FS).....	47
1.9.1.	Equilibrio límite .....	49
1.10.	Tipos de deslizamientos .....	51
1.10.1.	Deslizamiento .....	52
1.10.2.	Deslizamiento rotacional.....	53
1.10.3.	Deslizamiento de traslación .....	56
1.10.4.	Esparcimiento lateral .....	57
2.	SISTEMAS DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA .....	59
2.1.	Sistema de estabilidad de taludes con tierra armada de gaviones con cola y geomalla.....	59
2.1.1.	Gaviones con cola.....	60

2.1.1.1.	Alambre.....	60
	2.1.1.1.1. Revestimiento del alambre.....	61
	2.1.1.1.2. Elongación del alambre.....	61
2.1.1.2.	Red .....	61
	2.1.1.2.1. Bordes enrollados mecánicamente.....	62
	2.1.1.2.2. Alambre y atirantamiento .....	62
2.1.1.3.	Tolerancia .....	64
2.1.1.4.	Recubrimiento plástico .....	64
2.1.2.	Refuerzo con geomalla .....	64
2.1.3.	Refuerzo con geotextil .....	64
2.1.4.	Análisis de estabilidad .....	66
	2.1.4.1. Verificación de la estabilidad global.....	67
	2.1.4.2. Verificación de la estabilidad interna .....	68
	2.1.4.3. Verificación de la estabilidad como muro .....	68
	2.1.4.4. Verificación de los asentamientos .....	69
	2.1.4.5. Métodos adoptados por el Macstars® 2000 ..	70
	2.1.4.5.1. Características del método de Bishop simplificado .....	71
	2.1.4.5.2. Característica del método de Janbu simplificado .....	71
	2.1.4.5.3. Método rígido .....	72
	2.1.4.5.4. Método de los desplazamientos .....	72
	2.1.4.6. Generación de las superficies de falla.....	72
2.2.	Sistema de estabilidad de taludes con muro de paramento de bloques .....	73
2.2.1.	Descripción .....	74
2.2.2.	Tipo de bloque .....	74

2.2.3.	Tipo de conectores mesa .....	77
2.2.4.	Refuerzo con geomalla.....	77
2.2.5.	Análisis de estabilidad .....	78
2.2.6.	Uso de tablas .....	79
3.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO Y EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES .....	85
3.1.	Refuerzo de gaviones con cola y geomalla proyecto estructura de protección hidráulica y muro de contención terrameshgrid Guatemala río Las Rosas, Quetzaltenango .....	85
3.1.1.	Análisis y diseño como muro en programa MAC.ST.A.R.S Rel. 2.2.....	87
3.1.2.	Propiedades del suelo .....	88
3.1.3.	Perfil de camada .....	91
3.1.4.	Perfil de la superficie freática.....	92
3.1.5.	Refuerzos en bloques.....	93
3.1.6.	Sobrecargas .....	97
3.1.7.	Propiedades de los refuerzos utilizados .....	97
3.1.8.	Verificación de la estabilidad global .....	101
3.1.9.	Verificación como muro a gravedad .....	102
3.1.10.	Descripción de sistema constructivo .....	103
3.1.11.	Resumen del proyecto .....	103
	Comentario personal (visita de campo) .....	104
3.2.	Muro de paramento de bloques según paso a desnivel San Cristóbal según programa Mesa Pro .....	107
3.2.1.	Metodología de diseño .....	108
3.2.2.	Geometría de los muros .....	108
3.2.3.	Relleno de drenaje .....	109
3.2.4.	Fachada .....	109



3.2.5.	Sobrecargas .....	109
3.2.6.	Análisis de estabilidad .....	110
3.2.7.	Geomallas y geotextil.....	110
3.2.8.	Nivel freático .....	111
3.2.9.	Estabilidad interna y externa.....	111
3.2.10.	Comentario personal (visita de campo) .....	113
CONCLUSIONES .....		115
RECOMENDACIONES .....		117
BIBLIOGRAFÍA .....		119
ANEXOS .....		121

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Clasificación de taludes .....	2
2.	Nomenclatura de taludes y laderas .....	4
3.	Inestabilidad de un talud.....	5
4.	Diagrama de masa movilizada .....	5
5.	Esquemas de movimientos de masas .....	6
6.	Tipos de fallas .....	7
7.	Equilibrio de fuerzas .....	9
8.	Talud sumergido.....	9
9.	Aparato de Casagrande para obtener el límite líquido LL .....	13
10.	Cilindros de 1/8" para obtener el límite plástico .....	13
11.	Juego de tamices .....	16
12.	Resistencias pico y residual .....	19
13.	Diagrama de presión de poros .....	21
14.	Envolvente de falla y círculo de Mohr .....	23
15.	Trayectoria de esfuerzos .....	25
16.	Geomalla uniaxial.....	29
17.	Geomalla biaxial.....	30
18.	Geomallas fibra de vidrio.....	31
19.	Geomalla tejida .....	31
20.	Geomalla soldada geogrillas MacGrid® PRO .....	33
21.	Método A, sección secuencia de la construcción para subrasante extremadamente blandas .....	36

22.	Método A, planta colocación del relleno entre los caminos de acceso o bermas sobre sub-rasantes extremadamente blandas (CBR < 1) y con la anticipación de la ondulación u ola de lodo .....	37
23.	Colocación del relleno para tensionar el geosintético sobre subrasante de condiciones moderadas (CBR > 1); no formación de la ola de lodo, método B .....	38
24.	Equilibrio límite con el método de Fellenius .....	42
25.	Equilibrio límite con el método de Bishop.....	44
26.	Equilibrio límite con centro de gravedad .....	50
27.	Equilibrio límite con dovelas.....	51
28.	Deslizamientos en suelos blandos .....	52
29.	Deslizamiento rotacional típico .....	54
30.	Efectos de la estructura en la formación de deslizamientos a rotación .....	55
31.	Deslizamiento de translación .....	57
32.	Esquema de un esparcimiento lateral .....	58
33.	Diagrama de gaviones tipo terramesh .....	60
34.	Malla hexagonal doble torsión .....	62
35.	Tipos de colocación de aro para fijación temporal .....	63
36.	Amarre o costura correcta entre caras de mallas .....	63
37.	Detalle de verificación de la estabilidad global en el Macstars® .....	67
38.	Detalle de verificación de la estabilidad interna en el Macstars® .....	68
39.	Verificación de la estructura como muro .....	69
40.	Verificación de los asentamientos .....	70
41.	Bloque estándar.....	75
42.	Bloque XL .....	75
43.	Bloque Ashford .....	76
44.	Bloque Gardener .....	77
45.	Software MesaPro .....	79

46.	Corte transversal típico vertical .....	80
47.	Corte transversal típico escalonado.....	81
48.	Tipo de suelo de relleno reforzado inclinado con sobrecarga de 250 libras por pie cuadrado .....	81
49.	Tipo de suelo de relleno reforzado vertical con sobrecarga de 250 libras por pie cuadrado .....	82
50.	Tipo de suelo de relleno reforzado inclinado sin sobrecarga .....	82
51.	Tipo de suelo de relleno reforzado vertical sin sobrecarga .....	83
52.	Tipo de suelo de relleno reforzado inclinado con sobrecarga inclinada .....	83
53.	Tipo de suelo de relleno reforzado vertical con sobrecarga inclinada .	84
54.	Condición inicial del proyecto Las Rosas Quetzaltenango.....	86
55.	Condición final del proyecto Las Rosas Quetzaltenango estabilización muro de contención TerrameshGrid ® .....	86
56.	Inclinación de la pared de retención .....	87
57.	Condiciones iniciales del suelo .....	88
58.	Análisis como muro, factor de seguridad .....	91
59.	Bloques reforzados .....	92
60.	Sistema terramesh, gaviones con cola para formación de área para carril auxiliar .....	99
61.	Verificación de resultados, análisis de estabilidad global método Rígido.....	101
62.	Listado de refuerzos programa Macstars .....	102
63.	Fases constructivas de tierra armada tipo Terramesh proyecto Las Rosas Quetzaltenango .....	104
64.	Estado actual del proyecto .....	106
65.	Fases constructivas paso a desnivel San Cristóbal .....	111
66.	Rampas estabilizadas paso a desnivel San Cristóbal.....	113
67.	Paso a desnivel San Cristóbal, corte eje 01 .....	114

68.	Colocación sistema terramesh .....	123
-----	------------------------------------	-----

### TABLAS

I.	Límites para los cuatro estados de los suelos finos Atterberg, 1911 .....	10
II.	Escala granulométrica.....	15
III.	Valores típicos del parámetro A en el momento de la falla .....	21
IV.	Características técnicas de geomallas tejidas .....	32
V.	Métodos de análisis universales .....	47
VI.	Factores de seguridad .....	48
VII.	Especificaciones Mactex Np .....	65
VIII.	Parámetros de suelos .....	108
IX.	Requerimiento para suelo de relleno.....	108
X.	Relleno de drenaje .....	109
XI.	Tipos de geomallas .....	110

## LISTA DE SIMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
@	A distancia de
H	Altura
$\phi'$	Ángulo de fricción del suelo
A	Área
Vs	Capacidad soporte del suelo
cm	Centímetro
C	Cohesión aparente del suelo
$\omega$	Contenido de humedad
$\Delta$	Delta
<b>D.M.C.S</b>	Densidad máxima compactada seca
Y	Eje de las abscisas
X	Eje de las ordenadas
Fy	Esfuerzo de fluencia para el acero
f'c	Factor de carga última
Fs	Factor de seguridad
°C	Grados centígrados
g	Gramo
IL	Índice de liquidez
IP	Índice plástico
I	Inercia
kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/m	Kilogramo por metro
km	Kilometro

<b>kN/m<sup>2</sup></b>	Kilonewton por metro cuadrado
<b>kN/m<sup>3</sup></b>	Kilonewton por metro cúbico
<b>kPa</b>	Kilo pascales
<b>psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>LR</b>	Límite de retracción
<b>LL</b>	Límite líquido
<b>LP</b>	Límite plástico
<b>Tf</b>	Máxima resistencia al corte de fallas
<b>M</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>Mm</b>	Milímetro
<b>Es</b>	Módulo de elasticidad del acero
<b>N</b>	Normal (componente)
<b>S%</b>	Pendiente en porcentaje
<b>W</b>	Peso
<b>"</b>	Pulgada
<b>Es</b>	Resistencia última del concreto
<b>TMS</b>	Terramesh
<b>ton/m<sup>2</sup></b>	Tonelada por metro cuadrado

## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	<i>American Association of State Highways and Transportation Officials.</i>
<b>ACI</b>	Instituto Americano del Concreto.
<b>Ángulo de fricción</b>	Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto, a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción cinética), o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática).
<b>Cohesión</b>	Es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia, en particular tratándose de terrenos o tipos de suelos.
<b>Cbr</b>	Determina la capacidad soporte del suelo en el laboratorio con una humedad óptima y niveles de compactación variables; sirve para evaluar la calidad relativa del suelo.
<b>Concreto reforzado</b>	Material de construcción obtenido de una mezcla de cemento, arena, grava y agua; como refuerzo se colocan varillas de acero corrugado.



<b>Corrosión</b>	Es definida como el deterioro de un material metálico a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación).
<b>Dinámica</b>	Es la rama de la mecánica que estudia las causas de un movimiento.
<b>Empuje</b>	Fuerza ejercida por el suelo a la estructura.
<b>Erosión</b>	Proceso de sustracción de roca al suelo intacto, generalmente por acción de corrientes superficiales de agua o viento, por cambios de temperatura o por gravedad.
<b>Esfuerzo de corte</b>	Es el que viene dado por la resultante de tensiones cortantes $\tau$ , es decir, tangenciales, al área para la cual se pretende determinar el esfuerzo cortante.
<b>Especificaciones</b>	Son normas generales y técnicas de construcción con disposiciones especiales o cualquier otro documento que se emita antes o durante la ejecución de un proyecto.
<b>Estática</b>	Parte de la mecánica de suelos que estudia las condiciones de equilibrio de un terreno.

<b>Falla</b>	Es una discontinuidad que se forma en las rocas someras de la tierra, por fracturas, cuando concentraciones de fuerzas tectónicas exceden la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie más o menos bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de deslizamiento tangencial (paralelo), de las rocas a este plano.
<b>Flujo</b>	Es el caudal de un fluido, desplazándose por un talud o ladera.
<b>Fuerza de sismo</b>	Carga que es inducida por un sismo y que provoca esfuerzos en la subestructura.
<b>Gravedad</b>	Es la aceleración que sufriría un objeto en caída libre sobre otro. Puede interpretarse como la fuerza gravitatoria por unidad de masa. El concepto de gravedad es el más intuitivo, a diferencia que la propia fuerza. En física se le representa como $\vec{g}$ .
<b>HDPE</b>	Polietileno de alta densidad.
<b>HITEC</b>	Evaluación de Tecnología Innovadora de Carreteras.
<b>ICC</b>	Consejo de Códigos Internacionales.

<b>MSE</b>	Suelos mecánicamente estabilizados.
<b>NCMA</b>	Asociación Nacional de Mampostería en Concreto.
<b>Proctor</b>	Ensayo de laboratorio para determinar el valor soporte California, según el peso unitario seco a la humedad óptima del suelo.
<b>Perfil</b>	Delineación de la superficie de la tierra, según su latitud y altura, referidas a puntos de control.
<b>SRW</b>	Muro de retención segmentado.
<b>Subestructura</b>	Conjunto de elementos que han sido diseñados para soportar la superestructura de un puente y transmitir las cargas al suelo.
<b>Terraplén</b>	Es la tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.
<b>Terraplenamiento</b>	Es el corte de suelo que se realiza modificando el estado natural por razones del proyecto.
<b>Topografía</b>	Es el arte de representar un terreno en un plano, con su forma, dimensiones y relieve.

## RESUMEN

En el presente trabajo se analizan dos proyectos donde se utilizó el sistema de tierra armada con geomalla, para lo cual fue necesario determinar los parámetros de suelo por medio de ensayos de laboratorio y campo, obteniendo datos cuantitativos y cualitativos, para definir los tipos de materiales, resistencias, durabilidad necesarios para el diseño y construcción de taludes más eficientes.

El primer proyecto es el paso a desnivel Las Rosas Quetzaltenango, en el cual se implementó el sistema de gaviones con cola y geomalla, para la estabilización del tramo del cauce del río Las Rosas; evitando la socavación del carril auxiliar del distribuidor vial, proveyendo así estabilidad al suelo permitiendo el tránsito vehicular sobre el mismo, absorbiendo el movimiento por impacto vehicular, sismo y su peso propio presentando asentamientos mínimos que no afectan a la estructura.

Por medio del programa estructural Mac Start 2000 se analizó y diseñó el sistema de gaviones con cola, como muro formado por bloques monolíticos que integran la estructura de retención. Estos bloques deben presentar una secuencia geométrica de pendiente media superior o igual a setenta grados. Se dió el seguimiento de la construcción del sistema Terramesh mediante una serie de visitas de campo dando seguimiento a las medidas de instalación del sistema, obteniendo así un óptimo funcionamiento de estabilización.

El segundo proyecto, es el paso a desnivel de San Cristóbal, Mixco, donde se utilizó el sistema muro mesa de retención, segmentada con paramento de

bloques en la estabilización de las rampas elevadas, este sistema es adecuado para zonas sísmicas. Los componentes del sistema son bloques de concreto de alta resistencia y baja absorción, conectores mecánicos positivos, geomallas resistentes a la corrosión, abrasión, rotura y a la hidrólisis, siendo ésta la solución más viable para el proyecto, por su rapidez constructiva pues siendo éste un punto de intersección de la ruta interamericana y acceso al boulevard San Cristóbal, aportará fluidez vehicular.

Por medio del programa Mesa Pro se analizó y diseñó el sistema de muro mesa, con corte transversal típico vertical, por medio de la estabilidad interna; cuando la superficie de rotura discurren integralmente por el macizo reforzado con geomallas y la estabilidad externa; cuando las superficies de falla no cortan las zonas de macizo reforzado, dando un factor alto de seguridad tanto en la ejecución de la obra como durante su uso. El aspecto de seguimiento de obra se dió mediante visitas de campo durante su proceso constructivo, resaltando la importancia sobre calidad de materiales, detalles de instalación y seguridad en la obra.

# OBJETIVOS

## General

Analizar el diseño y método constructivo de estabilización de suelos, utilizando el sistema de tierra armada con uso de geomallas en dos proyectos existentes en Guatemala.

## Específicos

1. Recopilar información de sistemas constructivos de tierra armada, sus características, beneficios, ventajas y desventajas.
2. Comparar los sistemas de cálculo y diseño de los sistemas de tierra armada con uso de geomallas, según sus propiedades y características físicas de cada una de ellas a partir de las especificaciones técnicas establecidas para dichos proyectos.
3. Recopilar pruebas de ensayos de clasificación, resistencia y compresibilidad del material, estableciendo las condiciones por carga externa como sobrecargas y aceleraciones por sismo para el terraplén.
4. Evaluar dos proyectos existentes de estabilización con uso de sistemas de tierra armada utilizando geomallas.



## INTRODUCCIÓN

Se presentan aspectos tanto teóricos como prácticos de los sistemas de tierra armada, siendo estas estructuras de retención formadas principalmente por suelo cuya resistencia y comportamiento es mejorado mediante el refuerzo por elementos internos, fabricados generalmente de metal o a base de polímeros ya sean estos geotextiles, bandas uniaxiales o biaxiales tejidas, soldadas o extruidas.

Basado en la tecnología de los años sesenta desarrollada por el profesor Henri Vidal, conocida mundialmente como "*terre armée*" (tierra armada), se observó cómo el suelo gana resistencia por la presencia de raíces (fibras), ya que en su estructura trabajan como tensores.

Se enfocan dos sistemas de tierra armada, el primero estabilización de taludes con tierra armada de gaviones con cola y geomalla; éste contiene elementos resistentes a tracción para aumentar la resistencia del suelo, disminuyendo las deformaciones del mismo, utilizando transferencia de los esfuerzos hacia los elementos resistentes, analizando la tierra armada en el encause del río Las Rosas y carril auxiliar del paso a desnivel Las Rosas ubicado en Quetzaltenango. Se visitó el proyecto desde su inicio, su proceso constructivo y uso, constatando su funcionalidad para el flujo de vehículos y conexión en la intersección de las rutas de Quetzaltenango con Retalhuleu y camino a la ciudad de Guatemala.

El segundo sistema, es la de estabilización de talud con muro mesa utilizando sistemas de muros de contención incorporando una conexión



mecánica positiva entre la fachada y el refuerzo del muro, proveyendo una integridad estructural inigualable que reduce la posibilidad de falla, aun en condiciones extremas, adicionalmente, éstas proveen un terminado estético como son los muros curvos o escalonados, que a su vez pueden funcionar como jardineras escalonadas. Se analizaron las estructuras del paso a desnivel San Cristóbal en ruta interamericana, con sistema de estabilización en rampas tipo muro mesa, con visitas de obra para estudiar el proceso constructivo demostrando ser un sistema económico y de fácil instalación.

# **1 ASPECTOS GENERALES DE TIERRA ARMADA**

## **1.1 Definición de talud**

Un talud o ladera, es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. Técnicamente se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural, y talud cuando se conformó artificialmente.

### **1.1.1 Talud reforzado**

Son macizos de suelo reforzados por elementos sintéticos como geomallas y geotextiles tejidos de alta resistencia, con un ángulo de inclinación máximo de  $90^\circ$  respecto a la horizontal, contruidos mediante la colocación de múltiples capas de geosintético y material de relleno. El geosintético se coloca con el propósito de reforzar el suelo y proveer un incremento en las propiedades mecánicas del mismo.

El rostro de los muros con pendientes mayores de  $80^\circ$  debe ser recubierto con concreto lanzado, bloques segmentados, mampostería convencional, planchas de concreto prefabricado u otro recubrimiento aprobado, el cual le brinda al geosintético protección permanente contra la radiación ultravioleta.

Tales elementos asocian resistencia a tracción y bajo alargamiento, permitiendo la construcción de estructuras confiables, resistentes, durables y flexibles, de simple construcción e inmediata integración ambiental.

### 1.1.2 Tipos de talud

Los taludes se pueden agrupar en dos categorías generales: naturales y artificiales, esquematizados en figura 1.

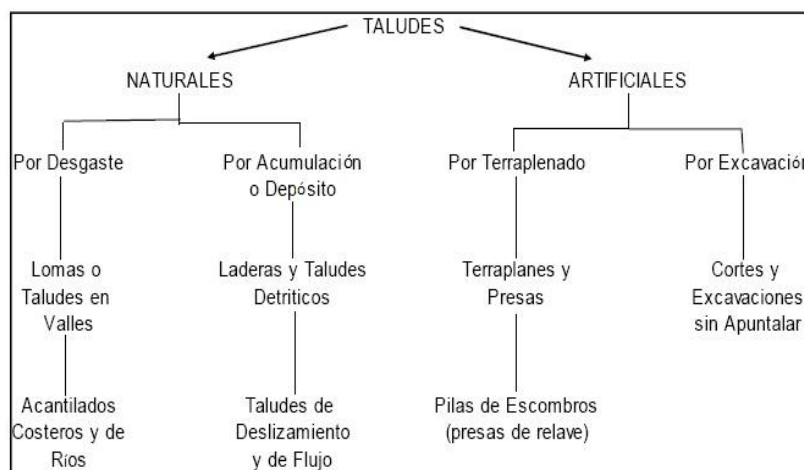
- **Taludes naturales**

Son pendientes naturales de terrenos, no intervenidos por la acción del hombre, su conformación actual tuvo como origen un proceso natural, en general se denominan laderas.

- **Taludes artificiales**

Son aquellos cortes o terraplenes que realiza el hombre, modificando el estado natural del terreno, por razones de proyecto.

Figura 1. **Clasificación de taludes**



Fuente: BRAJA M., Das. Principios de ingeniería de cimentaciones. p. 38.

### **1.1.3 Partes del talud**

En el talud o ladera, se definen los siguientes elementos constitutivos.

#### **1.1.3.1 Altura**

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

#### **1.1.3.2 Pie**

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

#### **1.1.3.3 Cabeza o escarpe**

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

#### **1.1.3.4 Altura de nivel freático**

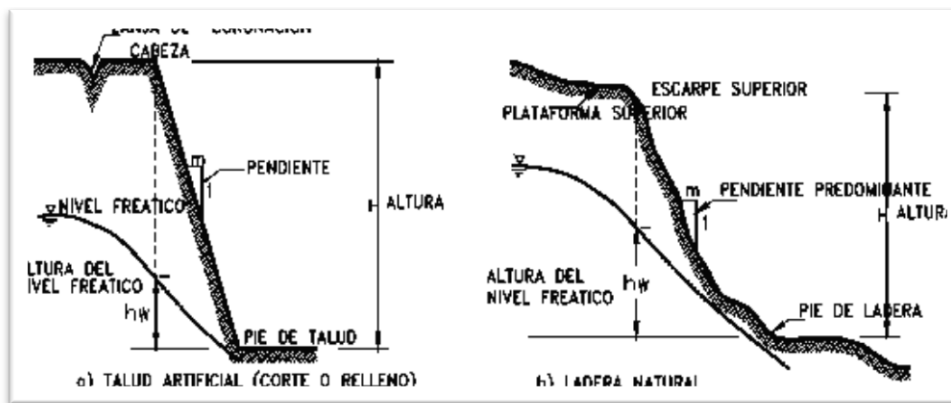
Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua, medida debajo de la cabeza.

#### **1.1.3.5 Pendiente**

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación  $m/1$ , en la cual  $m$  es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Existen otros factores

topográficos que se requiere definir como lo son: longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal), y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud. Ver figura 2.

Figura 2. Nomenclatura de taludes y laderas



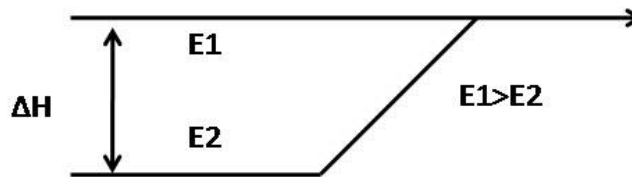
Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 35.

#### 1.1.4 Estabilidad de talud

Se debe determinar su coeficiente de seguridad al deslizamiento si es igual a 1, se produce el deslizamiento del talud. Se compara la colaboración de esfuerzos que tienden a producir el deslizamiento (esfuerzos motores), con aquellos que tienden a evitarlo (esfuerzos resistentes), y se define la superficie de falla. Debido a la diferencia de niveles topográficos entre los dos planos unidos por un talud, existe una tendencia natural de las masas a equilibrar sus potenciales energéticos. Esta inestabilidad física, encontraría su estado teóricamente de equilibrio final, cuando las masas igualan sus energías, eliminando la diferencia de potencial inicial. Este equilibrio tiende a alcanzar,

como estado límite, la formación de un plano horizontal. Las fuerzas que causan la inestabilidad son la gravedad (peso de la masa), y las presiones neutras, como por ejemplo las generadas por un flujo. Ver figura 3.

Figura 3. **Inestabilidad de un talud**

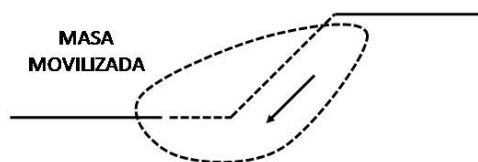


Fuente: BRAJA M., Das. Principios de ingeniería de cimentaciones. p. 83.

