



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

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE
LLANTAS DE DESECHO Y GAVIONES COMO ESTRUCTURAS
FLEXIBLES DE CONTENCIÓN, PARA PROTECCIÓN DE
CAMINOS RURALES Y VIVIENDAS.**

Calixto Antulio Palacios Aguilar

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Monzón Noriega

Guatemala, abril de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE
LLANTAS DE DESECHO Y GAVIONES COMO ESTRUCTURAS
FLEXIBLES DE CONTENCIÓN, PARA PROTECCIÓN DE
CAMINOS RURALES Y VIVIENDAS.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CALIXTO ANTULIO PALACIOS AGUILAR
ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO MONZÓN NORIEGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Heincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

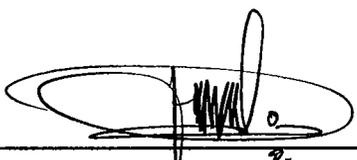
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Diego Velásquez Jofre
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Edwin Giovanni Girón Mencos
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE LLANTAS DE DESECHO Y GAVIONES COMO ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN, PARA PROTECCIÓN DE CAMINOS RURALES Y VIVIENDAS,

tema que me fue asignado por la Dirección de la escuela de Ingeniería Civil, con fecha 19 de octubre de 2009.



Calixto Antulio Palacios Aguilar

Guatemala, 05 de Febrero de 2010

Ingeniero:

José Gabriel Ordoñez Morales

Coordinador de Área de Materiales y Construcciones Civiles

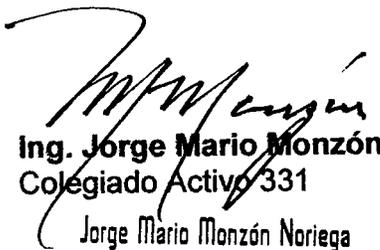
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería, Escuela de ingeniería Civil

Presente

Por medio de la presente me dirijo a usted para informarle que después de haber realizado la revisión del informe final para el trabajo de graduación presentado por el estudiante CALIXTO ANTULIO PALACIOS AGUILAR con carne estudiantil numero 9712779 titulado **ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACION DE LLANTAS DE DESECHO Y GAVIONES COMO ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN PARA PROTECCIÓN DE CAMINOS RURALES Y VIVIENDAS**, que actualmente asesoro, me complace emitir dictamen favorable a la misma y considero que llena los requisitos para su aprobación.

Sin otro particular.



Ing. Jorge Mario Monzón Noriega
Colegiado Activo 331
Jorge Mario Monzón Noriega
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 331



Guatemala,
4 de marzo de 2010

FACULTAD DE INGENIERIA

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 **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE LLANTAS DE DESECHO Y GAVIONES COMO ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN PARA PROTECCIÓN DE CAMINOS RURALES Y VIVIENDAS** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Calixto Antulio Palacios Aguilar, quien contó con la asesoría del Ing. Jorge Mario Monzón.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



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



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Jorge Mario Monzón Noriega y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Calixto Antulio Palacios Aguilar, titulado ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE LLANTAS DE DESECHO Y GAVIONES COMO ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN, PARA PROTECCIÓN DE CAMINOS RURALES Y VIVIENDAS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril de 2010

/bbdeb.



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: **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE LLANTAS DE DESECHO Y GAVIONES COMO ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN, PARA PROYECCIÓN DE CAMINOS RURALES Y VIVIENDAS**, presentado por el estudiante universitario Calixto Antulio Palacios Aguilar, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, consisting of a large loop and a horizontal line extending to the right.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, abril de 2010



/gdech

DEDICATORIA

- A DIOS** Por el don de la vida, sabiduría e inteligencia necesaria para poder finalizar esta meta.
- A MIS PADRES** Leonor Pérez, Jorge Palacios y Ana María de Palacios, por su apoyo, cariño, comprensión y sobre todo paciencia. Con amor y admiración.
- A MIS HERMANOS** Carolyn y Koki (Q.E.P.D.), ya que son la motivación principal para la obtención de este logro.
- A MIS SOBRINOS** José y Daniela, por alegrarme la vida.
- A MI FAMILIA** Por su apoyo incondicional en todo momento en especial a mis tíos Luis Aguilar y Edgar Aguilar.
- A ALGUIEN ESPECIAL** Karla Ayala, por sembrar sueños y estar a mi lado para hacerlos realidad.

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

Por la formación académica obtenida.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Por los conocimientos adquiridos en sus aulas.

A MIS COMPAÑEROS

Que compartieron conmigo momentos especiales dentro de la Facultad.

A PROFESIONALES COMO

Ing. Edwin Rolando Castillo, por su apoyo y amistad en el inicio de esta hermosa profesión.

Ing. Jorge Mario Monzón Noriega, por sus enseñanzas, consejos y por compartir sus conocimientos en la asesoría de este trabajo de graduación.

A MIS AMIGOS:

Por sus consejos y apoyo, en especial Julio Zunún.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. TIPOLOGÍA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS EN TALUDES	1
1.1. Causas que provocan fallas en taludes	1
1.2. Clasificación de las fallas	3
1.3. Análisis para clasificar los diferentes tipos de falla	5
2. ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN	9
2.1. Muros flexibles	9
2.1.1. Muro con llantas usadas	11
2.1.2. Muros en gaviones	12
3. DISEÑO DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN	15
3.1. Criterios para el análisis de estructuras flexibles de contención	15
3.1.1. Estructuras de contención para estabilizar deslizamientos	16

3.1.1.1. Condiciones que deben cumplir los muros para estabilizar deslizamientos	17
3.2. Estudio geotécnico para el diseño de muros	19
3.2.1. Parámetros geotécnicos	20
3.2.1.1. Resistencia del suelo	21
3.2.1.2. Determinación de los parámetros	24
3.3. Factores a tomar en cuenta para el diseño	25
3.3.1. Durabilidad y mantenimiento	26
3.3.2. Estética	27
3.3.3. Cargas a tener en cuenta en el análisis	28
3.3.4. Factores de seguridad	29
3.3.5. Subdrenajes	30
3.3.6. Teoría de presión de tierras	32
3.3.6.1. Presión en reposo	33
3.3.6.2. Presión activa	34
3.3.6.3. Presión pasiva	35
3.4. Diseño de muro con llantas	38
3.5. Diseño de muros en gaviones	40
3.5.1. Diseño de la masa del muro para estabilidad	40
3.5.2. Diseño interno de la estructura del gavión	41
3.5.2.1. Especificaciones de los elementos internos.	41
3.5.2.2. Despiece de las unidades de gavión nivel por nivel	42
3.5.3. Sistema de filtro.	42
3.5.4. Detalles especiales.	42
4. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS	43
4.1. Análisis estructural de las llantas de desecho	43
4.1.1. Materia prima para la elaboración de llantas	44
4.2. Análisis estructural de la malla para gaviones	45

4.3. Materiales	47
4.3.1. Alambre para amarre de llantas y gaviones	47
4.3.1.1. Alambre galvanizado para llantas	47
4.3.1.2. Alambre galvanizado para gaviones	48
4.3.2. Soga de polipropileno	48
4.3.3. Material de relleno estructural	49
4.3.4. Material para relleno de gaviones	50
5. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y TÉCNICAS	51
5.1. Trabajo de gabinete	51
5.2. Ejecución	52
5.2.1. Muros con llantas	52
5.2.1.1. Materiales para la construcción de muros con llantas	52
5.2.1.2. Colocación y armado para la construcción de muros con llantas.	53
5.2.1.3. Estimación del equipo necesario	58
5.2.1.4. Supervisión	58
5.2.2. Muros con gaviones	59
5.2.2.1. Materiales para la construcción de muros con gaviones	59
5.2.2.2. Colocación y armado para la construcción de muros con gaviones	59
5.2.2.3. Estimación del equipo necesario	61
5.2.2.4. Supervisión	61
5.3. Empleo de geotextil	62
5.4. Drenajes	63
5.4.1. Sistema de drenaje para muros con llantas	63
5.4.2. Sistema de drenaje para gaviones	64
5.5. Relleno posterior	65
5.6. Vegetación	66

6. EJEMPLO DE ESTUDIO ECONÓMICO DE PROTECCIÓN DE CAMINO DE	
TERRACERÍA CON LLANTAS DE DESECHO EN SUSTITUCIÓN DE	
GAVIONES	67
6.1. Trabajo de gabinete	67
6.1.1. Estudio y análisis del proyecto	67
6.1.2. Planos del proyecto	67
6.1.3. Determinación de recursos	68
6.1.4. Resumen	71
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	77
APÉNDICE	79
ANEXOS	89