#### 1.1.5 Fallas de un talud

Es el movimiento real de la masa susceptible de deslizamiento, físicamente esto indica que la resistencia al corte de la masa que se moviliza es igual a la resistencia al corte del suelo. En rigor, la rotura se alcanza por falla progresiva, dado que los máximos esfuerzos de corte aparecen en el pie de un talud y se propagan hacia arriba. Si se puede identificar el tipo de falla de un talud, su análisis y remediación, resultan aceptables. La figura 4 presenta el movimiento de masa.

Figura 4. **Diagrama de masa movilizada**



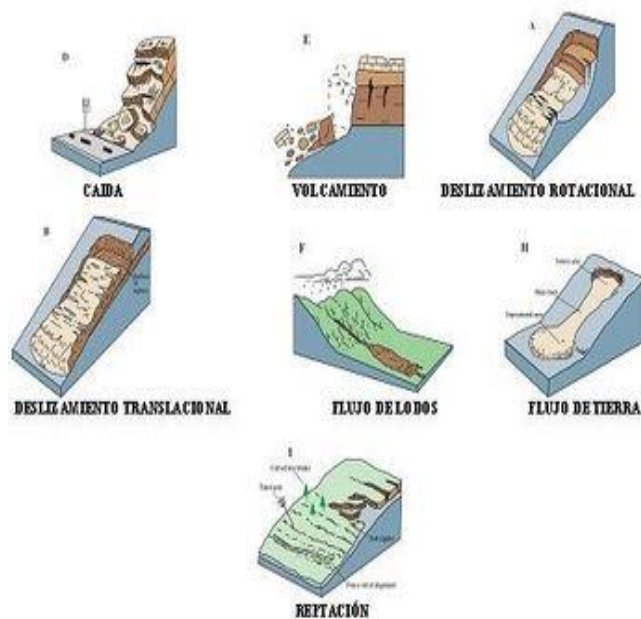
Fuente: BRAJA M., Das. Principios de ingeniería de cimentaciones. p. 84.

### 1.1.5.1 Tipos de movimiento de tierra

- Caídas (“falls”)
- Vuelco (“topple”)
- Deslizamiento (“slides”)
- Deslizamiento translacional Varnes (1978)
- Flujo de lodos (“flow”)
- Flujo de tierra
- Reptación

La siguiente figura muestra el esquema de movimiento de masas.

Figura 5. Esquemas de movimientos de masas



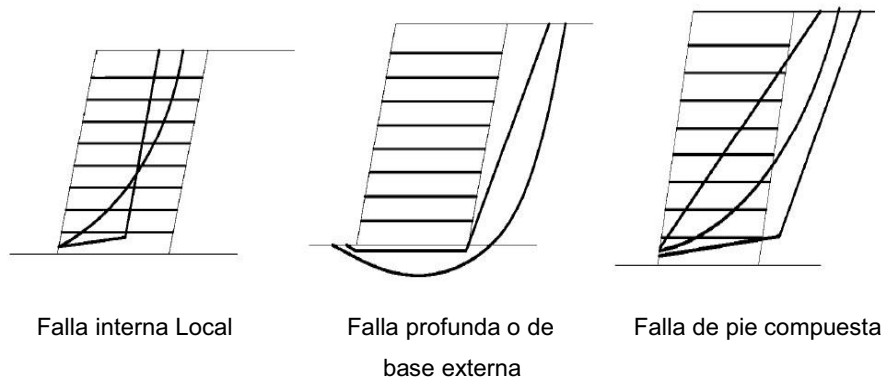
Fuente: LARSEN, Simon; Andrew, C Matthew. Geografiska annaler, Physical Geography. p. 23.

### 1.1.6 Tipos de estabilidad

- Estabilidad interna: es aquella en la que las superficies de rotura discurren íntegramente por el macizo reforzado con geomallas.
- Estabilidad externa: considera las superficies de rotura que no cortan la zona del macizo reforzado.
- Estabilidad compuesta: es el caso en el que las superficies de rotura pasan simultáneamente por la zona reforzada y sin reforzar.

La siguiente figura muestra los diferentes tipos de fallas.

Figura 6. Tipos de fallas



Fuente: elaboración propia.

## 1.2 Clasificación de suelo que conforma el talud

Mediante un análisis físico y químico de las muestras, se define las condiciones de resistencia de los diferentes estratos del suelo que conforma el talud a estabilizar.



### 1.2.1 Características mecánicas de los suelos

El comportamiento mecánico de los suelos se estudia con base en los parámetros de resistencia al corte. Los parámetros de resistencia al corte, establecida por Coulomb en 1777, fueron establecidos mediante el uso de la ley de fricción para el deslizamiento de dos superficies planas, y la inclusión de un término de cohesión que tiene en cuenta las propiedades electroquímicas que proporcionan adhesión y plasticidad a los suelos arcillosos. La relación entre la resistencia al corte y los parámetros de cohesión y fricción, se estableció inicialmente mediante la siguiente ecuación.

$$\tau_f = c + \sigma \cdot \tan \phi$$

Donde:

$\tau_f$  es la máxima resistencia al corte en el plano de falla,

$c$  es la cohesión del suelo,

$\sigma$  es el esfuerzo normal total en el plano de falla, y

$\phi$  es el ángulo de fricción del suelo.

### 1.2.2 Estabilidad al deslizamiento superficial de arena seca

Los siguientes factores son utilizados para el análisis de la estabilidad al deslizamiento superficial de arena seca. La siguiente figura 7 se observa el equilibrio de fuerzas.

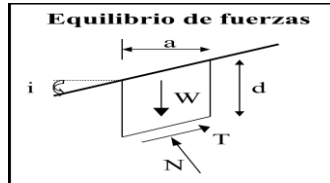
- Superficie de falla plana y paralela al talud
- Masa que desliza de pequeño espesor
- Tensiones en caras verticales iguales y opuestas

$$T = W \cdot \sen i \quad ; \quad N = W \cdot \cos i \quad ; \quad W = \gamma_d \cdot a \cdot d$$

$$FS = \frac{N \cdot \tan \phi}{W \cdot \sen i} = \frac{W \cdot \cos i \cdot \tan \phi}{W \cdot \sen i}$$

$$FS = \frac{\tan \phi}{\tan i} \Rightarrow i_{\max} = \phi$$

Figura 7. **Equilibrio de fuerzas**



Fuente: elaboración propia.

Si se moviliza toda la resistencia al corte ( $FS = 1$ ), el talud será estable si  $i = f$ . Donde  $i$  es el ángulo de reposo.

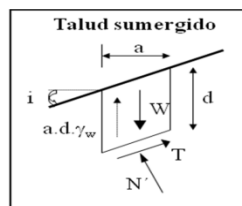
### 1.2.3 Estabilidad al deslizamiento superficial de arena sumergida

Los siguientes factores son utilizados para el análisis de la estabilidad al deslizamiento superficial de arena sumergida.

- Superficie de falla plana y paralela al talud
- Masa que desliza es de pequeño espesor
- No existe flujo de agua en el interior

La siguiente figura se observa un talud totalmente sumergido.

Figura 8. **Talud sumergido**



$$FS = \frac{\tan \phi}{\tan i}$$

Fuente: elaboración propia.

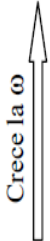
En general:

- El talud es estable para  $i < f_i$
- El ángulo de fricción para el cual comienza el deslizamiento está relacionado con el  $\phi_{f_{\max}}$  (dependiendo de su  $e$  inicial). Si el material queda suelto,  $\phi = \phi_{cv}$  el flujo de agua reduce estabilidad del talud.

### 1.2.4 Límites de consistencia e índice de plasticidad

Etimológicamente, consistencia equivale a la capacidad de mantener las partes del conjunto integradas, es decir estabilidad y coherencia. En mecánica de suelos, sólo se utiliza para los suelos finos que, dependiendo del contenido de agua y su mineralogía, fluyen sin romperse. La consistencia de la arcilla seca es alta, y húmeda es baja. Atterberg (1911), establece arbitrariamente tres límites para los cuatro estados de la materia, descritos en tabla 1:

Tabla I. **Límites para los cuatro estados de los suelos finos, Atterberg, 1911**

	Estado líquido	⇒	Límite líquido	$W_L$	LL
	Estado plástico	⇒	Límite plástico	$W_P$	LP
	Estado semi – sólido	⇒	Límite de retracción	$W_S$	LR
	Estado sólido				

Fuente: ESCOBAR, Gonzalo Duque; ESCOBAR, Potes Manizales; ENRIQUE, Carlos. Mecánica de los suelos. p. 33.

Un suelo está en estado líquido (arcilla o limo muy húmedos), cuando se comporta como un fluido viscoso, deformándose por su propio peso y con resistencia a la cizalladura casi nula. Al perder agua, ese suelo pierde su fluidez, pero continúa deformándose plásticamente; dado que pierde su forma, sin agrietarse. Si se continúa con el proceso de secado (de la arcilla o limo), el suelo alcanza el estado semi – sólido, si al intentar el remoldeo se desmorona.

Si se saca más agua, a un punto en el cual su volumen ya no se reduce por la pérdida de agua, y el color toma un tono más claro, el estado del suelo se define como sólido. El estado plástico se da en un rango estrecho de humedades, comprendidas entre los límites líquido y plástico. Este rango genera el índice de plasticidad, IP, definido así:

$$IP = W_L - W_P \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{diferencia de contenido de} \\ \text{humedades en los LL Y LP} \end{array} \right.$$

En consecuencia, los límites de Atterberg son contenidos de humedad del suelo, para suelos finos (limos, arcillas), solamente.

#### 1.2.4.1 Índice de liquidez IL

El contenido de humedad natural  $\omega$ , que presente una arcilla o un limo en el campo, puede compararse con sus límites de humedades en el límite plástico y líquido, mediante el índice de liquidez, IL, así:

$$IL = \frac{\omega - \omega_P}{IP} * 100 \quad (\text{en \%})$$

Si  $IL > 100\%$ , el suelo en campo está cerca al LL; si  $IL < 0\%$ , el suelo en campo está cerca al LP. Pueden presentarse arcillas con  $IL < 0$ , cuando  $\omega < WP$ .

Puede tener valores negativos y superiores a 100%.

La plasticidad de un suelo se atribuye a la deformación de la capa de agua adsorbida alrededor de los minerales y en las arcillas, por su forma aplanada (lentejas), y pequeño tamaño, es alta dependiendo de la plasticidad del suelo del contenido de arcilla. Skempton (1953), expresó esta relación matemáticamente con la actividad **A** de la arcilla, así:

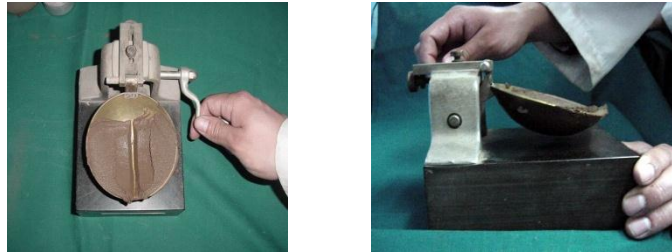
$$A = \frac{IP}{\% \text{ de arcilla}} \quad \Rightarrow \quad \% \text{ de arcilla} = \% \text{ en peso } W_S \text{ de partículas con } \phi < 2\mu$$

- La actividad de la montmorillonita es alta
- La actividad de la illita es media
- La actividad de la caolinita es baja

#### 1.2.4.2 El límite líquido LL

Es el contenido de humedad  $\omega_L$  requerido para que la muestra, en el aparato de Casagrande, cierre una ranura de  $\frac{1}{2}$ " de amplitud, a los 25 golpes generados a la cápsula de bronce, con un ritmo de dos golpes por minuto. Ver figura 9 de ensayo límite líquido.

Figura 9. **Aparato de Casagrande para obtener el límite líquido LL**

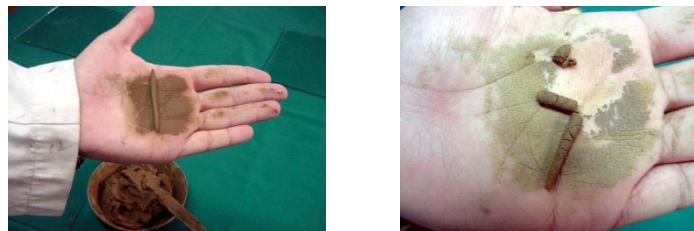


Fuente: Ingeniería geotécnica mecánica de suelos y rocas, ingeniería Dictuc Chile, <<http://www2.ing.puc.cl/~ingeot/ice1603/lab4/lab4.htm>> [Consulta: 03 de julio 2010].

#### 1.2.4.3 El límite plástico LP

Es el menor contenido de humedad  $w_p$  para el cual el suelo se deja moldear. Esto se dice cuando, tomando bolas de suelo húmedo, se pueden formar rollitos de 1/8" sobre una superficie plana, lisa y no absorbente. Sin agrietarse el suelo, no hay LP. Ver figura 10.

Figura 10. **Cilindros de 1/8" para obtener el límite plástico LP**



Fuente: Ingeniería geotécnica mecánica de suelos y rocas, ingeniería Dictuc Chile, <<http://www2.ing.puc.cl/~ingeot/ice1603/lab4/lab4.htm>> [Consulta: 03 de julio 2010].

#### 1.2.4.4 El límite de retracción LR (o de contracción)

Contenido de humedad, WR, por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen del suelo, en proceso de secamiento. Se coloca en una cápsula el suelo húmedo ( $\omega > \omega_L$ ), y se determina su peso  $W_i$  y volumen  $V_i$ , siendo  $V_i$  también el volumen de la cápsula. Se seca el suelo en la estufa y se obtiene su peso  $W_f$  y volumen  $V_f$ . El problema está en obtener  $V_f$  el cual se logra conociendo el peso del mercurio desplazado por el suelo seco, operación que es delicada. Así se tiene:

$$LR = \frac{(W_i - W_f) - (V_i - V_f) * \gamma_w}{W_f} * 100$$

Donde LR es el peso del agua perdida y el peso del agua en la muestra, cuando está en el límite de retracción. El LR se denomina también límite de contracción del suelo.

#### 1.2.4.5 Índice de retracción, IR

Éste indica la amplitud del rango de humedades, dentro del cual el suelo se encuentra en estado semisólido.

$$IR = LR - LP$$

### 1.3 Análisis granulométrico

El análisis de tamices es utilizado para determinar la distribución de tamaños o gradación de agregados, de acuerdo a las especificaciones de la AASHTO T-27 y T-11 por escala granulométrica. Ver tabla II.

Tabla II. **Escala granulométrica**

Partícula	Tamaño
Arcillas	< 0,002 mm
Limos	0,002-0,06 mm
Arenas	0,06-2 mm
Gravas	2 mm-6 cm
Cantos rodados	6-25 cm
Bloques	>25 cm

Fuente: elaboración propia.

El método de determinación granulométrico más sencillo, es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado (a modo de coladores), que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices. Pero para una medición más exacta se utiliza un granulómetro láser, cuyo rayo difracta en las partículas para poder determinar su tamaño.

El análisis o prueba de tamices se lleva a cabo cerniendo los agregados a través de una serie de tamices o cedazos enumerados. Estos tamices están en números ascendentes, esto es: #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200, y bandeja para agregados finos, en orden de tamaño descendente: 1- ½ ", 1", ¾ ", ½ ", 3/8", #4 y #8, y bandeja, para agregado grueso.

El número de los tamices indica las aperturas del tamiz por pulgada lineal. Cada tamiz tiene un diámetro igual a la mitad del diámetro del tamiz que le precede. Esta numeración varía debido al grueso del alambre utilizado para la malla. El uso de todos los tamices dependerá de la precisión que se requiera o de las especificaciones, ya que en ocasiones sólo se utilizará algunos de ellos.



Se conoce como agregado fino a todo aquel que pasa a través del tamiz de 3/8", el #4, y es retenido casi completamente en el tamiz #200. El agregado grueso es aquel que se retiene en el tamiz #4. Ver figura.

Figura 11. **Juego de tamices**



Fuente: Ingeniería geotécnica mecánica de suelos y rocas, ingeniería Dictuc Chile, <<http://www2.ing.puc.cl/~ingeot/ice1603/lab4/lab4.htm>> [Consulta: 03 de julio 2010].

#### 1.4 **Coefficiente de fricción interna**

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física:

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \text{Tan } \phi$$

El ángulo de fricción depende de varios factores (Bilz, 1995), entre ellos algunos de los más importantes son:

- Tamaño de los granos
- Forma de los granos
- Distribución de los tamaños de granos
- Densidad

## **1.5 Cohesión de suelos**

La cohesión, es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en mecánica de suelos, es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión.

En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a cero, a estos suelos se les denomina suelos no cohesivos.

### **1.5.1 Cohesión aparente**

En los suelos no saturados el agua en los poros produce un fenómeno de adherencia por presión negativa o fuerzas capilares. Esta cohesión aparente desaparece con la saturación.

### **1.5.2 Esfuerzo efectivo**

Una masa de suelo saturada consiste de dos fases distintas: el esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenos de agua. Cualquier esfuerzo impuesto sobre el suelo es soportado por el esqueleto de partículas y la presión en el agua. Típicamente, el esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre partículas y el agua a su vez puede ejercer una presión hidrostática, la cual es igual en todas las direcciones. Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente, se conocen como esfuerzos efectivos y los esfuerzos hidrostáticos del agua se les denominan presión de poros. Los esfuerzos efectivos son los que controlan el comportamiento del suelo y no los esfuerzos totales.

El análisis con esfuerzos totales puede utilizarse en problemas de estabilidad a corto plazo y las presiones efectivas para analizar la estabilidad a largo plazo. Desde el punto de vista de la relación esfuerzo – deformación, en estabilidad de taludes se deben tener en cuenta dos tipos de resistencia: resistencia máxima o resistencia pico, y resistencia residual.

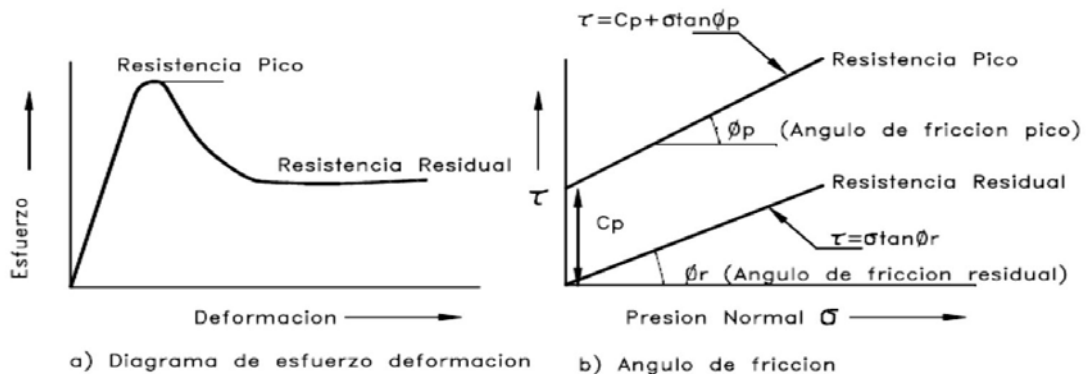
#### **1.5.2.1 Resistencia máxima o resistencia pico**

La resistencia al corte máximo que posee el material que no ha sido fallado previamente, corresponde al punto más alto en la curva esfuerzo-deformación. La utilización de la resistencia pico en el análisis de estabilidad, asume que la resistencia pico se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla alcanzar deformaciones mayores que la promedio, debido al fenómeno de falla progresiva, lo que supone que la resistencia pico que actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis.

#### **1.5.2.2 Resistencia residual**

Es la resistencia al corte que posee el material después de haber ocurrido la falla. Skempton (1964), observó que en arcillas sobre consolidadas, la resistencia calculada del análisis de deslizamientos, después de ocurridos, correspondía al valor de la resistencia residual y recomendó utilizar para el cálculo de factores de seguridad, los valores de los parámetros obtenidos para la resistencia residual  $\phi_r$  y  $c_r$ . Sin embargo, en los suelos residuales la resistencia pico tiende a ser generalmente muy similar a la resistencia residual. Otro factor que determina las diferencias entre la resistencia pico y residual es la sensibilidad, la cual está relacionada con la pérdida de resistencia por el remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla.

Figura 12. Resistencias pico y residual



Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 83.

En arenas, gravas y limos no plásticos que se denominan como suelos granulares, la cohesión es muy baja y puede en muchos casos considerarse de valor cero, y el ángulo de fricción depende de la angulosidad y tamaño de las partículas, su constitución, mineralogía y densidad. Generalmente, el ángulo de fricción en suelos granulares varía de  $27^\circ$  a  $42^\circ$ , dependiendo del tipo de ensayo que se realice. Por ejemplo, en un ensayo triaxial drenado el ángulo de fricción, es  $4^\circ$  a  $5^\circ$  menor que el medido en un ensayo de corte directo.

En arcillas normalmente consolidadas y limos arcillosos se puede considerar la fricción igual a cero y la cohesión como el valor total del esfuerzo de resistencia obtenida. En suelos residuales generalmente, predominan las mezclas de partículas granulares y arcillosas, el ángulo de fricción depende de la proporción grava-arena-limo y arcilla, también de las características de cada tipo de partícula presente.

### 1.5.2.3 Parámetros de presión de poros

El análisis de esfuerzos efectivos requiere del conocimiento de las presiones de poro en el campo. Estas presiones de poro pueden ser estimadas si los cambios de esfuerzo dentro del suelo se pueden determinar. Para esta estimación se pueden utilizar los parámetros de presión de poros A y B, propuestos por Skempton (1954), para calcular las presiones de poro en exceso.

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad \text{Donde: } \Delta u = \text{Exceso de presión de poros.}$$

A = Parámetro de presión de poros A

B = Parámetro de presión de poros B

$\Delta\sigma_1$  = Cambio en el esfuerzo principal mayor

$\Delta\sigma_3$  = Cambio en el esfuerzo principal menor

Los parámetros A y B, deben ser determinados por ensayos de laboratorio, o seleccionados de la experiencia. Para suelos saturados B se acerca a 1 pero su valor disminuye drásticamente con la disminución en el grado de saturación.

Los valores del parámetro A dependen de las deformaciones y generalmente, alcanzan valores máximos en el momento de la falla. Suelos normalmente consolidados tienden a generar excesos de presión de poros positivos durante el corte, en contraste los suelos sobre-consolidados pueden esperarse que generen presiones en exceso negativas.

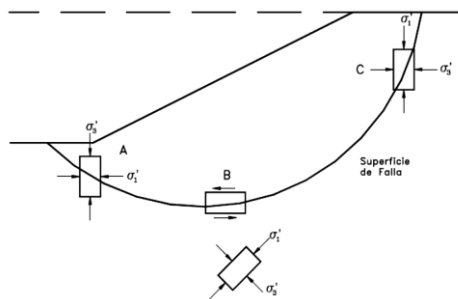
Tabla III. **Valores típicos del parámetro A en el momento de la falla**

Tipo de arcilla	Valor del parámetro A de Skempton
Altamente sensitiva	0,75 a 1,5
Normalmente consolidada	0,5 a 1,0
Arcilla arenosa compactada	0,25 a 0,75
Arcilla ligeramente sobreconsolidada	0,0 a 0,5
Arcillas gravosas compactadas	- 0,25 a +0,25
Arcillas muy sobreconsolidadas	-0,5 a 0,0

Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 84.

El valor de A está muy influenciado por el nivel al cual el suelo ha sido previamente deformado, el esfuerzo inicial del suelo, la historia de esfuerzos y la trayectoria de esfuerzos, tales como carga y descarga (Lambe y Whitman, 1969).

Figura 13. **Diagrama de presión de poros**



Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 84.

## 1.6 Círculo de Mohr

En un análisis en dos dimensiones, los esfuerzos en un punto pueden ser representados por un elemento infinitamente pequeño sometido a los esfuerzos  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ , y  $\tau_{xy}$ . Si estos esfuerzos se dibujan en unas coordenadas  $\tau$ - $\sigma$ , se puede trazar el círculo de esfuerzos de Mohr. En este círculo se definen los valores de  $\sigma$  máximo ( $\sigma_1$ ), y  $\sigma$  mínimo ( $\sigma_3$ ), conocidos como esfuerzos principales.

Para interpretar correctamente el fenómeno de falla al cortante en un talud, debe tenerse en cuenta cuál es la dirección de los esfuerzos principales en cada sitio de la superficie de falla. El esfuerzo  $\sigma_1$  es vertical en la parte superior de la falla y horizontal en la parte inferior.

### 1.6.1 Envolvente de falla

El círculo de Mohr se utiliza para representar o describir la resistencia al cortante de los suelos, utilizando la envolvente de falla Mohr – Coulomb, lo cual equivale a que una combinación crítica de esfuerzos se ha alcanzado. Los esfuerzos por encima de la envolvente de falla no pueden existir. La envolvente de falla Mohr - Coulomb es generalmente una línea curva que puede representarse en la forma:

$$s = A (\sigma')^b$$

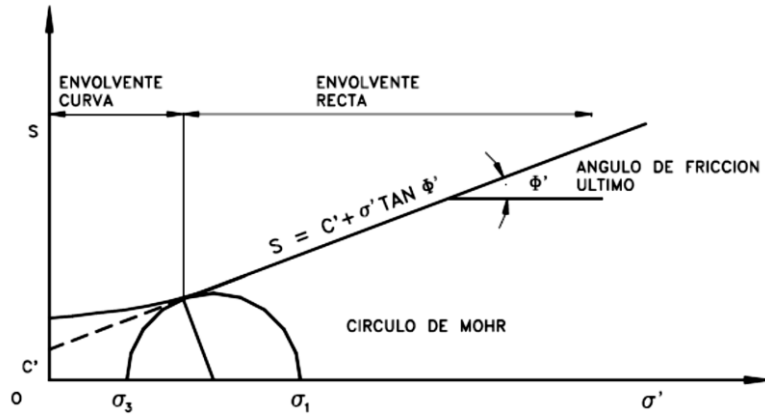
Donde:

$s$  = Resistencia al cortante

$\sigma'$  = Esfuerzo normal efectivo

$A$  y  $b$  = Constantes

Figura 14. **Envolvente de falla y círculo de Mohr**



Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 85.

Dónde:

$c'$  = Intercepto del eje de resistencia (cohesión)

$\sigma'$  = Esfuerzo normal efectivo

A y b = Constantes

En la práctica normal de ingeniería, generalmente esta curva se define como una recta aproximada dentro de un rango seleccionado de esfuerzos, en el cual:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi'$$

En la mayoría de los suelos la envolvente de falla para niveles de esfuerzos pequeños no es recta sino curva y el error de asumirla como recta puede modificar sustancialmente los resultados de un análisis. En la realidad no existe un ángulo de fricción para esfuerzos normales bajos y es preferible utilizar todos los valores de la envolvente. Sin embargo, los ensayos normales de resistencia al cortante no se realizan con suficientes puntos para determinar



las características de la curva en el rango de esfuerzos bajos. Hawkins (1996), indica que es recomendable presentar los ángulos de fricción como una función de las presiones normales.

$\phi' = f(\sigma')$  y  $\phi'$ (último) = pendiente de la parte recta de la envolvente.

El círculo de Mohr puede extenderse también al análisis de suelos parcialmente saturados, teniendo en cuenta las presiones en el agua y el aire en los vacíos (Fredlund, 1978).

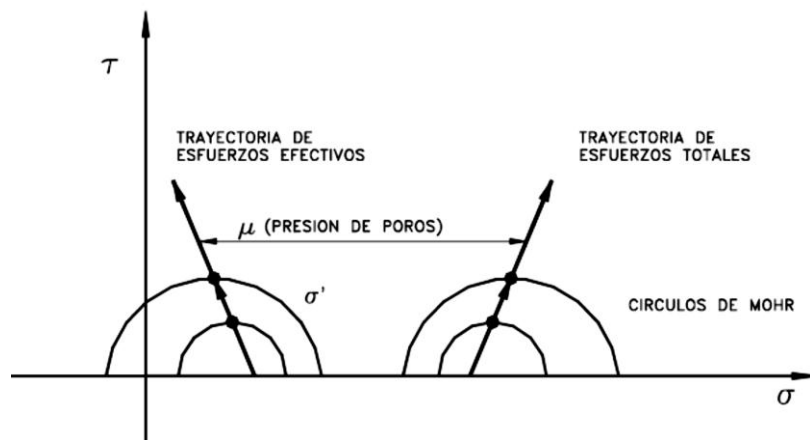
### **1.6.2 Trayectoria de esfuerzos**

El método de la trayectoria de esfuerzos permite estudiar el comportamiento del suelo en el campo o el laboratorio. La trayectoria de esfuerzos, muestra estados sucesivos de esfuerzos en un espacio de esfuerzos p-q, donde **p** y **q** corresponden a los máximos esfuerzos normales y de cortante en el círculo de Mohr. Para claridad los círculos de Mohr no se trazan, sólo se traza el diagrama de trayectoria de esfuerzos. Se pueden trazar tres tipos diferentes de trayectorias así:

- Trayectoria de esfuerzos efectivos: la cual pretende presentar el verdadero comportamiento de la muestra de suelo.
- Esfuerzos totales menos presión de poros estática: muestra el estado de esfuerzos en el suelo con un margen para la presión de poros en el agua, debida al nivel estático de aguas subterráneas. Si el nivel de agua no cambia, la diferencia entre la trayectoria de esfuerzos efectivos y la de esfuerzos totales, menos la presión de poros estática, es la presión de

poros en exceso generada a medida que el suelo experimenta deformaciones.

Figura 15. Trayectoria de esfuerzos



Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 85.

- Esfuerzos totales: la cual muestra la trayectoria de las coordenadas de los esfuerzos totales solamente. De estas trayectorias de esfuerzos se puede ver el comportamiento típico de los elementos de suelo.

### 1.6.3 Medición de la resistencia al cortante

La determinación precisa de las resistencias de los materiales de un talud es esencial para un análisis de estabilidad representativo de sus condiciones reales, aunque es posible en algunas circunstancias realizar ensayos in situ, la forma más común de obtener los parámetros de resistencia al corte son los ensayos de laboratorio. Sin embargo, los valores de la resistencia al cortante determinado en ensayos de laboratorio dependen de factores, tales como la calidad de las muestras, su tamaño y el método de ensayo.

La resistencia al cortante depende del grado de saturación y éste varía con el tiempo. Esta situación dificulta la realización de ensayos representativos en muestras no saturadas y generalmente, se acostumbra trabajar con muestras saturadas. Las envolventes de falla para suelos y rocas son generalmente, no lineales en un rango amplio de esfuerzos, por esta razón los ensayos deben idealmente ser realizados en el rango de esfuerzos correspondiente a la situación de diseño.

Por ejemplo, para deslizamientos poco profundos deben utilizarse esfuerzos normales pequeños y para fallas profundas esfuerzos normales mayores. La mayoría de los ensayos de laboratorio colocan la carga en unos minutos u horas, pero para la mayoría de los taludes la carga es permanente, con excepción de las cargas dinámicas que son aplicadas en períodos muy cortos de tiempo.

## **1.7 Aspectos generales de las geomallas**

Debe ser constituida por una malla regular o entrelazados estables, elaborados con polímeros íntegramente conectados para formar elementos a tensión, con suficiente apertura geométrica que permita significativamente trabar mecánicamente el material de relleno y el geosintético. La estructura del geosintético para refuerzo, debe ser dimensionalmente estable, debe ser capaz de mantener su geometría bajo los esfuerzos de construcción y debe tener alta resistencia a los daños durante la construcción, a la degradación de los rayos ultravioleta y a toda forma de degradación química y biológica que se pueda encontrar en el suelo a ser reforzado.

Las geomallas serán de preferencia aquellas fabricadas por extrusión de láminas de polipropileno o polietileno de alta densidad. También pueden utilizarse geomallas tejidas con hilos de polipropileno o poliéster, recubiertas con baños de cloruro de polivinilo (PVC). En cada proyecto se debe especificar la separación de la malla, incluyendo los valores máximo y mínimo de la abertura entre los elementos de la malla, en milímetros, en cualquier dirección.

Las uniones en los puntos de cruce de los elementos de la geomalla deben ser íntegramente conectados a través de extrusión de la malla así misma o soldando los puntos de cruce, de tal manera que los elementos no se separen entre sí, tanto en las operaciones de instalación, como durante las actividades de construcción, ni bajo niveles de esfuerzo y condiciones anticipadas del medio ambiente que puedan afectar la vida de la estructura.

### **1.7.1 Definiciones de las geomallas**

Geosintético formado por una red regular de elementos integralmente conectados con aberturas mayores que 6,35 mm (1/4 in), para permitir el intertrabazón con el suelo o roca que lo circunda, desarrollando así la función de refuerzo. En general, son fabricadas con polímeros que garantizan su función de refuerzo. El más utilizado es el poliéster por ofrecer un comportamiento tensión/deformación más armónico cuando en combinación con el suelo.

Son una solución para el mejoramiento de suelos, coextruídas mono-orientadas y bi-orientadas, las cuales proporcionan un confinamiento lateral en el suelo, aumentando la resistencia a la tensión de estos. Así mismo, como una solución para el refuerzo de carpetas asfálticas se utiliza geomallas de fibra de vidrio, entre capas de concreto asfáltico con el fin de controlar agrietamientos por reflexión, agrietamientos por fatiga y deformaciones plásticas.

También existen fabricadas con filamentos de poliéster de alta resistencia y recubierta por PVC para garantizar una gran durabilidad. Las principales ventajas del poliéster son su elevado módulo de elasticidad, resistencia a largo plazo, la resistencia química y biológica de la geomalla.

### **1.7.2 Tipos de geomallas**

Las geomallas se dividen por su estructura interna y tipo de material, alcanzando niveles de resistencia al desgaste y degradación contra factores externos del suelo.

#### **1.7.2.1 Geomallas uniaxiales**

Empleadas en refuerzo de estructuras, estas geomallas proveen soluciones a muchos problemas de estructuras de suelos reforzados que involucran todo tipo de material de relleno.

Los muros y taludes reforzados con geomallas pueden ser diseñados y construidos para cumplir con cualquier condición de carga y acabado final de la cara. Estas geomallas proveen soluciones a muchos problemas de estructuras de suelos reforzados que involucran todo tipo de material de relleno. Los muros, taludes reforzados con geomallas pueden ser diseñados y construidos para cumplir con cualquier condición de carga y acabado final de la cara. Ver figura 16.

Los principales campos de aplicación de este tipo de geomallas son:

- Refuerzo de muros, taludes para vías y para obtener mayor área plana
- Refuerzo de terraplenes, estribos, muros y aletas de puentes

Figura 16. **Geomalla uniaxial**



Fuente: <http://www.pavco.com.co/index.php?pag=home&id=19%7C58%7C> [Consulta: 10 de mayo 2010].

### **1.7.2.2 Geomallas biaxiales**

Para el refuerzo de capas, este tipo de geomallas se compone de elementos y nudos rígidos, en los cuales el material granular es confinado por trabazón. Esta trabazón de agregados mejora la distribución de esfuerzos sobre la sub-rasante disminuyendo las deformaciones sobre ésta, restringe el desplazamiento lateral de los agregados de la base o sub-base aumentando su confinamiento y resistencia. Ver figura 17.

Campos de aplicación:

- Terraplenes para vías
- Refuerzo de suelos blandos
- Refuerzo de materiales granulares
- Terraplenes para vías férreas
- Aeropuertos

Figura 17. **Geomalla biaxial**



Fuente: <http://www.pavco.com.co/index.php?pag=home&id=19%7C58%7C> [Consulta: 10 de mayo 2010].

### **1.7.2.3 Geomallas tridimensionales**

En taludes inestables de tierra y áreas de erosión constante como orillas de ríos o puntos muy transitados, se instalan geomallas sintéticas tridimensionales o esteras tridimensionales, no biodegradables, que forman un entramado muy consistente con las raíces de las plantas. Estas georedes sintéticas, son un enrejado que refuerza y entrelaza el conjunto plantas-suelo.

### **1.7.2.4 Geomallas de fibra de vidrio**

Son flexibles se utilizan entre capas de concreto asfáltico para controlar agrietamientos por reflexión, fatiga y deformaciones plásticas, también en vías de alto y bajo tráfico, autopistas, aeropuertos, plataformas y parqueos. Su principal función consiste en aumentar la resistencia a la tracción de la capa asfáltica y de garantizar bajo una carga vertical, la distribución uniforme de los esfuerzos horizontales en una mayor superficie, incrementando la vida de los pavimentos flexibles, al reducir la fatiga de los materiales bituminosos, controlando la reflexión de grietas. Ver figura 18.

Figura 18. **Geomallas fibra de vidrio**

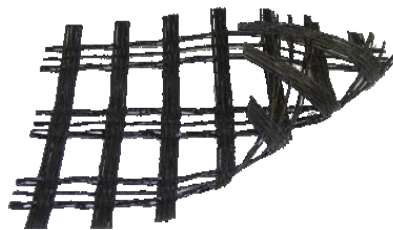


Fuente: <http://www.pavco.com.co/index.php?pag=home&id=19%7C58%7C>, [Consulta: 10 de mayo 2010].

#### 1.7.2.5 **Geomallas tejida**

Producida a partir de filamentos de poliéster de superior tenacidad, con bajos valores de elongación y elevada resistencia a la tracción. Son revestidas con PVC para su protección contra daños de instalación, ataques químicos, biológicos y ambientales. Ver figura 19. Indicadas para construcción de estructuras de contención en suelo reforzado, refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos, refuerzo de base de pavimentos. Ver tabla IV.

Figura 19. **Geomalla tejida**



Fuente: MACCAFERRI. Ficha técnica MacGrid WG. Brasil, junio 2008, p. 1



Tabla IV. Características técnicas de geomallas tejidas

# MacGrid® WG

## Geomalla Tejida

### Características técnicas

MacGrid® WG es una geomalla tejida producida a partir de hilos de poliéster de alta tenacidad, que reciben revestimiento en PVC para la protección del núcleo resistente, a los daños de instalación, ataques químicos, biológicos y ambientales, y son especialmente indicadas para estabilización de estructuras de contención en suelo reforzado, refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos y refuerzo de pavimentos entre otras aplicaciones.

PROPIEDADES MECÁNICAS				WG 40	WG 60	WG 90	WG 120	WG 150
Resistencia longitudinal a la tracción	$T_{ultmd}$	kN/m	ASTM D 46637	40.0	60.0	90.0	120.0	150.0
Resistencia transversal a la tracción	$T_{ultmd}$	kN/m	ASTM D 46637	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Deformación en la rotura	$\epsilon$	%	ASTM D 46637	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Resistencia a la 2% de deformación	$T_{2\%}$	kN/m	ASTM D 46637	8.8	11.1	16.6	22.2	28.1
Resistencia a la 5% de deformación	$T_{5\%}$	kN/m	ASTM D 46637	15.0	17.8	27.9	35.6	39.8

### PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE DISEÑO A LARGO PLAZO

Factor de reducción debido al fenómeno de FLUENCIA				WG 40	WG 60	WG 90	WG 120	WG 150
75 años	$RF_{CR}$		ASTM D 5262	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63
114 años	$RF_{CR}$		ASTM D 5262	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65

Factor de reducción debido a DANOS AMBIENTALES				WG 40	WG 60	WG 90	WG 120	WG 150
3 < pH do solo < 10	$RF_D$		FHWA RD 97-144	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10

Factor de reducción debido DANOS DE INSTALACION				WG 40	WG 60	WG 90	WG 120	WG 150
Suelo tipo 01: piedra de cantera	$RF_{ID}$		ASTM D 5818	1.29	1.22	1.11	1.10	1.09
Suelo tipo 02: arena	$RF_{ID}$		ASTM D 5818	1.05	1.04	1.03	1.05	1.06
Suelo tipo 03: areno limoso	$RF_{ID}$		ASTM D 5818	1.07	1.07	1.07	1.08	1.10

Factor de reducción global - RFG = (RFCR x RFID x RFD)				WG 40	WG 60	WG 90	WG 120	WG 150
$T_{ult}$ para Suelo tipo 01	$RF_G$			2.31	2.19	1.99	1.97	1.95
$T_{ult}$ para Suelo tipo 02	$RF_G$			1.88	1.86	1.85	1.88	1.90
$T_{ult}$ para Suelo tipo 03	$RF_G$			1.92	1.92	1.92	1.94	1.97

LTDS = $T_{ult}/(RF_{CR} \times RF_{ID} \times RFD)$				WG 40	WG 60	WG 90	WG 120	WG 150
LTDS para Suelo tipo 01	LTDS	kN/m		17.3	27.4	45.2	60.8	76.8
LTDS para Suelo tipo 02	LTDS	kN/m		21.2	32.2	48.7	63.7	78.9
LTDS para Suelo tipo 03	LTDS	kN/m		20.8	31.3	46.9	62.0	76.1

### PROPIEDADES DE INTERACCIÓN

De acuerdo con ensayos realizados y literatura; $C_i \tan \theta = F^*$ & $C_{ds} \tan \theta = \tan \rho$ conforme AASHTO '98				WG 40	WG 60	WG 90	WG 120	WG 150
Coefficiente de interacción - pull out test	$C_i$		ASTM D 6706	1.06	0.98	1.04	1.04	1.04
Coefficiente de interacción - esfuerzo de corte directo	$C_{ds}$		ASTM D 5321	0.90	0.90	0.96	0.93	0.91

PROPIEDADES FÍSICAS				WG 40	WG 60	WG 90	WG 120	WG 150
Apertura nominal de la malla longitudinal	mm			30	30	45	65	67
Apertura nominal de la malla transversal	mm			20	20	20	20	33
Masa por unidad de área (gramaje)	g/m <sup>2</sup>			358	345	493	546	575
Ancho del rollo	m			5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
Largo del rollo	m			100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Diámetro del rollo	cm			30.5	38.0	40.6	43.2	45.0

Maccaferri a través de su control de calidad garantiza que todos los materiales producidos respetan los valores nominales presentados

**MACCAFERRI**

Maccaferri renuncia el derecho de revisar estas especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.  
www.maccaferri.com.br

Fuente: MACCAFERRI. Ficha técnica MacGrid WG. Brasil, junio 2008. p. 1

### 1.7.2.6 Geomallas soldada

Para refuerzo de suelos, producida de forma monoaxial de poliéster soldada a laser, la confección de la geogrilla utiliza avanzados principios de fabricación con tecnología laser que permite controlar con precisión la calidad y la rigidez de las uniones entre las tiras durante el proceso de producción, sin afectar las características del polímero.

Son producidas con cintas transparentes y negras, pues de este modo el haz de laser atravesará la cinta transparente calentando la cinta negra, realizando por termosoldadura la unión de esos elementos, son indicadas para obras de suelo reforzado, técnica de construcción basada en la estabilidad del suelo a través de su interacción con materiales resistentes a tracción, utilizadas en la contención de taludes y en rellenos de pequeña y mediana altura. Ver figura 20.

Principales características:

- Refuerzo de suelo de alto rendimiento
- Durabilidad
- Facilidad de instalación

Figura 20. **Geomalla soldada geogrillas MacGrid® PRO**



Fuente: MACCAFERRI. Ficha técnica MacGrid pro. Brasil, junio 2008. p. 1.

### **1.7.2.7 Geomallas termosoldada**

Es una geogrilla termosoldada monorientada, compuesta por un núcleo de alta resistencia compuesto por filamentos de poliéster, revestido con una camada protectora de polietileno. El núcleo en poliéster define las características mecánicas de la geogrilla, mientras que el revestimiento en polietileno tiene la función de proteger el núcleo contra daños durante las operaciones de instalación y trabajo. El polietileno por ser un polímero inerte, además de presentar excelente resistencia a los ataques de agentes químicos y biológicos, también no contamina el medio ambiente.

Visando mejorar la interacción suelo/geogrilla, las geotiras son sometidas a un proceso de laminado que proporciona el acabado texturado a la superficie. Las características de resistencia al final de la vida útil de la obra y el bajo módulo de deformación confieren la posibilidad de ser usadas en obras de gran porte, son indicadas para obras de suelo reforzado, terminología usada para describir la técnica de construcción basada en el principio de que la estabilidad del suelo puede ser mejorada por medio de su interacción con materiales resistentes a esfuerzos de tracción.

La inclusión de las geogrillas durante el proceso constructivo del bloque de suelo, proporciona una sensible mejora de las características mecánicas del conjunto, si comparadas a aquellas presentes en un bloque de suelo natural.

Debido a sus características las geogrillas son indicadas para la contención de taludes de terraplenes de gran altura sobre suelo blando, pilotes y cavidades. En combinación con el sistema Terramesh, componen una excelente solución técnica, constructiva y económica para las estructuras de contención de gran altura en suelo reforzado.

### **1.7.3 Geomallas en aplicaciones de refuerzo**

La función principal consiste en proporcionar refuerzo al terraplén durante su construcción sobre materiales blandos. Este trabajo consiste en el suministro y colocación de geomallas conforme el diseño específico y los detalles mostrados en los planos. La geomalla de refuerzo debe tener orientación uniaxial, mono-orientada, bi-axial o bi-orientada, formada de polímeros formando una estructura de malla, compuesta de polipropileno, polietileno de alta densidad y/o poliéster.

En el diseño se debe indicar la separación de la malla para cumplir con el límite máximo y el mínimo dado para la abertura entre los elementos de la malla en cualquier dirección. Las uniones en los puntos de cruce de los elementos de la geomalla deben ser íntegramente conectados a través de extrusión de la malla a sí misma o soldando los puntos de cruce, de tal manera que los elementos no se separen entre sí tanto en las operaciones de instalación, como durante las actividades de construcción, ni bajo niveles de esfuerzo y condiciones anticipadas del medio ambiente que puedan afectar la vida de la estructura.

La geomalla debe ser colocada en los niveles que determinen los datos técnicos de la obra, debe ser instalada en la elevación apropiada con la resistencia principal orientada en forma perpendicular a los taludes del terraplén. La geomalla debe ser tensada para remover las arrugas o dobleces y debe asegurarse en el lugar con grapas, pines o material de relleno.

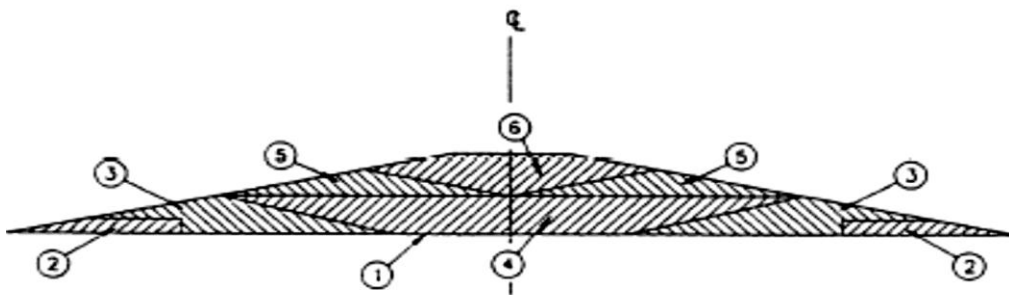
### 1.7.3.1 Método A para aplicación de geomallas de refuerzo

En secuencia de la construcción para subrasante extremadamente blandas (cuando la ondulación u ola de lodo se forma):

- Colocar el geosintético en paneles transversos continuos. Coser los paneles juntos
- Descargar por el extremo los caminos de accesos o bermas
- Construir las secciones de exterior para anclar en geosintético
- Construir las secciones del interior para asentar el geosintético
- Construir las secciones del interior para tensionar el geosintético
- Construir la sección central final

La siguiente figura muestra la secuencia de la construcción para subrasante para el caso extremadamente blando.

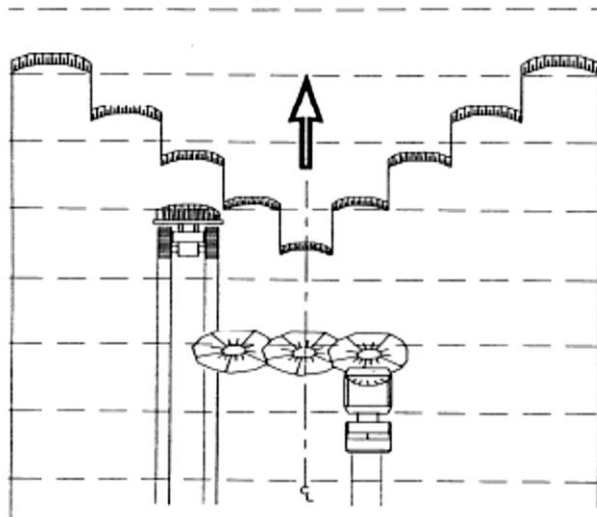
Figura 21. **Método A, sección secuencia de la construcción para subrasante extremadamente blandas (cuando la ondulación u ola de lodo se forma)**



Fuente: HOLTZ; BARRY; BERG. Guía para el diseño y construcción con geosintéticos. p. 54.

La siguiente figura muestra la colocación del relleno entre los caminos de acceso sobre sub-rasantes extremadamente blandas.

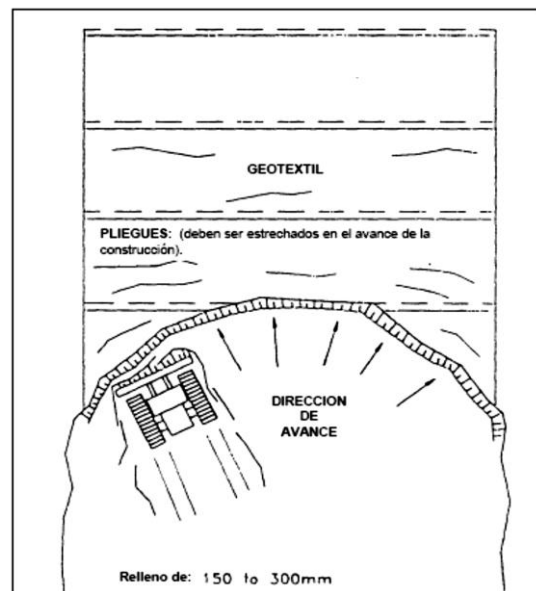
Figura 22. **Método A, planta colocación del relleno entre los caminos de acceso o bermas sobre sub-rasantes extremadamente blandas (CBR < 1) y con la anticipación de la ondulación u ola de lodo**



Fuente: HOLTZ; BARRY; BERG. Guía para el diseño y construcción con geosintéticos. p. 55.

La figura 23, muestra la colocación del relleno para tensionar el geosintético sobre la subrasante en condiciones moderadas.

Figura 23. **Colocación del relleno para tensionar el geosintético sobre subrasante de condiciones moderadas (CBR > 1); no formación de la ola de lodo, método B**



Fuente: HOLTZ; BARRY; BERG. Guía para el diseño y construcción con geosintéticos. p. 56.

### 1.7.3.2 Método B para aplicación de geomallas de refuerzo

Las unidades de geomalla adyacentes deben ser traslapadas perpendiculares al lado del talud del terraplén, conforme lo indicado en los planos. De igual forma se deben traslapar o fijar mecánicamente por medio de conectadores cuya resistencia principal cumpla con los requerimientos del diseño. El material de relleno debe ser colocado sobre la parte superior de la geomalla y compactado en capas conforme a lo indicado en los planos y estas especificaciones. Todo material de relleno debe ser colocado, esparcido y compactado de tal manera que no se produzcan arrugas o movimientos de las geomallas.