19. Relleno interior dona de llantas	55
20. Proceso de relleno posterior	56
21. Obra finalizada	57
22. Obra finalizada post vegetación	57
23. Armado y colocado de cajas para gavión	59
24. Llenado de gavión	60
25. Colocación de tirantes	60
26. Cierre de gavión	61
27. Uso de geotextil en muros con llantas y gaviones	63
28. Drenajes para muros con llantas	64
29. Drenaje muro de gavión	64
30. Planta de camino con curvas de nivel	80
31. Sección transversal alternativa 1, utilizando llantas de desecho	81
32. Sección transversal alternativa 2, utilizando gaviones	82
33. Muro con llantas en aldea Estancia de la Virgen, Malacatancito, Huehuetenango	85
34. Muro con llantas comunidad de Cancuc Cuilco, Huehuetenango	85
35. Muro con llantas comunidad Tosijon, Cuilco, Huehuetenango	86
36. Muro con llantas comunidad Toajlaj, Cuilco, Huehuetenango	86
37. Muro con llantas aldea Tuimay, San José Ojetenam, San Marcos	87
38. Sección transversal del muro experimental	91
39. Diferentes etapas de construcción del muro	93
40. Ensayos de densidad <i>in situ</i>	94
41. Planta de posicionamiento de la instrumentación	95
42. Desplazamientos horizontales al final de la construcción y luego de colocar la sobrecarga	97
43. Variación de los desplazamientos en función al ancho de base.	98
44. Distribución de tensiones horizontales	99
45. Equipo de Campo para prueba pull – out	102

46. Pruebas Pull - out con llantas en una fila con 1 m de sobrecarga	104
47. Pruebas Pull - out con llantas amarradas con 1 m de sobrecarga	105

TABLAS

I. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro flexible	10
II. Valores típicos de parámetros geotécnicos en suelos compactados	23
III. Valores típicos de parámetros geotécnicos en suelos in situ	24
IV. Factores de seguridad mínimos en las cargas para el diseño suponiendo estado límite último	30
V. Deformaciones que se requieren para que se presente presión activa o presión pasiva	38
VI. Composición química de una llanta	43
VII. Elemento químicos que componen una llanta	44
VIII. Diferentes tipos de materiales de relleno para gaviones	50
IX. Integraciones alternativa 1, llantas de desecho	69
X. Integraciones alternativa 2, gaviones	70
XI. Comparación costos llantas de desecho vs. gaviones	71
XII. Proyectos realizados en Guatemala	84
XIII. Configuración de llantas para ensayo pull out	103

101. The first part of the report is devoted to a general introduction to the subject of the study.

102. The second part of the report is devoted to a detailed description of the methods used in the study.

TABLE

103	Introduction	1
104	Methods	2
105	Results	3
106	Discussion	4
107	Conclusions	5
108	References	6
109	Appendix	7
110	Index	8
111	Summary	9
112	References	10
113	Appendix	11
114	Index	12
115	Summary	13
116	References	14
117	Appendix	15
118	Index	16
119	Summary	17
120	References	18
121	Appendix	19
122	Index	20
123	Summary	21
124	References	22
125	Appendix	23
126	Index	24
127	Summary	25
128	References	26
129	Appendix	27
130	Index	28
131	Summary	29
132	References	30
133	Appendix	31
134	Index	32
135	Summary	33
136	References	34
137	Appendix	35
138	Index	36
139	Summary	37
140	References	38
141	Appendix	39
142	Index	40
143	Summary	41
144	References	42
145	Appendix	43
146	Index	44
147	Summary	45
148	References	46
149	Appendix	47
150	Index	48
151	Summary	49
152	References	50
153	Appendix	51
154	Index	52
155	Summary	53
156	References	54
157	Appendix	55
158	Index	56
159	Summary	57
160	References	58
161	Appendix	59
162	Index	60
163	Summary	61
164	References	62
165	Appendix	63
166	Index	64
167	Summary	65
168	References	66
169	Appendix	67
170	Index	68
171	Summary	69
172	References	70
173	Appendix	71
174	Index	72
175	Summary	73
176	References	74
177	Appendix	75
178	Index	76
179	Summary	77
180	References	78
181	Appendix	79
182	Index	80
183	Summary	81
184	References	82
185	Appendix	83
186	Index	84
187	Summary	85
188	References	86
189	Appendix	87
190	Index	88
191	Summary	89
192	References	90
193	Appendix	91
194	Index	92
195	Summary	93
196	References	94
197	Appendix	95
198	Index	96
199	Summary	97
200	References	98
201	Appendix	99
202	Index	100

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
PH	Potencial de hidrógeno
W	Peso del muro
ϕ	Ángulo de fricción interna
C	Cohesión
K	Permeabilidad
SPT	Ensayo de penetración estándar
CPT	Ensayo de penetración estática
δ	Ángulo de fricción interna muro y terreno
Pa	Presión activa
Pp	Presión pasiva
L	Longitud
H	Altura
Ka	Coefficiente de presión activa
Kp	Coefficiente de presión pasiva
Kn	Coefficiente sísmico
B	Ángulo de la pendiente del terreno arriba del muro