No se debe permitir que el equipo de construcción opere directamente sobre la geomalla, deben evitarse las paradas súbitas o repentinas, arranques o giros bruscos del equipo de construcción. Una capa mínima de material de relleno de 300 milímetros debe mantenerse en todo momento, entre las llantas o bandas del equipo y la geomalla.

El contratista debe reparar cualquier daño que se suscite en las geomallas o reemplazarlas a su costa. Cuando se utilicen geomallas para la estabilización y refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos, se deben construir los rellenos conforme los métodos A y B, según sea el caso.

### **1.8 Estabilidad de terraplén**

La falta de estabilidad se caracteriza por el desplazamiento de una determinada masa del suelo que conforma el terraplén, generándose grietas en la plataforma del camino. Este tipo de falla está generalmente asociada a suelos finos, predominantemente limosos. El origen de los deslizamientos de terraplenes se encuentra, generalmente en el desplazamiento o consolidación del suelo de fundación o en una compactación insuficiente del suelo de relleno (inferior que el 90% de la densidad máxima compactada seca, D.M.C.S.).

Las grietas longitudinales también pueden tener su origen en un endentado inadecuado en terraplenes destinados a ensanchar uno existente. Los movimientos son gatillados por infiltraciones de aguas superficiales al interior del relleno, lo que provoca una menor resistencia al esfuerzo de corte del suelo.

La solución consiste en remover toda la masa que se hubiere deslizado y reconstruir el terraplén, asegurando una unión adecuada con la masa no



removida mediante la construcción de escalones, y si corresponde, compactando adicionalmente. El trabajo debe complementarse con un sistema de drenaje superficial que evite que las aguas se infiltren en la masa del terraplén.

### 1.8.1 Análisis de estabilidad

Terzaghi determinó que al esfuerzo normal debería restarse la presión del agua dando como resultado un esfuerzo que se denominó esfuerzo efectivo. Dado que el agua no soporta esfuerzos cortantes, la resistencia al corte de una masa de suelo debe ser el resultado de la resistencia que se produce en los puntos de contacto entre partículas. La magnitud de esta resistencia depende solo de los esfuerzos efectivos que soporta el esqueleto del suelo. La ecuación de Coulomb en términos de esfuerzos efectivos se expresa como:

$$\tau_f = c' + \sigma' \cdot \tan \phi'$$

Donde:

$c'$  = cohesión efectiva del suelo.

$\sigma'$  = esfuerzo normal efectivo en el plano de falla.

$\phi'$  = ángulo de fricción efectiva del suelo.

El ángulo de fricción depende de varios factores, entre ellos, algunos de los más importantes son:

- Tamaño de los granos
- Forma de los granos
- Distribución de los tamaños de granos
- Densidad

Son determinados por medio de dos pruebas estándar de laboratorio. Ellas son:

- La prueba de corle directo
- La prueba triaxial

## **1.8.2 Tipos de análisis**

### **1.8.2.1 Taludes infinitos**

Para aquellos casos en los cuales se presenta una falla paralela a la superficie del talud, a poca profundidad y la longitud de falla es larga comparada con su espesor, se puede usar el método de análisis de un talud infinito. Con este sistema determinamos el factor de seguridad de un talud, suponiendo un talud largo con una capa delgada de suelo, en el cual cualquier tamaño de columna de suelo es representativo de todo el espesor del talud. Se suponen como hipótesis de análisis:

- Suelo isotópico y homogéneo
- Talud infinitamente largo
- Superficie de falla paralela al talud

### **1.8.2.2 Taludes finitos**

Representan el estado más general donde debe considerarse la estática de la totalidad de masa que falla, se aplica a superficies potenciales de falla que se asumen circulares y que se dividen en fajas verticales. Se pueden mencionar, los taludes en corte para carreteras, vías férreas, canales, terraplenes de vías y presas de tierra.

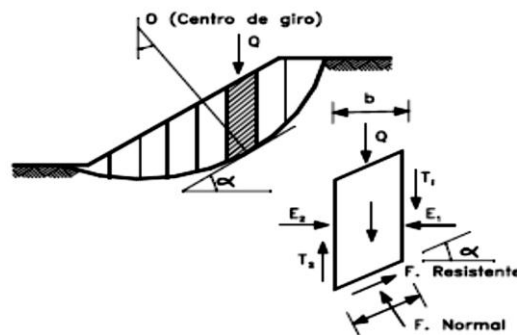
### 1.8.3 Métodos de análisis

#### 1.8.3.1 Método de Fellenius

Conocido también como método de las dovelas, este método supone superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas se obtiene el factor de seguridad. El equilibrio de una faja se analiza con la figura 24, donde los espesores de las fajas son de 1 m convirtiéndose entonces en un problema bidimensional.

Para este análisis se proyectan las fuerzas actuantes sobre un eje tangente a la base de la faja (a-a), y otro perpendicular (b-b).

Figura 24. Equilibrio límite con el método de Fellenius



Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 131.

Cabe recordar que la dificultad en los métodos de análisis consiste en evaluar la presión neutra. Se supone que las fuerzas sobre las caras de cualquier faja tienen resultante nula sobre el eje b-b. La resultante de todas las

fuerzas laterales actúa sobre el eje a-a. Si se parte de la definición de FS y se lo escribe en forma algebraica, se genera la ecuación:

$$F = \frac{\text{RESISTENCIA AL CORTE DISPONIBLE}}{\text{RESISTENCIA AL CORTE MOVILIZADA}}$$

$$F = \frac{\sum (c' * l_i + N_i * \text{tg } \phi')}{\sum W_i * \text{sen } \alpha_i}$$

El equilibrio de la faja  $W_i$  puede escribirse como:

$$W_i * \cos \alpha_i = N + U_i \longrightarrow N_i = W_i * \cos \alpha_i - U_i$$

En donde:

$W_i$  = peso de deslave de la masa

$\alpha$  = ángulo del terreno

$\phi$  = ángulo de fricción interna del suelo

$N$  = fuerza normal de la superficie de falla

$U$  = longitud del plano de falla

### 1.8.3.2 Método de Bishop

El método de cálculo que se desarrolla aquí se denomina simplificado, dado que se parte de una masa en equilibrio, donde se plantea la sumatoria de fuerzas proyectadas en un eje vertical:

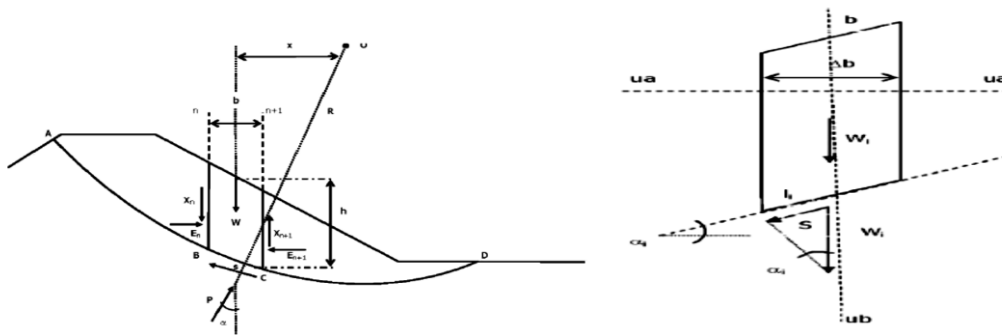
$$\sum (X_i - X_{i+1}) = 0$$

Y sumatoria de fuerzas proyectadas en un eje horizontal:

$$\sum (E_i - E_{i+1}) = 0$$

A fin de facilitar la demostración se toma el caso de un talud con una presión neutra  $u = 0$ , es decir, drenado o simplemente saturado. Este método contempla la proyección de las fuerzas sobre un eje vertical b-b, donde la resultante se considera nula. En cambio la resultante de las fuerzas laterales actúa sobre el eje horizontal a-a. Analizando la siguiente figura:

Figura 25. **Equilibrio límite con el método de Bishop**



Fuente: JUÁREZ; BADILLO; RICO RODRÍGUEZ, Mecánica de suelos. p. 168.

En donde:

$$\Delta b_i = l_i \cdot \cos \alpha_i \text{ por lo tanto } l_i = \Delta b_i / \cos \alpha_i = \Delta b_i \cdot \sec \alpha_i$$

$$S = s_i \cdot l_i / F = W_i \cdot \sen \alpha_i$$

Por definición el FS es:

$$F = \frac{\sum S_i \cdot l_i}{\sum W_i \cdot \sen \alpha_i}$$

En donde:

$S_i$  = fuerza paralela a la superficie de falla

$W_i$  = Peso de deslave de la masa

$\alpha_i$  = ángulo del terreno

$l_i$  = superficie de falla

Incluye fuerzas normales entre tajadas en su análisis e ignora los esfuerzos cortantes entre las mismas. Este método satisface solo el equilibrio de momentos, una forma del factor de seguridad por este método es:

$$F.S = \frac{\sum (c'b + W(1 - ru) * \text{Tg}\phi * \frac{\sec}{1 + \frac{\text{Tg}\phi * \text{Tg}\alpha}{F.S}}}{\sum W * \text{Sen}\alpha}$$

El hecho que el factor de seguridad aparece a los dos lados de la ecuación, esto quiere decir que la ecuación es no lineal y que una técnica iterativa se requiere para determinarlo.

### 1.8.3.3 Método de las rebanadas

Este evalúa un talud homogéneo usando superficies de falla circulares. La masa potencial de falla se divide en rebanadas y su factor de seguridad se computa asumiendo que no hay fuerzas entre tajadas, haciendo la ecuación lineal.

$$F.S = \frac{(\sum C * L + \sum N * \text{Tg}\phi)}{\sum W * \text{SEN}\alpha}$$

Donde:

B= Ancho de la rebanada

H= Altura media de la tajada

W= Peso

Alfa= Inclinación base de la tajada

L= Longitud de la base de la rebanada

C= Cohesión

N= W \* Cos \*  $\alpha$  -

#### **1.8.3.4 Método de Morgenstern & Price**

Este método, al igual que el método de Spencer, considera esfuerzos normales y cortantes entre tajadas, satisfaciendo equilibrio de fuerzas y de momentos.

La única diferencia es que el método de Morgenstern permite especificar diferentes tipos de fuerzas interactuantes.

#### **1.8.3.5 Método de Jambu**

Formulando dos factores de seguridad una con respecto al equilibrio de momentos y otra con respecto al equilibrio de fuerzas. Este método incluye las fuerzas normales entre tajadas pero no los esfuerzos cortantes.

El método simplificado de Jambu es idéntico al método de Bishop excepto que satisface únicamente el equilibrio horizontal de fuerzas. A continuación se presentan sintéticamente algunos métodos de análisis universalmente conocidos para el estudio de la estabilidad de taludes. Ver Tabla V.

Tabla V. **Métodos de análisis universales**

MÉTODO	AÑO	SUPERFICIE DE FALLA	EQUILIBRIO	CARACTERÍSTICAS
FELLENIUS	1927	CIRCULAR	DE FUERZAS	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy usado por su procedimiento simple. Resulta muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Arroja factores de seguridad bajos en cirulos profundos.
BISHOP	1954	CIRCULAR	DE MOMENTOS	Asume que todas las fuerzas de corte entre dovelas son nulas. Reduce el número de incógnitas. La solución es indeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela. El cálculo se lleva a cabo buscando el equilibrio de momentos respecto al centro del arco circular.
MORGENSTERN Y PIRCE	1965	CUALQUER FORMA	MOMENTOS Y FUERZAS	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
JANBU	1968	CUALQUER FORMA	DE FUERZAS	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de corte entre dovelas. Este método utiliza un factor de corrección para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son relativamente bajos.
SPENCER	1967	CUALQUER FORMA	MOMENTOS Y FUERZAS	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son iguales para cada rebanada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre rebanadas elementales tiene una inclinación constante pero desconocida
ELEMENTOS FINITOS		CUALQUER FORMA	ANALIZA ESFUERZOS Y DEFORM	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos. Pero no se obtiene un factor de seguridad

Fuente: BOWLES, J. Manual de laboratorio de suelos en la ingeniería civil. p. 112

## 1.9 Factor de seguridad (FS)

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de equilibrio límite, donde el tratamiento de la estabilidad desemboca finalmente en un factor de seguridad y en el cual el criterio de falla es satisfecho a lo largo de una determinada superficie. El factor de seguridad es empleado para conocer cuál es el grado de amenaza probable, para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.



Al estimar el factor de seguridad mínimo para un problema particular, es necesario tomar en cuenta algunos factores:

- Las consecuencias de la situación respecto a la cual se está aplicando el factor de seguridad (por ejemplo: el deslizamiento de un terraplén o de un corte).
- La confiabilidad de los valores medidos o supuestos de los parámetros implicados.
- El aspecto económico del problema.

Las consecuencias de la falla de un talud pueden ser simplemente que deba realizarse algún trabajo de reparación o el bloqueo de una carretera, en cuyo caso se producen inconvenientes y quizá perjuicios económicos. Sin embargo, cuando existe una amenaza para la seguridad de las personas o estructuras, el asunto es mucho más serio. Desde el punto de vista económico, cada problema debe tratarse en forma individual y decidir un valor mínimo de FS, basado en todos los otros factores involucrados, aunque a modo indicativo, se pueden usar los siguientes valores para taludes artificiales. Ver Tabla VI.

Tabla VI. Factores de seguridad

<i>Factores de Seguridad</i>	<i>AASHTO</i>	<i>NCMA</i>	<i>TENSAR</i>
<b>Estabilidad Externa</b>			
Capacidad Portante	2,5/2,0	2,0/1,5	2,0/1,5
Deslizamiento Base	1,5/1,1	1,5/1,1	1,5/1,1
Excentricidad	L/6/L/3	N/A	L/6/L/3
Volcamiento	N/A	2,0/1,5	2,0/1,5
Global	1,3/1,1	1,3/1,1	1,3/1,1
<b>Estabilidad Interna</b>			
Ruptura	1,5/1,1	1,5/1,1	1,5/1,1
Pullout	1,5/1,1	1,5/1,1	1,5/1,1
Deslizamiento	1,5/1,1	1,5/1,1	1,5/1,1
Eccentricidad	1,5/1,1	1,5/1,1	1,5/1,1
<b>Conexión</b>	1,5/1,1	1,5/1,1	1,5/1,1

Fuente: JUÁREZ; BADILLO; RICO RODRÍGUEZ. Mecánica de suelos. p. 213.

### **1.9.1 Equilibrio límite**

El análisis de estabilidad, según el método del equilibrio límite, es una herramienta que permite pronosticar cuál es la relación entre la resistencia al corte disponible en el suelo y su solución al cizallamiento o resistencia movilizada. Este método consiste en considerar que toda la superficie probable de falla está plastificada.

El análisis de los movimientos de los taludes durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no sobre la relación tensión – deformación.

Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para mantener el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo y se obtiene una indicación del factor de seguridad. Por ello, cuando se necesite analizar un talud dado, en un suelo de resistencia conocida, si se considera un desplazamiento de tipo circular, es necesario determinar el diámetro y la posición del círculo que representa la superficie por donde se va a producir el deslizamiento.

Este círculo, conocido como círculo crítico, debe satisfacer la condición de que la relación entre la resistencia al corte del suelo a lo largo de la superficie de deslizamiento y las fuerzas tangenciales que tienden a producirlo constituye un mínimo. Comparamos entonces, la resistencia al corte disponible del suelo con la necesaria para mantener el equilibrio límite. La resistencia necesaria en definitiva, es una fracción de la disponible. El sistema de equilibrio límite supone

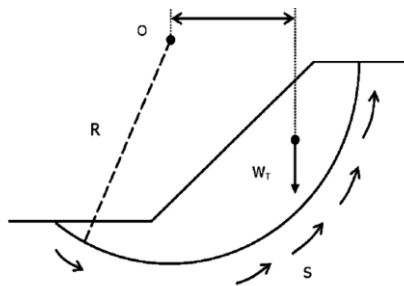
que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalente a un factor de seguridad igual a 1.

Por lo expuesto, el factor de seguridad puede definirse como:

$$F = \frac{\text{RESISTENCIA AL CORTE DIPONIBLE}}{\text{RESISTENCIA AL CORTE MOVILIZADA}}$$

El FS representa por ejemplo, la relación entre los momentos desestabilizadores y los estabilizadores con respecto a un centro de rotación.

Figura 26. **Equilibrio límite con centro de gravedad**



Fuente: BRAJA M., Das. Principios de ingeniería de cimentaciones. p. 77.

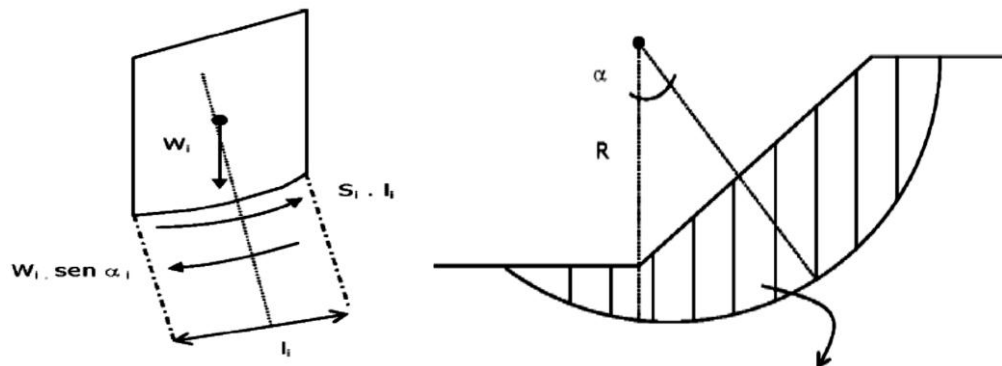
Siendo S= resistencia al corte del suelo una vez determinados el diámetro y la posición del círculo crítico, el FS con respecto a rotura se calcula según la siguiente expresión:

$$F = \frac{S * \text{Long. Sup}}{Wt * X}$$

Otro criterio especialmente en taludes conformados por distintos estratos de suelo, es el de dividir la masa a estudiar en una serie de faja o dovelas y considerar el equilibrio de cada faja por separado. Una vez realizado el análisis de cada una de ellas, se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de las fuerzas o momentos que intervienen.

$$F = \frac{S_i \cdot L_i}{\sum_i \cdot \text{sen} \alpha_i}$$

Figura 27. **Equilibrio límite con dovelas**



Fuente: BRAJA M., Das. Principios de ingeniería de cimentaciones. p. 129.

### 1.10 Tipos de deslizamientos

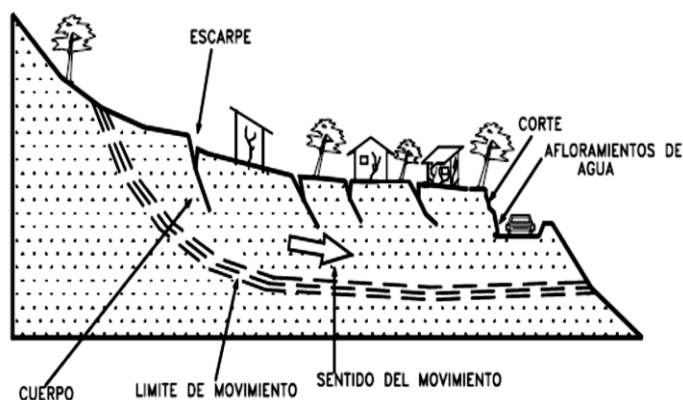
El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia, tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

### 1.10.1 Deslizamiento

Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes, estos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.

Los deslizamientos se pueden a su vez dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y translacionales o planares. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse.

Figura 28. **Deslizamientos en suelos blandos**



Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 16.

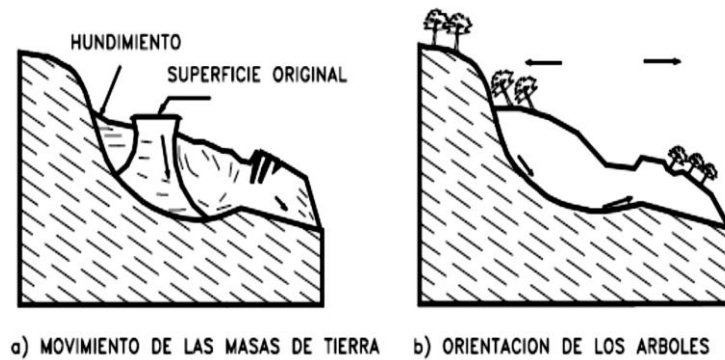
### **1.10.2 Deslizamiento rotacional**

En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, generándose comúnmente flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento.

En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de cuchara. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos. El movimiento aunque es curvilíneo no es necesariamente circular, lo cual es común en materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad.

En la cabeza del movimiento, el desplazamiento es aparentemente semivertical y tiene muy poca rotación; sin embargo, se puede observar que generalmente la superficie original del terreno gira en dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta. Los deslizamientos rotacionales en suelos generalmente tienen una relación  $D_r/L_r$  entre 0,15 y 0,33 (Skempton y Hutchinson 1969).

Figura 29. **Deslizamiento rotacional típico**

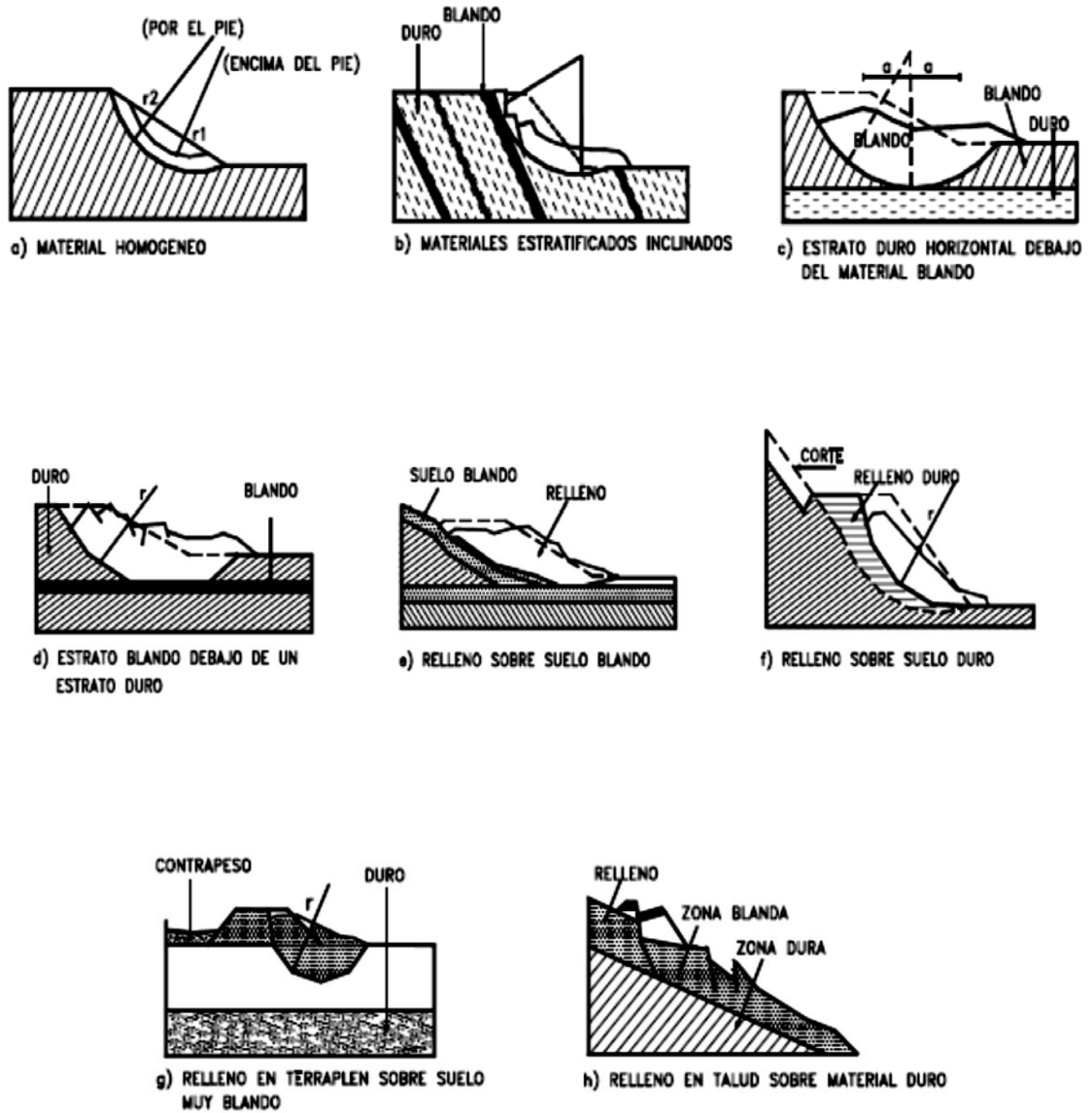


Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 16.

Frecuentemente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación. El efecto de estas discontinuidades debe tenerse muy en cuenta en el momento que se haga el análisis de estabilidad. Los deslizamientos estrictamente rotacionales ocurren usualmente, en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y por su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiado en la literatura. Ver figura 30.

En zonas tropicales este tipo de suelos no es común y cuando existe rotación, la superficie de falla es usualmente curva pero no circular; Sin embargo, en zonas de meteorización muy profunda y en rellenos de altura significativa algunas superficies de falla pueden asimilarse a círculos. Dentro del deslizamiento comúnmente, ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente ocurren varios deslizamientos sucesivos en su origen, pero que conforman una zona de deslizamientos rotacionales independientes.

Figura 30. Efectos de la estructura en la formación de deslizamientos a rotación



Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 18.



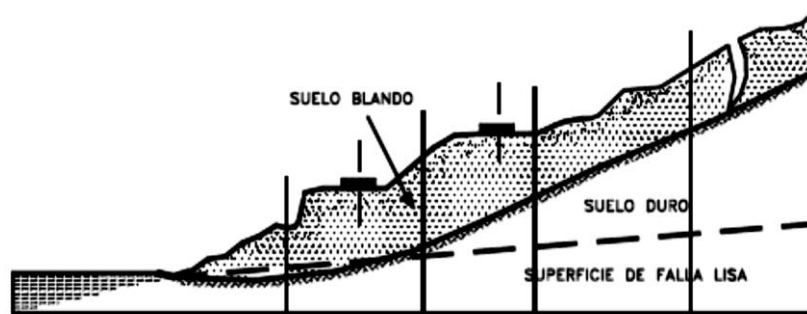
### **1.10.3 Deslizamiento de traslación**

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos traslacionales tienen generalmente, una relación  $D_r/L_r$  de menos de 0,1. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización.

Sin embargo, un movimiento de rotación trata de autoestabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo.

Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos de bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como deslizamiento de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar falla en escalera.

Figura 31. **Deslizamiento de translación**



Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 19.

#### 1.10.4 **Esparcimiento lateral**

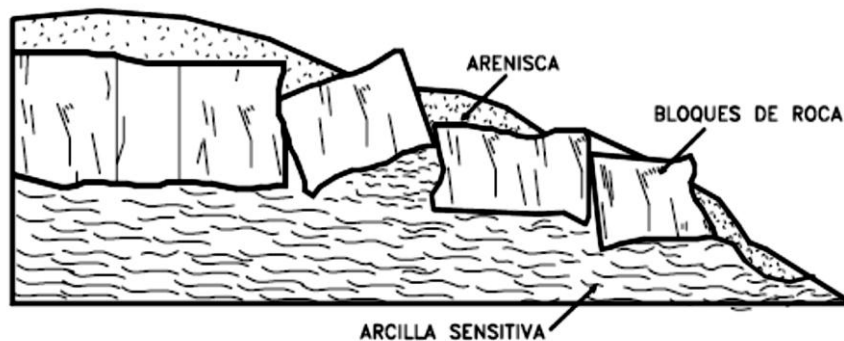
En los esparcimientos laterales el modo de movimiento dominante es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión. El mecanismo de falla puede incluir elementos no solo de rotación y translación, sino también de flujo. Generalmente, los movimientos son complejos y difíciles de caracterizar. El movimiento es por lo general extremadamente lento. Los esparcimientos laterales pueden ocurrir en masas de roca sobre suelos plásticos y también se forman en suelos finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remoldearse.

La falla es generalmente progresiva, o sea, que se inicia en un área local y se extiende. Los esparcimientos laterales son muy comunes en sedimentos glaciales y marinos, pero no los son en zonas de suelos tropicales residuales.

Se deben distinguir dos tipos así:

- Movimientos distribuidos en una extensión, pero sin una superficie basal bien definida de corte o de flujo plástico. Esto ocurre predominantemente en rocas, especialmente en las crestas de serranías. La mecánica de este movimiento no es bien conocida.
- Movimientos que envuelven fracturas y extensión de roca o suelo, debido a licuación o flujo plástico del material subyacente. Las capas superiores pueden hundirse, trasladarse, rotarse, desintegrarse o pueden licuarse y fluir. Ver figura 32.

Figura 32. **Esquema de un esparcimiento lateral**



Fuente: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. p. 19.

## **2 SISTEMAS DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA**

### **2.1 Sistema de estabilidad de taludes con tierra armada de gaviones con cola y geomalla**

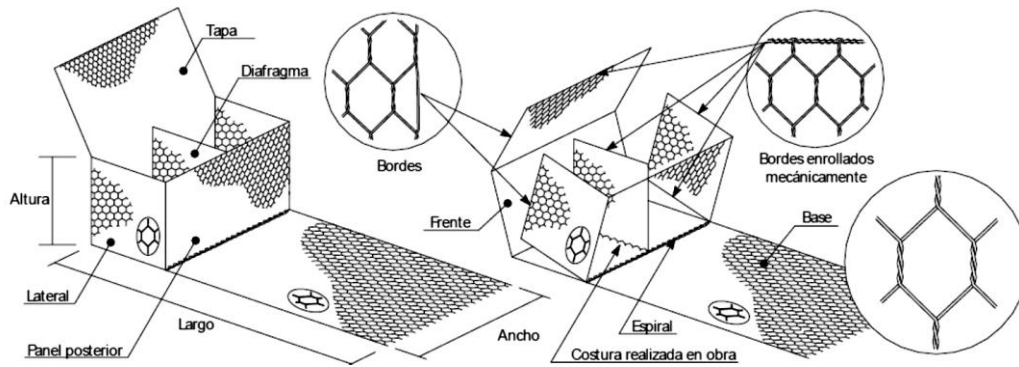
Los gaviones son elementos fabricados con paneles de malla hexagonal de doble torsión, con alambres de bajo contenido de carbono revestido con zinc o galvanizado y adicionalmente protegido por una camada continua de material plástico (aplicada por extrusión). La tapa, el frente y la base (panel de refuerzo), del sistema son formados por un único paño de malla, otro forma las paredes laterales y posterior. El panel posterior es cosido a la base, durante el proceso de fabricación del elemento, a través de un espiral.

El diafragma debe ser insertado durante la construcción en obra, antes de proceder al llenado de las piedras. Cuando es relleno con las piedras, se torna en un sistema óptimo para contenciones debido a que es económico y de fácil ejecución. Ver figura 33. Debido su versatilidad, se puede adaptar a diferentes ambientes, pudiendo ser empleado en: contención de taludes, canalizaciones, defensas ribereñas y marinas, y protección de rellenos de encuentro de puentes.

Características principales:

- Monoliticidad
- Facilidad de ejecución
- Flexibilidad
- Permeabilidad
- Versatilidad

Figura 33. Diagrama de gaviones tipo Terramesh



Fuente: MACCAFERRI. Especificaciones técnicas sistema Terramesh. Brasil, mayo 2004, p. 1.  
D004E-05/04

### 2.1.1 Gaviones con cola

La estructura de la base, frente y tapa, son formados por un único paño de red, el p nel posterior y laterales también son formados por un único paño de red, la caja paramento frontal del gavion debe ser dividida en dos celdas por un diafragma que deberá ser amarrado durante la construcción en la obra, el lado inferior del p nel posterior debe ser cosido al paño de base, durante la fabricación, con un espiral de alambre de diámetro de 2 mm. Dimensiones estándar: largo: 4 m a 6 m, ancho: 2 m y altura: 0,50 m a 1 m.

#### 2.1.1.1 Alambre

Debe ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones NBR 8964, ASTM A641M-98 y NB 709-00, el alambre con una tensión de ruptura media de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup>. Esto rige al alambre utilizado en la fabricación del gavion, amarre y atirantamiento.

#### **2.1.1.1.1 Revestimiento del alambre**

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser revestido con aleación zinc -5%, aluminio (Zn 5 Al MM), de acuerdo con las especificaciones de la ASTM A856M-98, clase 80, esto es: la cantidad mínima de revestimiento en la superficie de los alambres es de 244 g/m<sup>2</sup>.

El revestimiento de zinc debe adherir al alambre de tal forma que, después del alambre haber sido enrollado 15 veces por minuto alrededor de un mandril, cuyo diámetro sea igual a 3 veces el del alambre, no pueda ser escamado, quebrado o removido, con el pasar del dedo, de acuerdo con la especificación de la ASTM A641M-98. Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red.

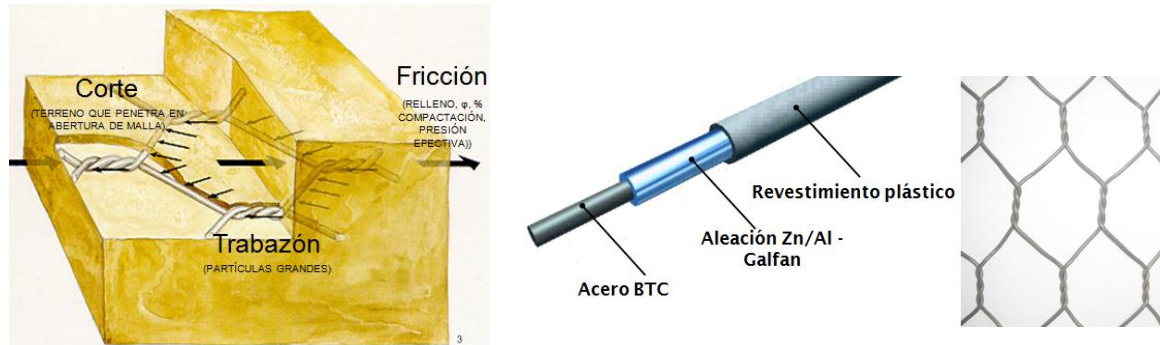
#### **2.1.1.1.2 Elongación del alambre**

La elongación no deberá ser menor que 12%, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 8964 y de la ASTM A641M-98. Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de alambre de 30 cm de largo.

#### **2.1.1.2 Red**

La red debe ser en malla hexagonal de doble torsión, obtenida entrelazando los alambres por tres veces media vuelta, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514, NB 710-00 y NP 17 055 00. Las dimensiones de la malla serán del tipo 8 X 10. El diámetro del alambre utilizado en la fabricación de la malla debe ser de 2,7 mm y de 3,4 mm para los bordes.

Figura 34. **Malla hexagonal doble torsión**



Fuente: MACCAFERRI. Folleto Refuerzo y estabilización de suelo. Brasil, diciembre 2008. p. 5.  
MM08-10/08

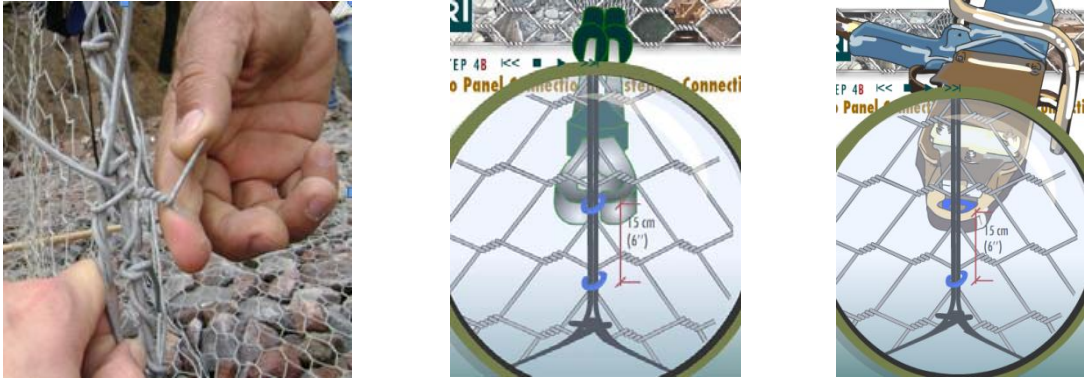
#### **2.1.1.2.1 Bordes enrollados mecánicamente**

Los bordes libres de la tapa, del lado superior del diafragma y de las extremidades inferior y superior del panel posterior y de las laterales, deben ser enrollados mecánicamente en vuelta de un alambre de diámetro mayor, en este caso 3,4 mm, para que las mallas no se deshagan y adquieran mayor resistencia. La conexión entre el alambre del borde enrollado mecánicamente y la malla, debe tener una resistencia mínima de 17,5 kN/m de acuerdo con las especificaciones de la ASTM A-975.

#### **2.1.1.2.2 Amarre y atirantamiento**

Con los gaviones debe ser provista una cantidad suficiente de alambre para amarre y atirantamiento. Este alambre debe tener diámetro 2,2 mm y su cantidad, en relación al peso de los gaviones provistos, es de 5%.

Figura 35. Tipos de colocación de aro para fijación temporal



- a) Utilizando alambre de amarre.      b) Aro fijación manual.      c) Aro fijación neumática.

Fuente: MACCAFERRI. Instructivo de montaje de gaviones. U.S.A., febrero 2008. p. 2.

Figura 36. Amarre o costura correcta entre caras de mallas



Fuente: MACCAFERRI. Folleto sistema de gaviones. Brasil, junio 2005. p. 1.



### **2.1.1.3 Tolerancias**

Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre zincado de  $\pm 2,5\%$ .  
Se admite una tolerancia en el largo del gavión de  $\pm 3\%$  y, en la altura y ancho, de  $\pm 5\%$ .

### **2.1.1.4 Recubrimiento plástico**

El alambre zincado debe ser recubierto con una camada de compuesto termoplástico a base de PVC, con características iniciales de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514 y de la ASTM A-975, esto es: espesor mínimo: 0,40 mm; masa específica: 1,30 a 1,35 kg/dm<sup>3</sup>; dureza: 50 a 60 *Shore D*; resistencia a tracción: mayor que 210 kg/cm<sup>2</sup>; elongación de ruptura: mayor que 250%; temperatura de fragilidad: menor que -9 °C.

## **2.1.2 Refuerzo con geomalla**

La geomalla tejida es de hilos de poliéster de alta tenacidad, con revestimiento en PVC para la protección del núcleo resistente a los daños de instalación, ataques químicos, biológicos y ambientales. Son especialmente indicadas para estabilización de estructuras de contención en suelo reforzado, refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos y refuerzo de pavimentos entre otras aplicaciones. Características principales: resistencia a la degradación, tracción y al punzonamiento.

## **2.1.3 Refuerzo con geotextil**

Es un geotextil agujado producido con hilos de polipropileno, con propiedades mecánicas e hidráulicas descritas a continuación:

Tabla VII. Especificaciones Mactex Np

# MacTex® N

## Geotextil No Tejido en Polipropileno

### Características técnicas

MacTex® N es un geotextil agujado producido con hilos de polipropileno.



MacTex® N	N 26.1	N 30.1	N 36.1	N 40.1	N 50.1	N 68.1	N 70.1	N 99.1
-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

### Propiedades mecánicas

Propiedad	Unidad	ASTM	N 26.1	N 30.1	N 36.1	N 40.1	N 50.1	N 68.1	N 70.1	N 99.1
Resist. longit. a la tracción (Grab Test)	kN	ASTM D 4632	0,40	0,45	0,54	0,58	0,78	0,89	1,06	1,78
Elongación (Grab Test)	%	ASTM D 4632	65	65	65	65	70	70	70	50
Resistencia longitudinal al desgarre trapezoidal	kN	ASTM D 4533	0,16	0,22	0,27	0,29	0,36	0,38	0,42	0,67
Resistencia al punzonamiento	kN	ASTM D 4833	0,16	0,29	0,31	0,36	0,45	0,49	0,66	1,11
Resistencia al estalido	kPa	ASTM D 3786	1035	1554	1725	1930	2347	2795	3175	5517

### Propiedades hidráulicas

Propiedad	Unidad	ASTM	N 26.1	N 30.1	N 36.1	N 40.1	N 50.1	N 68.1	N 70.1	N 99.1
Permisividad	s <sup>-1</sup>	ASTM D 4491	3,2	3,0	2,7	2,5	1,8	1,7	1,5	0,75
Permeabilidad normal	cm/s	ASTM D 4491	0,45	0,45	0,45	0,42	0,4	0,42	0,41	0,35
Flujo de agua	l/min.m <sup>2</sup>	ASTM D 4491	9168	8133	6655	6111	5500	4889	4074	2460
Abertura aparente	mm	ASTM D 4751	0,30-0,425	0,212-0,18	0,212-0,18	0,212-0,18	0,212-0,18	0,212-0,15	0,18-0,15	0,15-0,11
Resistencia al UV	%/h	ASTM D 4355	80/500	80/500	80/500	80/500	80/500	80/500	80/500	80/500

### Presentación del rollo

Propiedad	Unidad	N 26.1	N 30.1	N 36.1	N 40.1	N 50.1	N 68.1	N 70.1	N 99.1
Ancho	m	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	4,6 / 3,8
Largo	m	110	110	110	110	110 / 91	110 / 91	110 / 91	45,7 / 54,8
Peso estimado	kg	57 / 66	59 / 70	66 / 78	69 / 82	89	100	114	113

Los valores listados anteriormente corresponden a una media de resultados encontrados en ensayos realizados en laboratorios.

Fuente: MACCAFERRI. Ficha técnica especificación MacTex N Geotextil no tejido en Polipropileno. Brasil, julio 2009. p. 1.

#### 2.1.4 Análisis de estabilidad

El programa Macstars®, versión 2000, es desarrollado para analizar la estabilidad de los suelos reforzados, esto es, estructuras que promueven la estabilidad de taludes usando unidades de refuerzos capaces de absorber los esfuerzos de tracción. Además, permite conducir el análisis de estabilidad usando el método del equilibrio límite considerando también situaciones de taludes sin refuerzos, permite al usuario realizar los siguientes tipos de análisis:

- Taludes no reforzados (perfiles de suelo existente)
- Taludes (o muros), reforzados con el sistema Terramesh
- Taludes reforzados con geogrillas
- Taludes (o muros), reforzados con el sistema Terramesh + geogrillas
- Estructuras de contención en suelo reforzado con paramento en bloques de concreto (*Segmental retaining wall*)
- Rellenos sobre suelo blando

Permite también incluir en los análisis las siguientes condiciones:

- Presión de poros
- Condiciones sísmicas
- Sobrecargas uniformemente distribuidas y puntuales
- Varios tipos de refuerzos, geometría compleja de refuerzos

Presentando finalmente valores para el cálculo de:

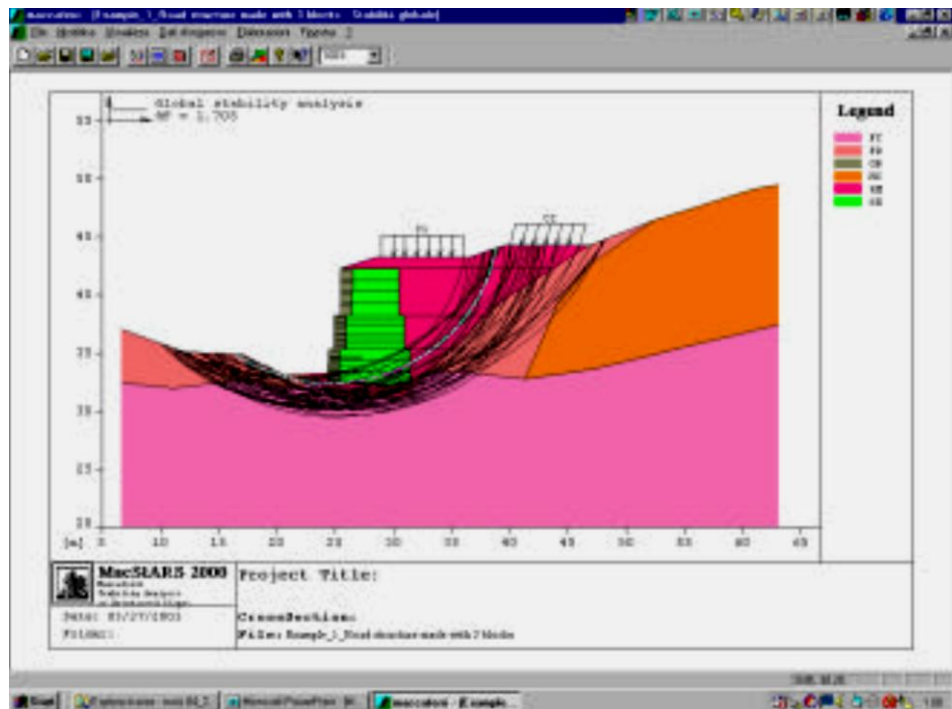
- Análisis de la estabilidad interna y tensiones en los refuerzos
- Análisis de la estabilidad global
- Verificaciones externas (como muro de contención)

- Análisis de estabilidad contra el deslizamiento
- Cálculo de los asentamientos

### 2.1.4.1 Verificación de la estabilidad global

La verificación de la estabilidad global es un análisis a un talud reforzado o no, hecho por el método del equilibrio límite. Ver siguiente figura.

Figura 37. **Detalle verificación de la estabilidad global en el Macstars.**

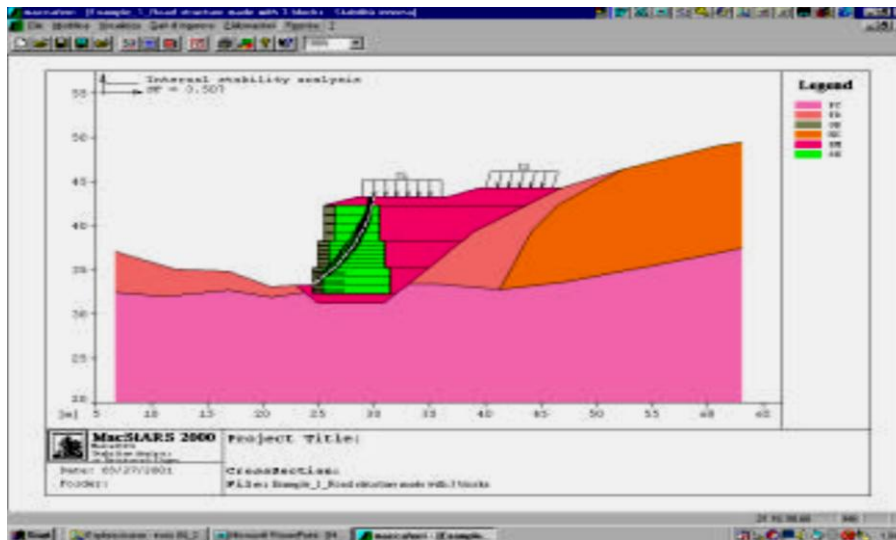


Fuente: MACAFERRI. Encarte Técnico, Estructuras en suelo reforzado con el sistema Terramesh. Brasil, noviembre 2005. p. 13. ET 001AE-2005.

### 2.1.4.2 Verificación de la estabilidad interna

La verificación de la estabilidad interna permite definir el diseño de las estructuras de contención, esto es, las unidades de refuerzo requeridas.

Figura 38. Detalle verificación de la estabilidad interna en el Macstars.

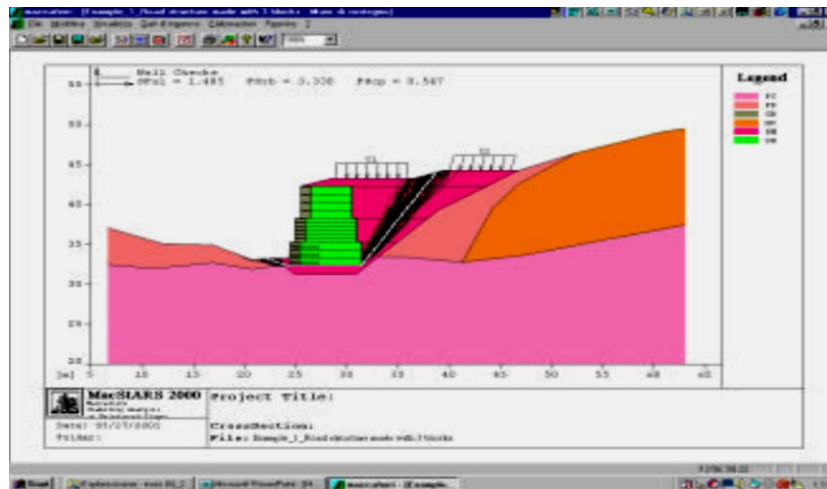


Fuente: MACAFERRI. Encarte Técnico, Estructuras en suelo reforzado con el sistema Terramesh. Brasil, noviembre 2005. p. 13. ET 001AE-2005.

### 2.1.4.3 Verificación de la estabilidad como muro

Al realizar este tipo de análisis de estabilidad, la estructura de contención completa, o parte de ella, es considerada como un muro monolítico compuesto por bloques, que forman la estructura de contención propiamente dicha. Ver figura 39.

Figura 39. Verificación de la estructura como muro



Fuente: MACAFERRI. Encarte Técnico, Estructuras en suelo reforzado con el sistema Terramesh. Brasil, noviembre 2005. p. 13. ET 001AE-2005.

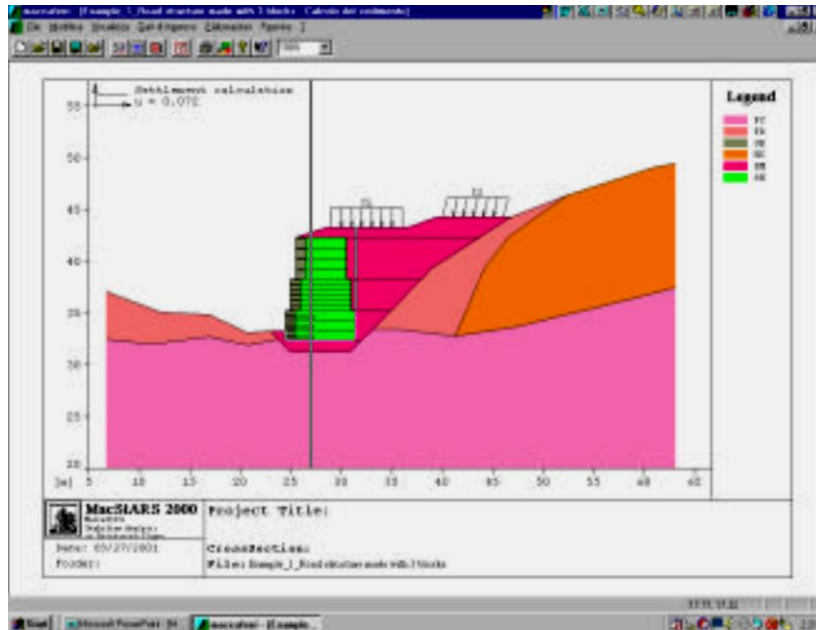
La verificación de la estabilidad de la estructura como muro de contención, consiste en los tres análisis clásicos de estabilidad realizados en muros de contención:

- Verificación contra el deslizamiento (A)
- Verificación contra el volcamiento (B)
- Verificación de la capacidad de soporte de la fundación (C)

#### 2.1.4.4 Verificación de los asentamientos

El Macstars® 2000 permite calcular los asentamientos inducidos por la instalación de una estructura de suelo reforzado. Los suelos de construcción (relleno estructural y relleno de cobertura), son considerados como cargas que inducen una mudanza en la distribución de tensión. Ver figura 40.

Figura 40. Verificación de los asentamientos



Fuente: MACAFERRI. Encarte Técnico, Estructuras en suelo reforzado con el sistema Terramesh. Brasil, noviembre 2005. p. 14. ET 001AE-2005.

#### 2.1.4.5 Métodos adoptados por el Macstars® 2000

Emplea los métodos simplificados de Bishop y Janbu, ambos métodos se refieren al criterio de ruptura de Mohr-Coulomb.

Donde:

$$\tau_f = c + \sigma \cdot \tan \phi$$

$\tau_f$  es la máxima resistencia al corte en el plano de falla,  
 $c$  es la cohesión del suelo,  
 $\sigma$  es el esfuerzo normal total en el plano de falla, y  
 $\phi$  es el ángulo de fricción del suelo.

#### **2.1.4.5.1 Características del método de Bishop simplificado**

- Es aplicado solamente para superficies circulares o casi circulares, esto es, aquellas superficies que son consideradas como superficies de ruptura circulares adoptando un centro ficticio de rotación.
- Las fuerzas que interactúan entre las franjas tienen apenas una dirección horizontal.
- El coeficiente de seguridad es calculado por el equilibrio contra rotación de acuerdo al centro de la circunferencia.
- No satisface el equilibrio global en la dirección horizontal.

#### **2.1.4.5.1 Características del método de Janbu simplificado**

- Es aplicado a cualquier tipo de superficie. Las fuerzas que interactúan entre las franjas tienen apenas una dirección horizontal.
- El coeficiente de seguridad es calculado por el equilibrio contra la traslación vertical y eventualmente horizontal.
- Permite tomar en consideración las fuerzas cortantes verticales de interacción entre las franjas, aplicando al coeficiente de seguridad anterior un factor de corrección que depende de la geometría del problema y del tipo de suelo.
- No satisface el equilibrio global de la cuña del suelo contra la rotación.



Dependiendo del comportamiento de las unidades de refuerzo, una verificación de estabilidad puede ser conducida por el método rígido o por el método de los desplazamientos.

#### **2.1.4.5.3 Método rígido**

Está basado en la suposición que las unidades de refuerzo se comportan como estructuras rígidas.

#### **2.1.4.5.4 Método de los desplazamientos**

Se basa en la suposición que las unidades de refuerzo, comportándose como estructuras sujetas a deformaciones que dependen de su rigidez lineal.

Este método puede ser aplicado en el caso de una forma rotacional de la superficie de deslizamiento. Por lo tanto, se usa en ambos métodos, Janbu y Bishop (por lo menos para una superficie de deslizamiento dada casi circular).

El método de los desplazamientos, ya implementado en el programa, será disponible solamente después de los análisis de varias estructuras construidas con refuerzos no uniformes (mallas metálicas y geogrillas plásticas), que permitirán convalidar método.

#### **2.1.4.6 Generación de las superficies de falla**

Para verificar una posible superficie de falla de deslizamiento, se introduce las coordenadas de esa superficie (este procedimiento puede ser adoptado cuando la información sobre la posición de la superficie de deslizamiento esté disponible), o solicitar que el programa busque en forma aleatoria la superficie

potencial de deslizamiento, esto es, una superficie que tenga el menor factor de seguridad y sea la superficie más probable que pueda inducir a la falla del talud. Las superficies generadas pueden ser circulares y poligonales randómicas.

## **2.2 Sistema de estabilidad de taludes con muro de paramento de bloques**

Sistemas de muros de retención segmentados (*Segmental retaining wall, SRW*), cuentan con una conexión mecánica positiva probada, son soluciones superiores y rentables para necesidades de muros de retención estructurales y de jardinería ornamental. Utilizado para aumentar terreno o mejorar el valor de la propiedad.

Los sistemas de paramentos de bloques pueden satisfacer las necesidades en el cambio de niveles como, esquinas de  $90^0$ , curvas convexas o cóncavas, los muros de paramentos de bloques se pueden adaptar con facilidad a una variedad de consideraciones de diseño. Los bloques pueden tener diferentes colores y texturas, incluso pueden construirse muros combinando distintas opciones de revestimiento, de acuerdo a las necesidades estéticas específicas.

El Consejo de Códigos Internacionales, ICC, regula el diseño de los muros de retención segméntales que superan los cuatro pies, garantizando el diseño e inspección de los muros de retención segmentales. Las zonas industriales presentan a menudo condiciones de carga pesada y zonas de mucho tráfico. La capacidad superior de conexión de los sistemas mesa, con una mayor tolerancia de asentamientos diferenciales y totales, se pueden diseñar para resistir incluso cargas estáticas extremadamente altas, y se los conoce por tener buen rendimiento en zonas de elevada actividad sísmica.

Su conexión mecánica estructural en la fachada es superior y no sufren los efectos de la abrasión, la rotura y la hidrólisis, consideraciones reales que socavan el rendimiento de los sistemas por fricción que utilizan refuerzos de geomallas de poliéster tejido. Es funcional ante una gran variedad de condiciones de suelo, carga y medio ambiente, satisfaciendo así al Centro de Evaluación de Tecnología Innovadora de Carreteras (*Highway Innovative Technology Evaluation Center, HITEC*), por medio de pruebas de rendimiento.

### **2.2.1 Descripción**

Cada componente de un muro mesa ha sido específicamente diseñado para funcionar en conjunto, a fin de lograr resultados óptimos en cuanto a eficiencia y rendimiento. Los bloques de concreto de alta resistencia y baja absorción, los conectores resistentes a la corrosión y las geomallas Tensar forjan en conjunto un sistema de suelos mecánicamente estabilizados (*Mechanically Stabilized Earth, MSE*), su resistencia de conexión es tan fuerte y confiable que muy rara vez es necesario rellenar el núcleo. Rellenar el núcleo es agregar relleno de áridos en el núcleo vacío del bloque mesa. Esto reduce los costos y agiliza los tiempos de instalación. Se puede crear formas como curvas, esquinas, escalones, muros en distintos niveles y en terraza.

### **2.2.2 Tipo de bloque**

- Bloques modulares mesa: bloque de concreto de alta resistencia cuya resistencia a la compresión supera las normas de la AASHTO, donde debe ser mayor a 4,000 psi.

- Bloque estándar: el bloque estándar se puede usar para casi todas las necesidades de SRW. 8" de alto x 18" de ancho x 11" de profundidad nominal/75 lb.

Figura 41. **Bloque estándar**



a)

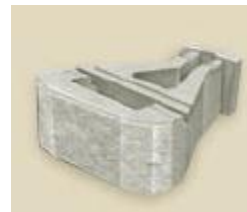


b)

Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 2.

- Bloque XL: el bloque tiene una cola extendida que ofrece a los instaladores una opción para las instalaciones de muros de retención por gravedad más altos. 8" de alto x 18" de ancho x 22" de profundidad nominal/110 lb.

Figura 42. **Bloque XL**



Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 2.

- Bloque Ashford: para crear muros con aspecto de mosaico y motivos aleatorios, existen varios tamaños para opciones infinitas de revestimiento, con el frente liso únicamente.
  - ❖ Unidad alta: 16" de alto x 6" de ancho x 11" de profundidad nominal/60 lb.
  - ❖ Unidad mediana: 8" de alto x 12" de ancho x 11" de profundidad nominal/60 lb.
  - ❖ Unidad estándar: 8" de alto x 18" de ancho x 11" de profundidad nominal/75 lb.

Figura 43. **Bloque Ashford**



Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 2.

- Bloque Gardener: bloques simples, ideales para bordes, guardas, aceras y otros tipos de muros de jardinería ornamental de hasta 3 pies de altura.
  - ❖ Bloque para jardinería Gardener: 4" de alto x 12" de ancho x 8" de profundidad nominal/25 lb.

Figura 44. **Bloque Gardener**



Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 2.

### **2.2.3 Tipo de conectores mesa**

Los conectores están diseñados para conectar mecánicamente las geomallas con los bloques. Brindan una conexión de alta resistencia y de baja deformación que no depende de la fricción para tener integridad estructural, y permiten la construcción de los muros en forma casi vertical o con una inclinación de 5/8".

### **2.2.4 Refuerzo con geomalla**

Geomallas Tensar estructurales de polietileno de alta densidad (*High-density polyethylene*, HDPE), que refuerzan internamente la estructura y los materiales de relleno, inertes a la degradación química, pueden utilizarse con rellenos no seleccionados o incluso con hormigón triturado.

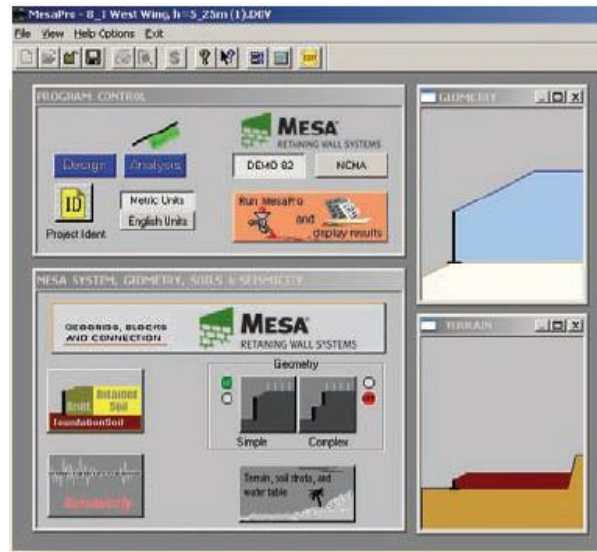
## 2.2.5 Análisis de estabilidad

MesaPro, el programa de *software* de diseño por computadora para el análisis de muros de retención segmentales (SRW). Este es flexible para adaptar los criterios del diseño para cumplir con las especificaciones del proyecto, permite trabajar con todos los tipos de opciones disponibles de geomallas Tensar (todos han sido desarrollados específicamente para ser usados con los sistemas mesa), eligiendo entre los bloques mesa estándar y los bloques mesa de alto rendimiento, escoger muros con o sin inclinación y diseño para la estabilidad global.

Según AASHTO, el programa MesaPro tiene la flexibilidad para cumplir los requisitos de diseño de la Asociación Nacional de Mampostería en Concreto (NCMA) y otros. Permite ahorrar tiempo cuando analiza la estabilidad global, condiciones de carga y emplazamiento poco comunes, definiendo hasta cinco capas de suelo de los cimientos y emplazamientos de aguas subterráneas. Incluye, entre otras, las siguientes consideraciones de diseño: contrafuertes de puentes, muros superpuestos, trapezoidales y dorso contra dorso.

Este *software* interactivo brinda una respuesta inmediata mientras permite ver el diseño a medida que avanza el proyecto. El programa MesaPro se puede utilizar en las plataformas Windows® 95, 98, 2000, NT o XP.

Figura 45. **Software MesaPro**



Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 9.

### 2.2.6 Uso de tablas

Las tablas de diseño, abarcan seis situaciones diferentes con elevaciones de muro que van desde los 4 pies (1,2 m) hasta los 14 pies (4,2 m), con incrementos de altura de 2 pies (600 mm). Las situaciones de diseño modifican la inclinación del muro, los suelos de relleno y las condiciones de carga.

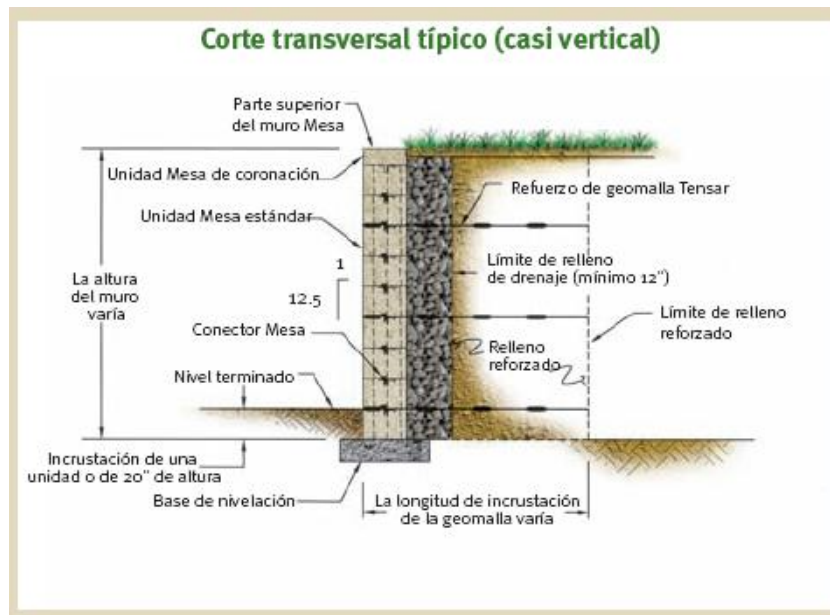
- Inclinación del muro: las unidades Mesa se pueden construir con una inclinación casi vertical ( $\pm 1\%$ ) o de  $4,5^\circ$ .
- Tipos de suelo: los dos tipos de relleno son de material arenoso ( $32^\circ$ ) y de limo o arcilla blanda ( $28^\circ$ ), componentes de la base de cimentación.



- Condiciones de carga: las tres condiciones de carga incluyen una superficie horizontal en la parte superior del muro sin sobrecargas, una superficie horizontal en la parte superior del muro con una sobrecarga uniforme de  $250 \text{ lb/ft}^2$  y una pendiente en la parte superior del muro con una relación horizontal vertical de 3 a 1 respectivamente.

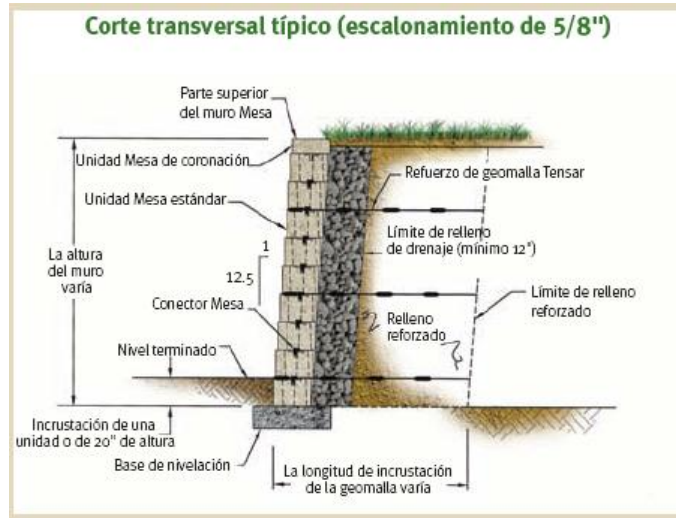
Una vez que se ha identificado el caso de diseño adecuado, la tabla presenta el tipo de geomalla, la longitud y el espaciado necesarios. Todas las longitudes se miden desde la conexión Mesa hasta la última barra transversal de la geomalla y son uniformes a lo largo de la elevación dada del muro. En las tablas de diseño se asume que todos los muros se construyen de acuerdo con los requisitos y las directrices de construcción de los sistemas mesa estándar.

Figura 46. **Corte transversal típico vertical**



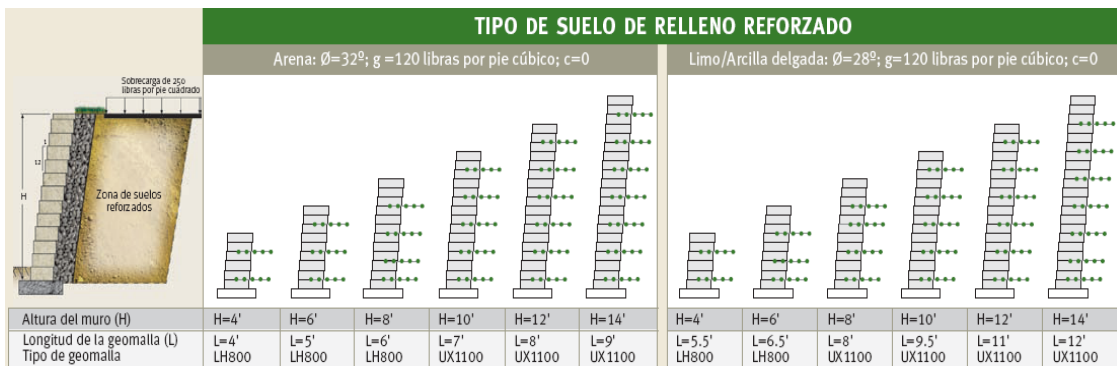
Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 10.

Figura 47. Corte transversal típico escalonado



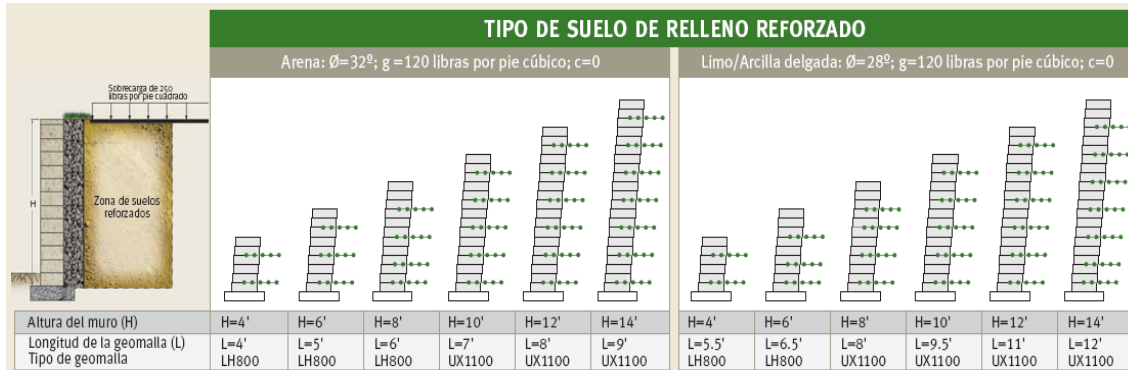
Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 10.

Figura 48. Tipo de suelo de relleno reforzado inclinado con sobrecarga de 250 libras por pie cuadrado



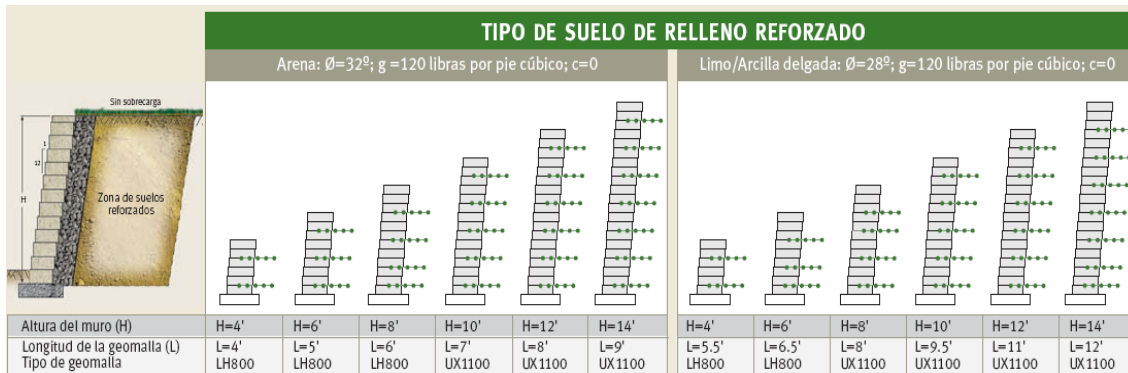
Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 11.

Figura 49. Tipo de suelo de relleno reforzado vertical con sobrecarga de 250 libras por pie cuadrado



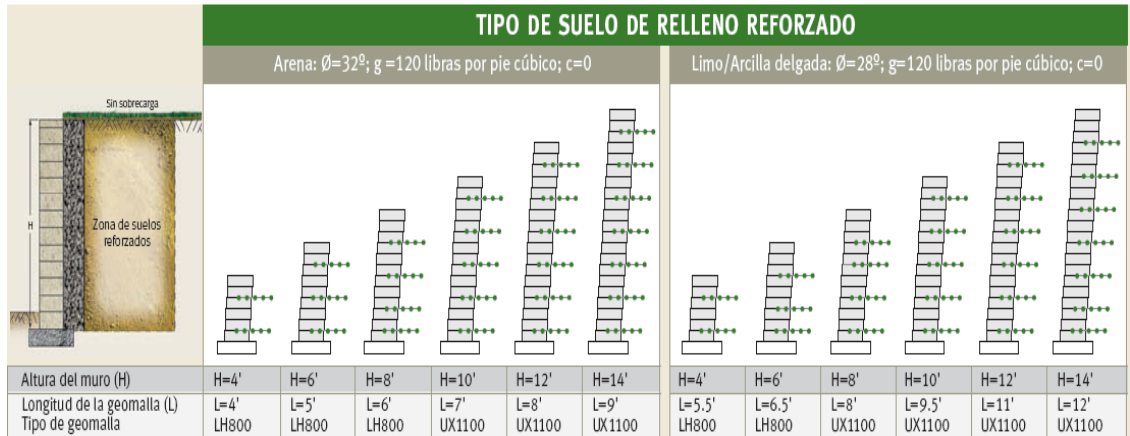
Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 11.

Figura 50. Tipo de suelo de relleno reforzado inclinado sin sobrecarga



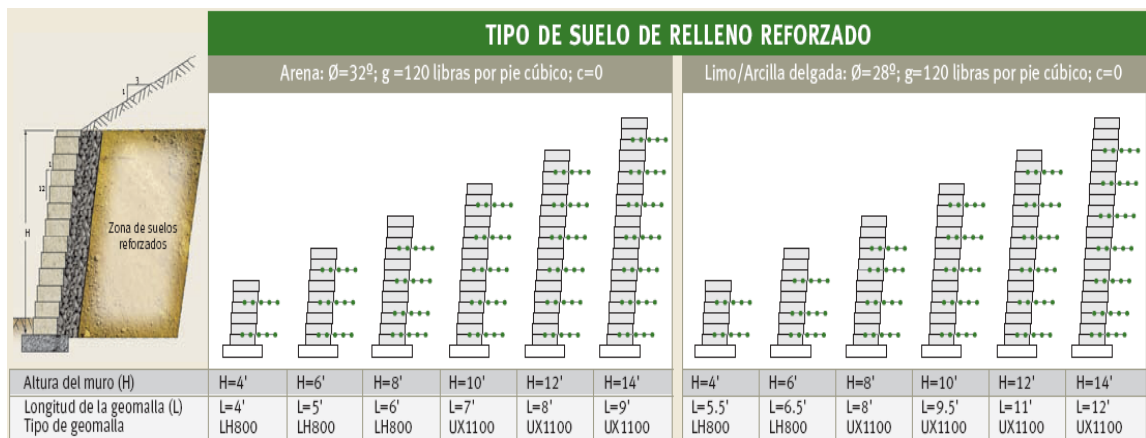
Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 11.

Figura 51. Tipo de suelo de relleno reforzado vertical sin sobrecarga



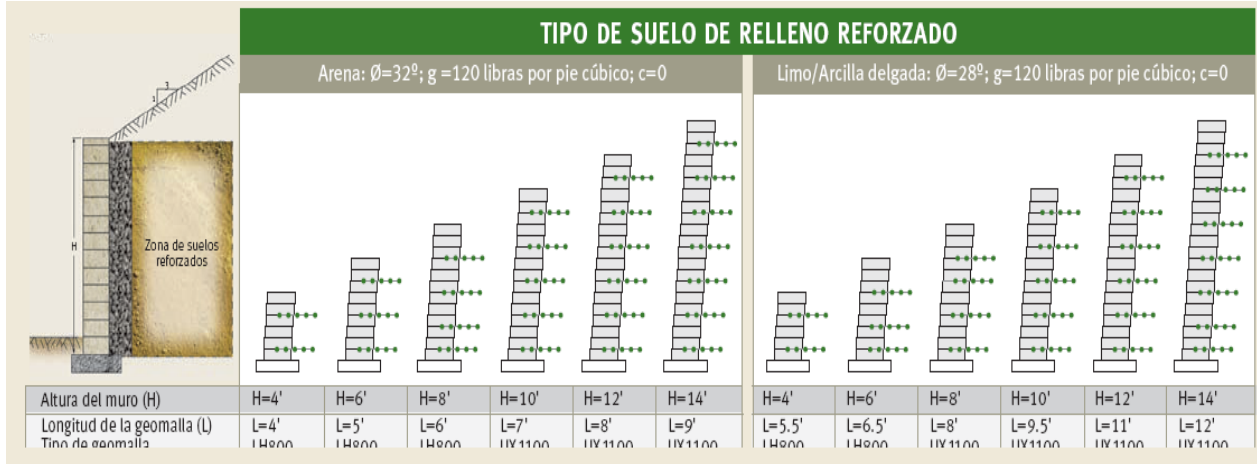
Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 12.

Figura 52. Tipo de suelo de relleno reforzado inclinado con sobrecarga inclinada



Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 12.

Figura 53. Tipo de suelo de relleno reforzado vertical con sobrecarga Inclineda



Fuente: Corporación Tensar internacional. Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención. p. 12.

### **3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO Y EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES**

#### **3.1 Refuerzo de gaviones con cola y geomalla, proyecto estructura de protección hidráulica y muro de contención terrameshgrid Guatemala, río Las Rosas, Quetzaltenango**

Nace de la necesidad de un distribuidor vial entre las rutas de Quetzaltenango con Retalhuleu y camino a la ciudad de Guatemala, dado así a licitación por el ente financiero Covial, otorgándole a la empresa Conima para la ejecución de toda la obra.

Luego de los estudios de campo y laboratorio respectivos, se estableció el tipo de material existente como limo arenoso suelto, en condición inestable; dando un resultado de socavación en la base de los taludes provocado por el cauce del río, lo cual dificultó la construcción del paso a desnivel, en busca de alternativas se definió una estructura de tierra armada tipo terramesh con definición de gaviones con cola y geomalla como muro de protección.

Figura 54. **Condición inicial del proyecto Las Rosas Quetzaltenango**



Fuente: MACCAFERRI. Folleto *Case History* Guatemala Río Las Rosas Quetzaltenango. p. 1.  
Rev: 00, fecha de publicación 03 de abril del 2009.

Figura 55. **Condición final del proyecto Las Rosas Quetzaltenango, estabilización muro de contención terrameshgrid**



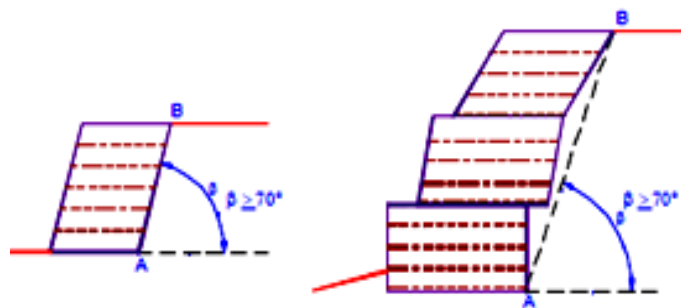
Fuente: elaboración propia. Guatemala, 19 diciembre 2009.

### 3.1.1 Análisis y diseño como muro en programa MAC.ST.A.R.S 2000 Rel. 2.2

En la realización de este tipo de análisis de la estabilidad de toda la estructura de contención, o parte de ella, se considera como un muro formado por bloques monolíticos, que forman la estructura de contención. Durante el análisis de estabilidad de la pared puede ser considerado como formado por todos los bloques estructurales (que se considera como muros de contención estructural), que forman la estructura de retención o por todos los bloques por encima del bloque especificado. Con el fin de tener en cuenta la secuencia de los bloques seleccionados como una pared monolítica, una condición geométrica de pendiente media (inclinación), del bloque de refuerzo deben ser satisfechas, (figura 56): debe ser superior a o igual a  $70^\circ$ .

Determinando la inclinación teniendo en cuenta la línea recta que une la esquina inferior derecha del primer bloque (figura 56, A), con la esquina superior derecha del último bloque de la estructura de control (Figura 56, B).

Figura 56. **Inclinación de la pared de retención**



Fuente: manual de referencia para usuario Macstars 2000. Brasil, Rel. 4/06/2004



### 3.1.2 Propiedades del suelo

- Tipos de suelos de cimentación, descripción del proceso de cálculo:

Suelo reforzado en sistema TerraMesh

Sección h=10 metros

Lugar: Quetzaltenango, Guatemala

Fecha de diseño: 07/05/2008

- ❖ 1er. tipo de Suelo: concreto, mezcla de cemento, arena y pedrín.

Factores de cálculo:

Cohesión.....[kN/m <sup>2</sup> ].....:	30
Ángulo de fricción.....[°].....:	40
Valor de Ru.....:	0
Peso unitario – arriba del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....:	22
Peso unitario – abajo del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....:	22
Módulo elástico.....[kN/m <sup>2</sup> ].....:	0
Módulo de Poisson.....:	0,30

Figura 57. Condiciones iniciales del suelo



Fuente: MACCAFERRI. Folleto *Case History* Guatemala Río Las Rosas Quetzaltenango. p. 2.

Rev: 00, fecha de publicación 03 de abril del 2009.

- ❖ 2do. tipo de suelo: fundación, limo arenoso color gris material consolidado. Factores de cálculo:

Cohesión.....[kN/m <sup>2</sup> ].....	50
Ángulo de fricción.....[°].....	10
Valor de Ru.....	0
Peso unitario – arriba del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....	17,50
Peso unitario – abajo del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....	17,50
Módulo elástico.....[kN/m <sup>2</sup> ].....	0
Módulo de Poisson.....	0,30

- ❖ 3er. tipo de suelo: gavión, es una sola estructura que consiste en reforzar el terraplén estructural, las unidades de refuerzo y el relleno llena de piedras, que forma la parte frontal utiliza para el drenaje y la erosión, con fines de control o para dar a la cara delantera una mayor rigidez en el caso de un muro de contención vertical. Factores de cálculo:

Cohesión.....[kN/m <sup>2</sup> ].....	20
Ángulo de fricción.....[°].....	40
Valor de Ru.....	0
Peso unitario – arriba del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....	17
Peso unitario – abajo del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....	17
Módulo elástico.....[kN/m <sup>2</sup> ].....	0
Módulo de Poisson.....	0,30

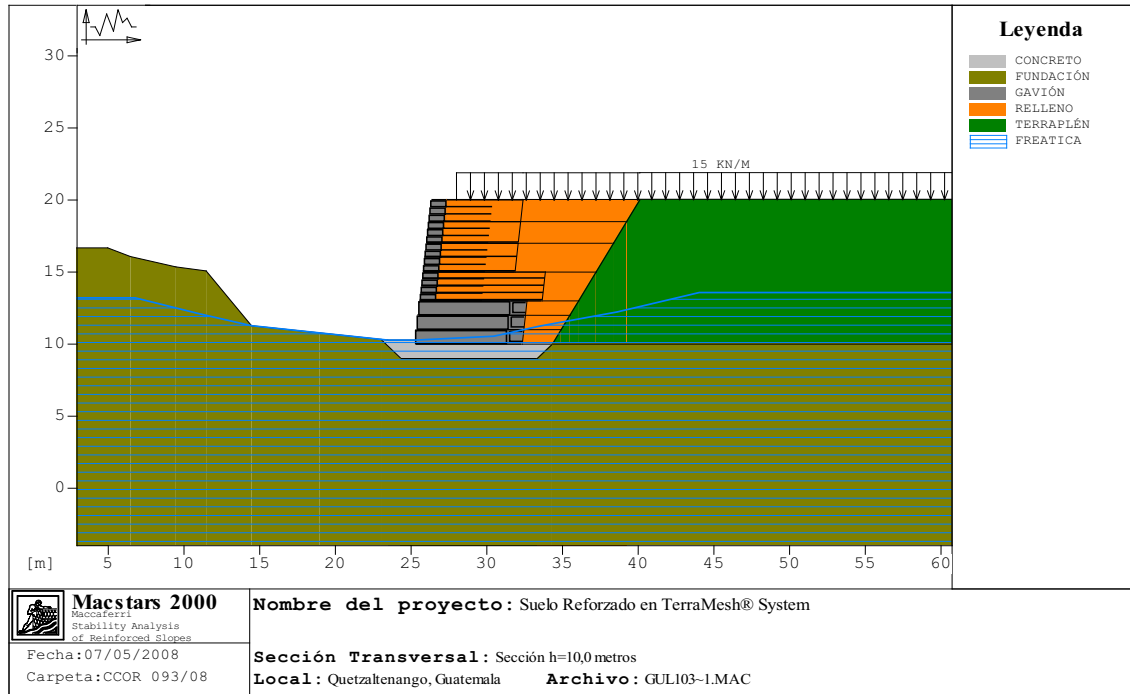
- ❖ 4to. tipo suelo: relleno, es el selecto compacto, capa de suelo utilizado para llenar el espacio entre el bloque de refuerzo y la pendiente original. Factores de cálculo.

Cohesión.....[kN/m <sup>2</sup> ].....:	0
Ángulo de fricción.....[°].....:	28
Valor de Ru.....:	0
Peso unitario – arriba del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....:	19
Peso unitario – abajo del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....:	19
Módulo elástico.....[kN/m <sup>2</sup> ].....:	0
Módulo de Poisson.....:	0,30

- ❖ 5to. tipo suelo: terraplén, limo arenoso, color gris, material consolidado. Es el suelo utilizado para el bloque de refuerzo, distribuido en capas entre las unidades de refuerzo con compactación para mejorar sus características mecánicas y de resistencia. Factores de cálculo:

Cohesión.....[kN/m <sup>2</sup> ].....:	10
Ángulo de fricción.....[°].....:	10
Valor de Ru.....:	0
Peso unitario – arriba del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....:	17,50
Peso unitario – abajo del nivel del agua.....[kN/m <sup>3</sup> ].....:	17,50
Módulo elástico.....[kN/m <sup>2</sup> ].....:	0
Módulo de Poisson.....:	0,30

Figura 58. Análisis como muro, factor de seguridad



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3 Perfil de camada

•	1er. camada: concreto	Descripción: suelo: concreto					
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
23,05	10,29	23,50	10,24	25,34	10,24	25,35	10
34,34	10						
•	2da. camada: Fundación	Descripción: Suelo: fundación					
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0	16,64	5	16,64	6,50	16,04	9,50	15,32
11,50	15,04	14,50	11,24	19	10,74	23,05	10,29
24,34	9	33,34	9	34,34	10	63,34	10

- 3er. camada: Terraplén Descripción: Suelo terraplén

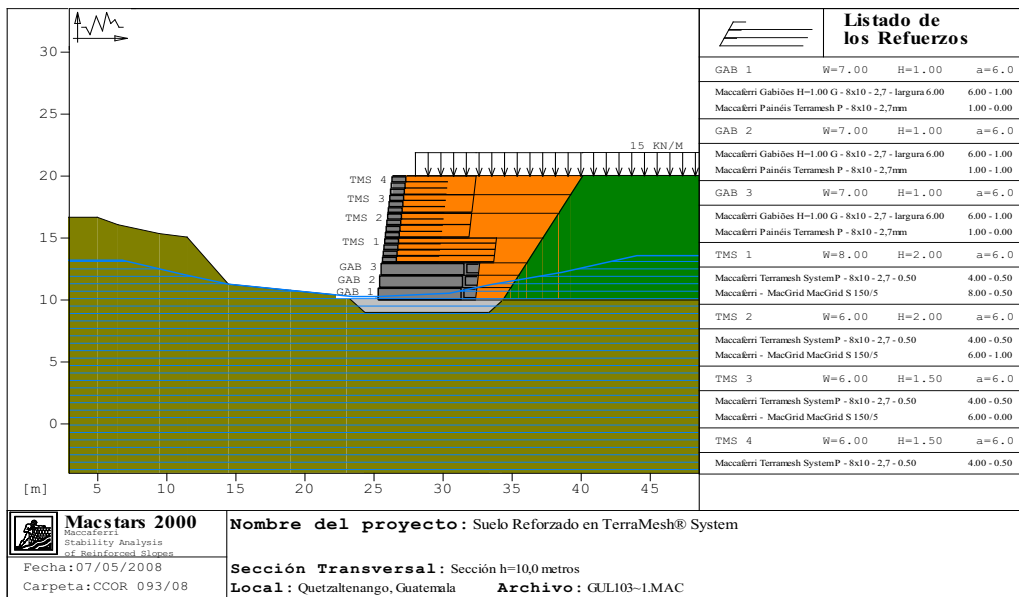
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
34,34	10	40,11	20,01	63,34	20,01		

### 3.1.4 Perfil de la superficie freática

- Superficie freática: freática Descripción:

X	Y	Y	P	X	Y	Y	P
[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]
0,00	13,17			6,82	13,17		
11,07	12,06			14,50	11,24		
23,50	10,24			25,34	10,24		
30,50	10,51			33,52	11,21		
38,64	12,19			44,07	13,54		
63,34	13,54						

Figura 59. Bloques reforzados



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.5 Refuerzos en bloques

- Bloque: gavión 1

Dimensión del bloque [m]: ancho de la base= 7 altura= 1

Origen del bloque [m]: abscisa= 25,34 ordenada= 10

Inclinación de la cara [°]: 6

Material de relleno para el gavión.....: Gavión

Tipo de relleno estructural.....: Limo

Relleno estructural.....: Gavión

Suelo de relleno.....: Relleno

Suelo del talud arriba de la estructura.....: Relleno

Suelo de fundación.....: Concreto

#### ❖ Padrón de los refuerzos:

Maccaferri - gaviones H= 1 - G – 8 x 10 - 2,7 - largura 6

Largo [m]= 6 gavión [m]: altura= 1 ancho= 6

Maccaferri - Painéis Terramesh - P – 8 x 10 - 2,7 mm

Largo [m]= 1 espaciamiento vertical [m]= 0 desplazamiento [m]= 0

- Bloque: gavión 2

Dimensión del bloque [m]: ancho de la base= 7 altura= 1

Movimiento de regreso [m]= 0 por gavión 1

Inclinación de la cara [°]: 6

Material de relleno para el gavión.....: Gavión

Tipo de relleno estructural.....: Limo

Relleno estructural.....: Gavión

Suelo de relleno.....: Relleno

Suelo del talud arriba de la estructura.....: Relleno

Suelo de fundación.....: Relleno

❖ Padrón de los refuerzos:

Maccaferri - gaviones H= 1 - G – 8 x 10 - 2,7 - largura 6

Largo [m]= 6 gavión [m]: altura= 1 ancho= 6

Maccaferri - Painéis Terramesh - P – 8 x 10 - 2,7 mm

Largo [m]= 1 espaciamento vertical [m]= 1 desplazamiento [m]= 0

- Bloque: gavión 3

Dimensión del bloque [m]: ancho de la base= 7 altura= 1

Movimiento de regreso [m]= 0 por gavión 2

Inclinación de la cara [°]: 6

Material de relleno para el gavión.....: Gavión

Tipo de relleno estructural.....: Limo

Relleno estructural.....: Gavión

Suelo de relleno.....: Relleno

Suelo del talud arriba de la estructura.....: Relleno

Suelo de fundación.....: Relleno

❖ Padrón de los refuerzos:

Maccaferri - Gaviones H= 1 - G – 8 x 10 - 2,7 – largura 6

Largo [m]= 6 gavión [m]: altura= 1 ancho= 6

Maccaferri - Painéis Terramesh - P – 8 x 10 - 2,7 mm

Largo [m]= 1 espaciamento vertical [m]= 0 desplazamiento [m]= 0

- Bloque: terramesh 1

Dimensión del bloque [m]: ancho de la base= 8 altura= 2

Movimiento de regreso [m]= 0 por gavión 3

Inclinación de la cara [°]: 6

Material de relleno para el gavión.....: Gavión  
Tipo de relleno estructural.....: Limo  
Relleno estructural.....: Relleno  
Suelo de relleno.....: Relleno  
Suelo del talud arriba de la estructura.....: Relleno  
Suelo de fundación.....: Relleno

❖ Padrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - P – 8 x 10 - 2,7 – 0,50

Largo [m]= 4 gavión [m]: altura= 0,50 ancho= 1

Maccaferri - MacGrid - MacGrid S - 150/5

Largo [m]= 8 espaciamiento vertical [m]= 0,50 desplazamiento [m]= 0

• Bloque: terramesh 2

Dimensión del bloque [m]: ancho de la base= 6 altura= 2

Movimiento de regreso [m]= 0 por terramesh 1

Inclinación de la cara [°]: 6

Material de relleno para el gavión.....: Gavión

Tipo de relleno estructural.....: Limo

Relleno estructural.....: Relleno

Suelo de relleno.....: Relleno

Suelo del talud arriba de la estructura.....: Relleno

Suelo de fundación.....: Relleno

❖ Padrón de los refuerzos:

Maccaferri – sistema Terramesh - P – 8 x 10 - 2,7 – 0,50

Largo [m]= 4 gavión [m]: altura= 0,50 ancho= 1

Maccaferri - MacGrid - MacGrid S - 150/5

Largo [m]= 6 espaciamiento vertical [m]= 1 desplazamiento [m]= 0



- Bloque: terramesh 3

Dimensión del bloque [m]: ancho de la base= 6 altura= 1,50

Movimiento de regreso [m]= 0 por terramesh 2

Inclinación de la cara [°]: 6

Material de relleno para el gavión.....: Gavión

Tipo de relleno estructural.....: Limo

Relleno estructural.....: Relleno

Suelo de relleno.....: Relleno

Suelo del talud arriba de la estructura.....: Relleno

Suelo de fundación.....: Relleno

❖ Padrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - P – 8 x 10 - 2,7 – 0,50

Largo [m]= 4 gavión [m]: altura= 0,50 ancho= 1

Maccaferri - MacGrid - MacGrid S - 150/5

Largo [m]= 6 espaciamento vertical [m]= 0 desplazamiento [m]= 0

- Bloque: terramesh 4

Dimensión del bloque [m]: ancho de la base= 6 altura= 1,50

Movimiento de regreso [m]= 0 por terramesh 3

Inclinación de la cara [°]: 6

Material de relleno para el gavión.....: Gavión

Tipo de relleno estructural.....: Limo

Relleno estructural.....: Relleno

Suelo de relleno.....: Relleno

Suelo del talud arriba de la estructura.....: Relleno

Suelo de fundación.....: Relleno

❖ Padrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - P – 8 x 10 – 2,7 – 0,50

Largo [m]= 4 gavión [m]: altura= 0,50 ancho=1

### 3.1.6 Sobrecargas

- Cargas distribuidas: 15 KN/M descripción:

Intensidad [kN/m<sup>2</sup>]= 15 inclinación [°]= 0

Abscisa [m]: de= 28 hasta= 63

- Efectos sísmicos:

Aceleración [m/s<sup>2</sup>]: horizontal= 1,96 vertical= 0,98

### 3.1.7 Propiedades de los refuerzos utilizados

- Maccaferri – Gaviones H= 1 - G – 8 x 10 - 2,7 - largo 6

Resistencia a la tracción.....[kN/m].....: 50,11

Tasa de deformación plástica.....: 2

Coefficiente de deformación elástica.....[m<sup>3</sup>/kN].....: 1,10e-04

Rigidez del refuerzo.....[kN/m].....: 500

Largo de anclaje mínimo.....[m].....: 0,15

Factor de seguridad contra la ruptura (grava).....: 0

Factor de seguridad contra el arrancamiento (*Pull-out*).....: 0

Factor de seguridad contra la ruptura (arena).....: 0

Factor de seguridad contra el arrancamiento (*Pull-out*).....: 0

Factor de seguridad contra la ruptura (arena limosa).....: 1,30

Factor de seguridad contra el arrancamiento (*Pull-out*).....: 1

Factor de seguridad contra la ruptura (arcilla arenosa).....: 0

Factor de seguridad contra el arrancamiento (*Pull-out*).....: 0

Factor de interacción refuerzo/refuerzo.....: 0,30

Coeficiente de interacción refuerzo-grava.....:	0
Coeficiente de interacción refuerzo-arena.....:	0
Coeficiente de interacción refuerzo-limo.....:	0,50
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla.....:	0

- Maccaferri - Painéis Terramesh - P – 8 x 10 - 2,7 mm

Resistencia a la tracción [kN/m].....:	50,11
Tasa de deformación plástica.....:	2
Coeficiente de deformación elástica [m <sup>3</sup> /kN].....:	1,10e-04
Rigidez del refuerzo [kN/m].....:	500
Largo de anclaje mínimo [m].....:	0,15
Factor de seguridad contra la ruptura (grava).....:	0
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	0
Factor de seguridad contra la ruptura (arena).....:	0
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	0
Factor de seguridad contra la ruptura (arena limosa).....:	1,30
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	1
Factor de seguridad contra la ruptura (arcilla arenosa).....:	0
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	0
Factor de interacción refuerzo/refuerzo.....:	0,30
Coeficiente de interacción refuerzo-grava.....:	0
Coeficiente de interacción refuerzo-arena.....:	0
Coeficiente de interacción refuerzo-limo.....:	0,50
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla.....:	0

- Maccaferri - Terramesh System - P – 8 x 10 - 2,7 – 0,50

Resistencia a la tracción [kN/m].....:	50,11
Tasa de deformación plástica.....:	2
Coeficiente de deformación elástica [m <sup>3</sup> /kN].....:	1,10e-04

Rigidez del refuerzo [kN/m].....:	500
Largo de anclaje mínimo [m].....:	0,15
Factor de seguridad contra la ruptura (grava).....:	1,44
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	1
Factor de seguridad contra la ruptura (arena).....:	1,30
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	1
Factor de seguridad contra la ruptura (arena limosa).....:	1,30
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	1
Factor de seguridad contra la ruptura (arcilla arenosa).....:	1,30
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	1
Factor de interacción refuerzo/refuerzo.....:	0,30
Coeficiente de interacción refuerzo-grava.....:	0,90
Coeficiente de interacción refuerzo-arena.....:	0,65
Coeficiente de interacción refuerzo-limo.....:	0,50
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla.....:	0,30

Figura 60. **Sistema terramesh, gaviones con cola para formación de área para carril auxiliar**



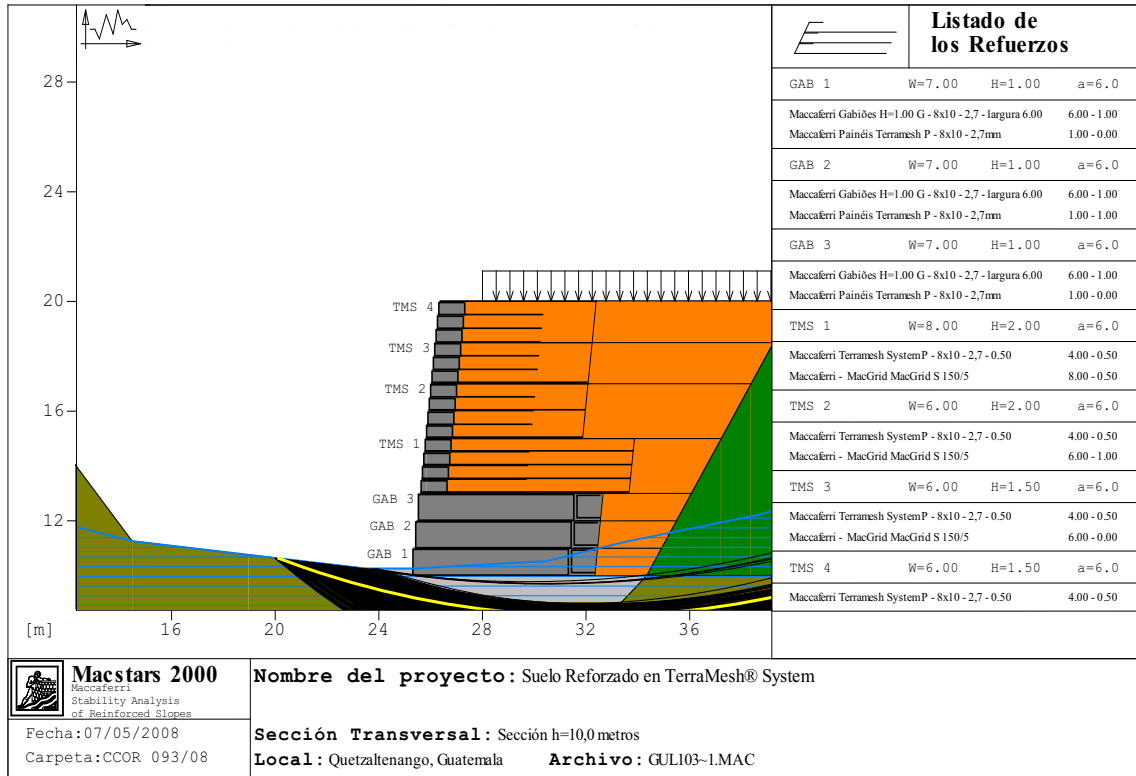
Fuente: MACCAFERRI. Folleto *Case History* Guatemala Río Las Rosas Quetzaltenango. p. 4.

Rev: 00, fecha de publicación 03 de abril del 2009.

- Maccaferri - MacGrid - MacGrid S - 150/5

Resistencia a la tracción [kN/m].....:	150
Tasa de deformación plástica.....:	0
Coeficiente de deformación elástica [m <sup>3</sup> /kN].....:	1,10e-04
Rigidez del refuerzo [kN/m].....:	1 250
Largo de anclaje mínimo [m].....:	0,15
Factor de seguridad contra la ruptura (grava).....:	1,89
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	1
Factor de seguridad contra la ruptura (arena).....:	1,84
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	1
Factor de seguridad contra la ruptura (arena limosa).....:	1,84
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	1
Factor de seguridad contra la ruptura (arcilla arenosa).....:	1,84
Factor de seguridad contra el arrancamiento ( <i>Pull-out</i> ).....:	1
Factor de interacción refuerzo/refuerzo.....:	0,21
Coeficiente de interacción refuerzo-grava.....:	0,80
Coeficiente de interacción refuerzo-arena.....:	0,80
Coeficiente de interacción refuerzo-limo.....:	0,60
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla.....:	0,40

Figura 61. Verificación de resultados, análisis de estabilidad global método rígido



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.8 Verificación de la estabilidad global

Fuerza actuante en los refuerzos de acuerdo con el método rígido, análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el método de Bishop.

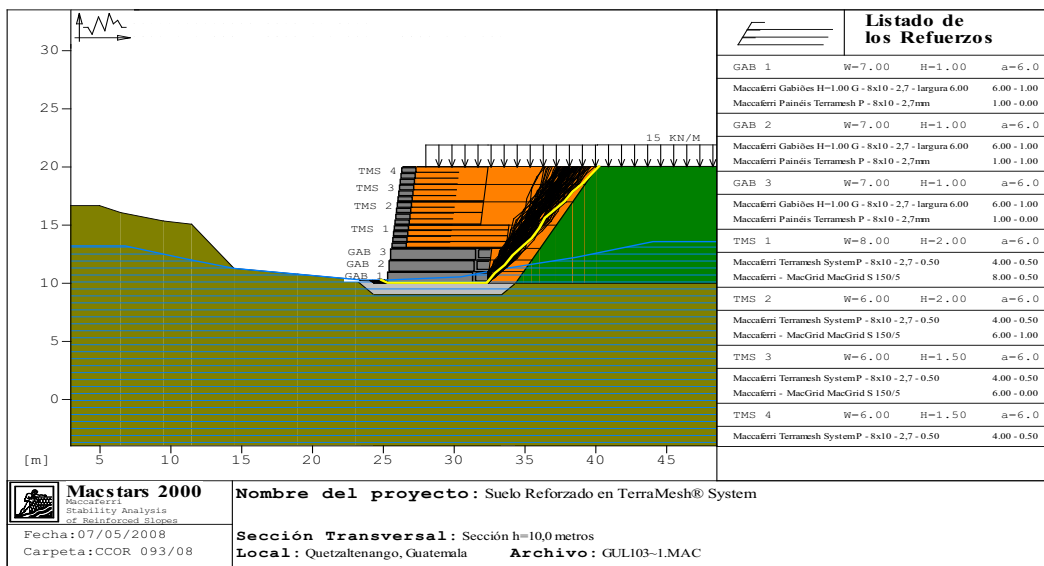
Factor de seguridad calculado: 1,204

Límites de búsqueda para las superficies de ruptura

Límite inicial, abscisa [m]		Límite final, abscisa [m]	
Primer punto	Segundo punto	Primer punto	Segundo punto
20	24	56	60

Número de puntos de inicio en el primer segmento: .....: 100  
 Número total de superficies verificadas:.....: 1 000  
 Largo mínimo de la base de las láminas [m]:.....: 1  
 Ángulo límite superior para la búsqueda [°]:.....: 0  
 Ángulo límite inferior para la búsqueda [°]:.....: 0

Figura 62. Listado de refuerzos programa Macstars



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.9 Verificación como muro a gravedad

Bloque considerado: Gavión 1

Presión disponible en la fundación .....[kN/m<sup>2</sup>].....: 300  
 Fuerza horizontal máxima.....[kN/m].....: 704,43  
 Factor de seguridad contra el deslizamiento.....: 1,848  
 Momento máxima de vuelco.....[kN\*m/m].....: 3 240,10  
 Factor de seguridad contra el vuelco.....: 1,981  
 Presión máxima en la fundación.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 266,13  
 Factor de seguridad de la capacidad de superficie del suelo de apoyo: 1,127

### 3.1.10 Descripción de sistema constructivo

Construcción de una plataforma en gaviones, protección mediante colchones, y sobre esta plataforma de protección hidráulica, una estructura de suelo reforzado tipo terramesh grid, para habilitar el nuevo acceso a la ciudad.

Productos: Gavión®, Terramesh System®, Colchón Reno®, Geogrilla MacGrid®, MacDrain®.

### 3.1.11 Resumen del proyecto

**Nombre del cliente:** Conyma

**Constructor:** Calsa

**Proyecto y consultoría:** Ingeniería Total/Macgua

**Productos usados:**

Gavión®	2 x 1 x 1 ZN 2,7 mm	1 500 m <sup>3</sup>
Terramesh system®	2 x 1 x 4	140 piezas
Terramesh system®	2 x 0,5 x 4	210 piezas

**Fecha de obra: Inicio:** Mayo 2008      **Finalización:** Enero 2009

El talud natural no presentaba problemas de humedad ni ningún nacimiento de agua que pudiese afectar la tierra armada, únicamente un drenaje existente que fue incorporado al sistema. Sin embargo se le dio un tratamiento de relleno posterior con base de roca como filtro. Luego, una capa de piedrín; posteriormente arena, geotextil y un relleno controlado con material selecto.



Figura 63. **Fases constructivas de tierra armada tipo Terramesh proyecto Las Rosas Quetzaltenango**



Armado del colchón reno.



Conducción de drenaje existente.



Instalación de filtro geotextil.



Tierra armada para carril auxiliar.

Fuente: MACCAFERRI. Folleto *Case History* Guatemala Río Las Rosas Quetzaltenango.  
p. 1 - 4. Rev: 00, fecha de publicación 03 de abril del 2009.

### 3.1.12 Comentario personal (visita de campo)

- Se observa grietas en el perímetro superior del muro tipo terramesh en la banqueta peatonal, al lado del carril auxiliar, producidas debido a las

deformaciones del muro de cara de gavión porque son flexibles, las cuales no afectan a la estructura internamente ni su estabilidad (ver figura 64 a).

- El río no tiene un tratamiento de purificación por lo que existe mal olor en el proyecto y acumulación de basura. Esto no fue contemplado en el proyecto.
- En el perímetro de los gaviones se retiene basura por la malla hexagonal dando un mal aspecto (ver figura 64 b).
- En tiempo de verano se puede observar crecimiento de vegetación en el cauce del río, incluso hasta hay grama en el centro y esto es porque se acumula demasiada tierra, piedras y basura; en esta época se deben realizar los trabajos de drenados para ayudar al puente y a las comunidades aguas abajo de posibles inundaciones (ver figura 64 c).
- El espigón inmediato al puente genera una distribución de velocidades en la curva que protege (ver figura 64 c).
- Entre la obra hidráulica se construyeron dos tanques con rebalse en la parte central superior, por medio de dos muros perpendiculares a la corriente del río. Su función es proteger al puente atrapando cualquier volumen grande que pueda arrastrar el río y golpear al puente. Además reduce la altura piezométrica del río, se les debería dar mantenimiento pues se va acumulando una gran cantidad de residuos y luego dejaron de funcionar.
- El tanque superior tiene una mayor cantidad de acumulación de sólidos, este se encuentra a la altura del centro de la tierra armada con gaviones y el segundo al final de los gaviones tiene acumulación de basura en una de sus esquinas debido a la curva del río (ver figura 64 d).

- El mantenimiento de la obra de parte de la municipalidad de Quetzaltenango, Guatemala ha sido escaso o casi nulo.

Figura 64. Estado actual del proyecto



a)



b)



c)



d)

Fuente: elaboración propia.

Entrevista, Ing. Donaldo Ramírez del Departamento de supervisión. Ingeniería Total, (19-diciembre-2009). Comunicación personal.

- Indicó que en los renglones de trabajo no se incluyó el tratamiento de purificación de aguas del río.
- La velocidad de instalación de gaviones por día fue aproximadamente de 50 m<sup>2</sup>.
- El banco de materiales para la plataforma de relleno fue de Salcajá, Quetzaltenango, a 1 km del proyecto, al cual se le hizo ensayos de proctor, valor soporte California, según el peso unitario seco a la humedad óptima y el ensayo CBR que determina la capacidad soporte del suelo en el laboratorio con una humedad óptima y niveles de compactación variables, sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de la rampa, para el pavimento como superficie final.
- La compactación de cada capa de relleno estuvo en el rango de 98% a 100% según el ensayo de densidad de campo.

### **3.2 Muro de paramento de bloques proyecto paso a desnivel San Cristóbal según programa Mesa Pro**

**Nombre del proyecto:** pasos a desnivel San Cristóbal

**Fecha:** 30/09/2006

**Número proyecto:** P-025-06M

**Fuente:** Precon, sistema Mesa<sup>®</sup>

**Ingeniero:** José Pérez

Ubicado en la intersección de la carretera interamericana con el boulevard principal San Cristóbal, el sistema de tierra armada a través del muro mesa es

rápido de construir e ideal para espacios reducidos, pues en San Cristóbal se lograron muros verticales en las rampas, permitiendo durante su ejecución el paso vehicular a pocos metros de la rampa.

### 3.2.1 Metodología de diseño

Guías de diseño AASHTO.

### 3.2.2 Geometría de los muros

Muro de contención para rampas de paso a desnivel, desde secciones diseñadas basado en AASHTO desde 2 m de altura libre hasta 8,8 m de altura total, el largo varía según lado de la rampa.

Tabla VIII. **Parámetros de suelos**

<b>Suelos</b>	<b>Peso unitario <math>\gamma</math>, kN/m<sup>3</sup></b>	<b>Angulo fricción <math>\phi'</math>, grados</b>	<b>Cohesión aparente C, kN/m<sup>2</sup></b>
Relleno reforzado	14	34	0
Suelo retenido	14	34	0
Suelo de fundación	14	26	20

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Requerimiento para suelo de relleno**

Tamíz No.	Porcentaje pasando
75 mm	100
No. 4	50 – 100
No. 200	0 – 35

Fuente: elaboración propia.

- El material selecto fue colocado con sumo cuidado sobre la geomalla para evitar corrimientos
- Índice de plasticidad debe ser  $< 20$  y límite líquido debe ser  $< 40$

### 3.2.3 Relleno de drenaje

Es de 30 cm de relleno, se debe colocar detrás del muro. Este material debe ser menor de 1", bien graduado, grava o roca limpia, y debe cumplir con la siguiente granulometría.

Tabla X. **Relleno de drenaje**

Tamiz No.	Porcentaje pasando
1"	100
3/4"	50 – 75
No. 4	0 – 60
No. 40	0 – 50
No. 200	0 – 5

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.4 Fachada

Bloques de concreto mesa *standard* de 8" de alto x 18" de ancho x 11" de profundidad nominal /75 libras (ver figura 41.b página 75).

### 3.2.5 Sobrecargas

Sobrecarga uniforme (tráfico)	= 12 kPa
Sobrecarga muerta	= 2,5 kPa
Carga sísmica (aceleración horizontal máxima)	= 0,4 g

### 3.2.6 Análisis de estabilidad

Asentamiento total, asentamientos diferenciales en exceso del 1% (12 pulgadas en 100 pies por impacto vehicular, sismo y su peso propio, presentando asentamientos mínimos que no afectan a la estructura.

	Estático	Sísmico
Factor de seguridad mínimo para el "Pullout" de geomalla	1,5	1,1
Factor de seguridad mínimo para incertidumbres	1,5	1,1
Factor de seguridad mínimo para deslizamiento	1,5	1,1
Factor de seguridad mínimo para volcamiento (vuelco)	2	1,5

### 3.2.7 Geomallas y geotextil

La forma de construcción fue por medio de capas de geomalla sobre toda la rampa, y luego selecto, repitiendo el proceso cada 3 bloques de concreto mesa *standard* hasta llegar al nivel deseado. El geotextil se utilizó como filtro protector para evitar pérdidas de sólidos en la parte lateral del muro junto con el drenaje tipo francés. Ver tabla XI.

Tabla XI. Tipos de geomallas

Tipo de geomalla	Esfuerzo ultimo, kN/m	F.S para daño en construcción*	F.S para durabilidad	Factor de reducción rotura	Esfuerzo LTADS, kN/m
UX1400MSE	70	1,1	1,1	2,6	22
UX1600MSE	144	1,1	1,1	2,6	45
UX1700MSE	175	1,1	1,1	2,6	55

\* Basado en el relleno reforzado siendo arena limosa.

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.8 Nivel freático

El nivel freático se asumió suficientemente bajo, de tal modo que no afecta la estabilidad del muro.

### 3.2.9 Estabilidad interna y externa

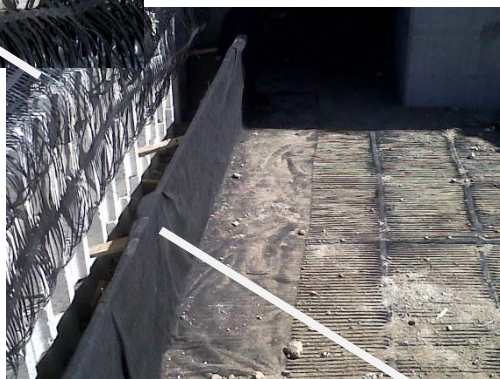
Este diseño se hizo con chequeo de estabilidad interna y externa, no tuvo en cuenta la estabilidad global o compuesta.

Las figuras a continuación, referencian el proceso constructivo del paso a desnivel San Cristóbal.

Figura 65. **Fases constructivas paso a desnivel San Cristóbal**



- Conector mecánico positivo.



- Drenaje tipo francés longitudinal a la rampa y geotextil (filtro).







- Colocación de material selecto sobre geomalla para construcción de las rampas.



- Rampa salida.

Rampa de ingreso.



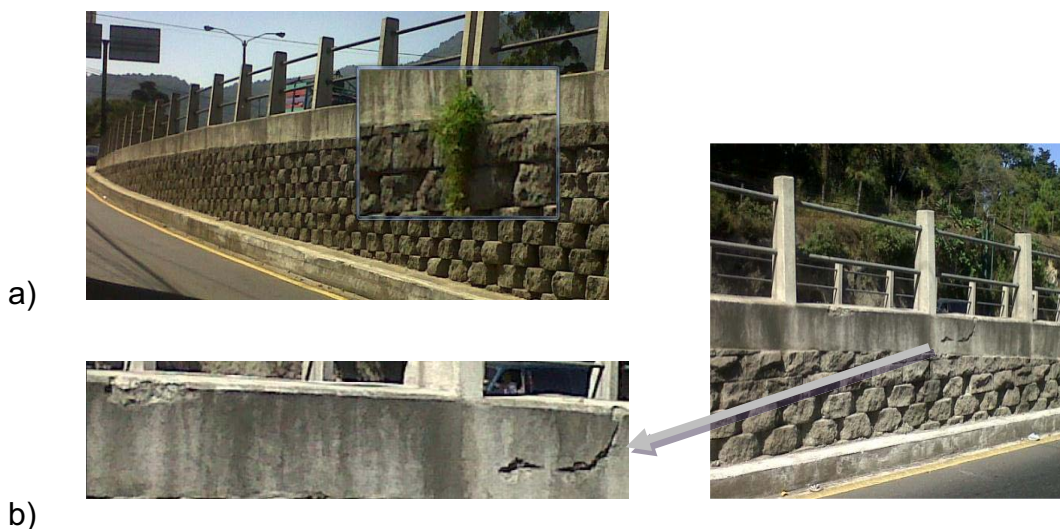
- Carril auxiliar ingreso San Cristóbal. Proyecto en funcionamiento.

Fuente: elaboración propia. Enero 2007-marzo 2007.

### 3.2.10 Comentario personal (visita de campo)

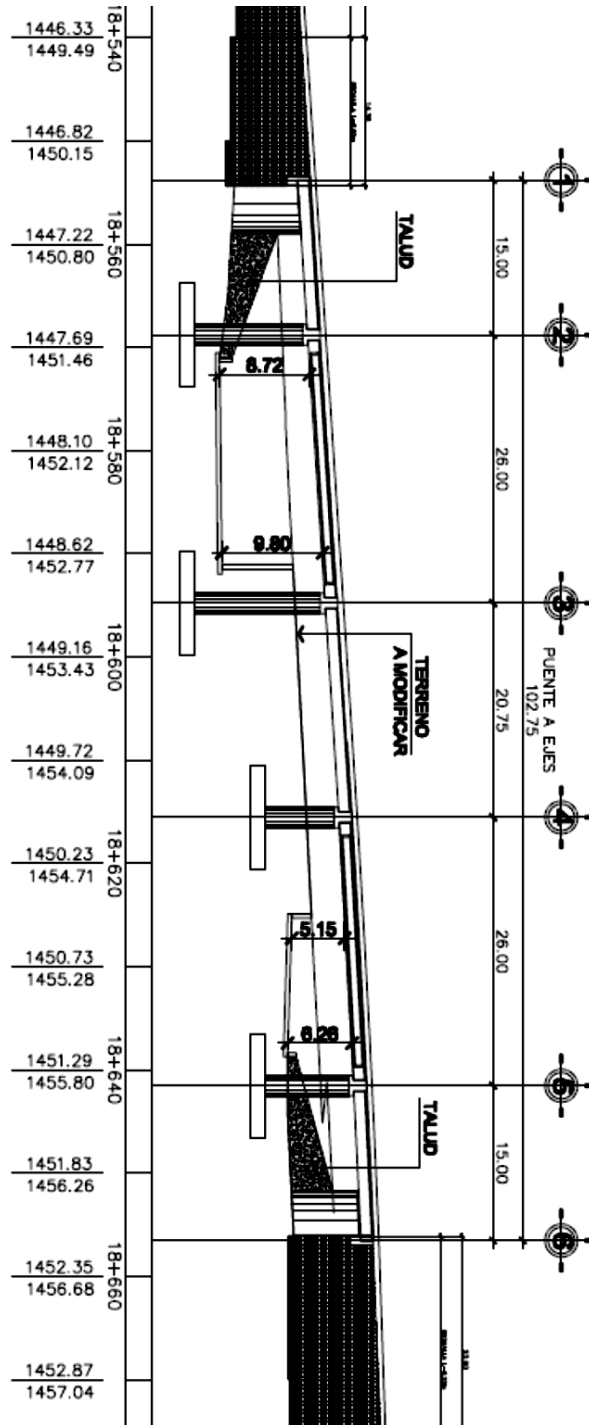
- Este sistema no requiere mayor mantenimiento, únicamente limpieza a drenajes, ya que se visualiza crecimiento de vegetación. Figura 66 a.
- Se observó grietas en el perímetro superior del muro mesa por accidente vehicular, durante su uso estas no han afectado de ninguna manera el muro. Figura 66 b.
- No se han presentado asentamientos visibles dentro de la trayectoria de las rampas tanto en la de ingreso como la de egreso.
- El relleno del núcleo de los bloques tipo *standard* fue innecesario para el muro de retención segmentado, debido a que el diseño de acuerdo con la carga viva utilizada no requirió dicho relleno, lo cual permitió que la instalación fuera más eficaz.

Figura 66. Rampas estabilizadas paso a desnivel San Cristóbal



Fuente: elaboración propia. Septiembre 2010.

Figura 67. Paso a desnivel San Cristóbal, corte eje 01



Fuente: Precon, septiembre 2006.

## CONCLUSIONES

1. El desarrollo en el uso de polímeros para fabricar geosintéticos, permite obtener materiales con alta resistencia a la tensión utilizados para el refuerzo y estabilización de taludes, controlando así deformaciones en los suelos. Existen diferentes tipos de geosintéticos, dentro de ellos las geomallas como lo son coextruídas, mono-orientadas y bi-orientadas, proporcionan un confinamiento lateral y fricción, o interacción con el suelo, aumentando la resistencia de la masa a estabilizar. Generan menos impacto ambiental pues usan materiales locales colocados in situ ideales para causas de ríos.
2. Desde la planificación de carreteras, es necesaria la previsión de cortes y rellenos controlados con pendiente adecuada según los tipos de suelo y ensayos de laboratorio, evitando así repercusiones económicas en fallas de taludes por la acción de la gravedad y precipitación meteorológica acompañada de falta de drenajes. Provocando deslizamientos causantes de un elevado número de víctimas humanas en el mundo.
3. Respecto a la evaluación de campo en el proyecto del paso a desnivel Las Rosas, se constata el sistema terramesh como una estructura híbrida ya que no sólo provee la contención de la carretera con sistemas malla tejida y cara de gavión, sino también permite la protección hidráulica ante las condiciones del cauce del río de orden crítico en el punto de estudio. Se observó grietas en el perímetro superior del muro tipo terramesh en la banqueta peatonal, al lado del carril auxiliar, estas se han producido debido a las deformaciones del muro de cara de gavión porque son

flexibles, las cuales no afectan a la estructura internamente ni su estabilidad.

4. El sistema muro mesa debido a su fácil instalación y versatilidad de formas de aplicación, brinda ventajas respecto a los métodos convencionales de estabilización de suelos, como lo son muros de gravedad y muro en voladizo, que se han empezado a popularizar en Guatemala en pasos a desnivel dentro del ambiente urbano.
5. El paso a desnivel San Cristóbal Mixco dió solución al problema vial debido a que en ese punto se intercepta la carretera interamericana con el boulevard principal San Cristóbal. Gracias al uso del sistema muro mesa la ejecución fue eficiente, constatando mediante visitas de campo que no se presentan asentamientos en la capa de rodadura de asfalto, lo que confirma que los chequeos durante su diseño y ejecución fueron los adecuados.

## RECOMENDACIONES

1. Al utilizar gaviones en las estabilizaciones deben de ser armados en el lugar de instalación (*in situ*), ya que por el peso que estos llegan a tener, se hacen difícil de manejar, verificando siempre que el amarre entre los gaviones se realice de la forma que en este trabajo se ha propuesto, para que todo el sistema forme un sólo bloque, garantizando así, la funcionalidad de la aplicación.
2. El uso de geosintético con gaviones para la estabilización de laderas de carreteras y causes de ríos, es funcional, pues en Guatemala se ha dado la mala práctica de estabilizar laderas con gaviones hechizos que no cumplen con los requerimientos mínimos de resistencia acompañado de falta de diseño, provocando deslaves y socavaciones en tramos carreteros, en época de invierno.
3. El sistema de estabilización tipo muro mesa se recomienda en pasos a desnivel, pues se pueden diseñar muros verticales para no perder espacio en los carriles de circulación vehicular.
4. Ambos sistemas proveen una fachada agradable visual y no necesitan de ningún mantenimiento complejo.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BRAJA M., Das. *Principios de ingeniería de cimentaciones*, 4ª ed. Universidad del estado de California: Thomson International, 2001. 862 p. ISBN 970-686-035-5.
2. *Encarte Técnico. Estructuras en suelo reforzado con el sistema Terramesh*, Brasil: Macaferri, 2005. 28 p. ET 001AE-2005.
3. ESCOBAR, Gonzalo Duque; ESCOBAR, Potes Manizales; ENRIQUE, Carlos. *Mecánica de los suelos*. Universidad nacional de Colombia: Manizales, 2002. 89. p. <<http://www.galeon.com/geomecanica/cap4.pdf>> [Consulta: 05 de junio de 2010].
4. HOLTZ, Robert; BARRY, Christopher; BERG, Ryan. *Guía para el diseño y construcción con geosintéticos*. Administración federal de carreteras (FHWA) del departamento de transporte, Instituto Nacional de Carreteras, 1995. 152 p. publicación N°. FHWA HI-95-038.
5. LARSEN, Simon y Andrew, C Matthew, *Geografiska annaler, series A, Physical Geography*, vol 75, No. 1/2, 1993. p. 54.
6. *Perspectiva general del sistema Mesa, Sistema de muros de retención*. Estados Unidos de América: Corporación Tensar Internacional. 2005. 18 p. ISPN\_MESA\_BRO\_E\_1.06.





## **ANEXO**



Figura 68. Colocación sistema terramesh

# Como colocar el Terramesh® System

**MACCAFERRI**

**1** Desdoble los elementos Terramesh® System sobre una superficie rígida y plana, eliminando las eventuales irregularidades.

**2** Levante verticalmente el panel posterior y doble las laterales a 90°...

**3** Posicione el diafragma en el elemento y amarre a los paneles de base y posterior.

**4** Levante el Panel frontal y la tapa. Costure las laterales al paño de base y al panel frontal, alternando vueltas simples y dobles a cada malla.

**5** Costure el diafragma de la misma forma que los paneles.

**6** Posicione cada elemento en su local definitivo. Amarre los elementos entre si a lo largo de todas las aristas en contacto.

OBS: el terreno deberá ser previamente regularizado y nivelado.

© MACCAFERRI DO BRASIL LTDA. 2004

F004 E - 06/04

**7** Llène en 3 etapas.

1/3  
2  
3  
1/2  
2/3  
1/2

Coloque los tirantes y llene hasta 2/3 de la capacidad total

Llene hasta 1/3 de la capacidad total

Coloque nuevamente los tirantes y acabe de llenar hasta 3 a 5 cm por arriba de la altura del elemento

**8**

**RECUERDE**  
No llene un elemento sin que el siguiente esté parcialmente llenado.

**9** Doble la tapa y amárrela con el mismo tipo de costura.

Para obtener un buen acabado de paramento frontal, utilice un encofrado de madera.

**10** Para facilitar el lanzamiento del relleno, fije las colas con algunas grapas.

Grapas  
Cola

**11** El filtro geotextil junto al panel posterior de la caja. El filtro debe ser mayor que el panel para permitir que envuelva el suelo de relleno.

$\pm 30\text{cm}$   
 $\pm 30\text{cm}$

**12** Proceda con el relleno.

El relleno debe ser compactado en capas de 20 a 30cm.

geotextil

$\pm 30\text{cm}$   
 $\pm 30\text{cm}$

**13** Los equipos pesados de compactación deben mantener una distancia mínima de un metro del paramento frontal.

La compactación próxima al paramento frontal debe ser hecha manualmente o con equipos livianos..

**14** Doble el geotextil sobre el terreno compactado y repita todas las operaciones para las capas siguientes.

10 cm  
10 cm

**OBS:** Amarre los elementos de la capa superior a los elementos de la capa inferior a lo largo de todas las aristas en contacto.

Fuente: MACAFERRI. Encarte Técnico, Estructuras en suelo reforzado con el sistema Terramesh, Brasil, noviembre 2005. p. 28. ET 001AE-2005.