CONTENTS

Chapter	Page
1. Introduction	1
2. The Algebra of Sets	15
3. The Algebra of Logic	35
4. The Algebra of Probability	55
5. The Algebra of Statistics	75
6. The Algebra of Mathematics	95
7. The Algebra of Philosophy	115
8. The Algebra of Science	135
9. The Algebra of Art	155
10. The Algebra of Religion	175
11. The Algebra of Ethics	195
12. The Algebra of Law	215
13. The Algebra of Medicine	235
14. The Algebra of Music	255
15. The Algebra of Poetry	275
16. The Algebra of Drama	295
17. The Algebra of History	315
18. The Algebra of Geography	335
19. The Algebra of Astronomy	355
20. The Algebra of Meteorology	375
21. The Algebra of Zoology	395
22. The Algebra of Botany	415
23. The Algebra of Geology	435
24. The Algebra of Paleontology	455
25. The Algebra of Anthropology	475
26. The Algebra of Linguistics	495
27. The Algebra of Psychology	515
28. The Algebra of Sociology	535
29. The Algebra of Political Science	555
30. The Algebra of Economics	575
31. The Algebra of Education	595
32. The Algebra of Law	615
33. The Algebra of Medicine	635
34. The Algebra of Music	655
35. The Algebra of Poetry	675
36. The Algebra of Drama	695
37. The Algebra of History	715
38. The Algebra of Geography	735
39. The Algebra of Astronomy	755
40. The Algebra of Meteorology	775
41. The Algebra of Zoology	795
42. The Algebra of Botany	815
43. The Algebra of Geology	835
44. The Algebra of Paleontology	855
45. The Algebra of Anthropology	875
46. The Algebra of Linguistics	895
47. The Algebra of Psychology	915
48. The Algebra of Sociology	935
49. The Algebra of Political Science	955
50. The Algebra of Economics	975
51. The Algebra of Education	995

GLOSARIO

Angulo de fricción interna Es el ángulo de rozamiento de las partículas de suelo sobre si mismas.

Bolsacreto

Son formaletas flexibles de polipropileno que sirven para proteger, reparar o construir estructuras como rompeolas, presas, taludes etc; además de mejorar la estabilidad de laderas erosionadas.

Células de presión

Equipo utilizado para medir las presiones activas y pasivas de la tierra.

Cohesión

Tipo de atracción entre dos cuerpos o materiales.

Concreto ciclópeo

Combinación de concreto de baja resistencia y piedras grandes de tamaño no mayor de 30 centímetros.

Deslizamientos de tierras Son movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte de un material a lo largo de una superficie de debilidad.

Ensayos triaxiales Obtención de parámetros del suelo y la relación esfuerzo –deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante.

Escorrentía superficial Agua que corre en la superficie del suelo.

Extensómetro Equipo diseñado para monitorización de roturas internas en el hormigón, terraplenes o medición de desplazamientos cerca de túneles o pozos.

Flujo plástico Suelo con grandes cantidades de agua.

Gaviones Caja de malla de alambre, rellena de material pétreo de consistencia sólida, flexible y drenante.

Estudio Geotécnico Estudio de la clasificación del suelo y roca por medio de pruebas de laboratorio.

inclinómetros magnéticos Equipo para medición de desplazamientos, inclinación y profundidad.

Intemperismo	Que está expuesto a los fenómenos naturales.
Piedra bola	Piedra de canto rodado sin aristas con tamaño variable.
Permeabilidad	Es la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.
Presión hidrostática	Es el empuje o fuerza ejercida por la presión del agua sobre un muro o terreno.
Sub-drenaje	Tubería perforada subterránea para captar y drenar agua subterránea superficial.
Talud	Inclinación o declive de un muro o en corte de un terreno.
Tensión capilar	Estado del suelo producido por el aumento o descenso del agua en sus partículas.
Pull out	Sacar o jalar
Malla electrosoldada	Material de armadura que se presenta en paneles rectangulares constituidos por alambres o barras soldadas a maquina.

THE FIRST OF THESE PARTS IS

THE SECOND

THE SECOND PART OF THE FIRST PART

THE THIRD

THE THIRD PART OF THE SECOND PART

THE FOURTH

THE FOURTH PART OF THE THIRD PART

THE FIFTH

THE FIFTH PART OF THE FOURTH PART

THE SIXTH

THE SIXTH PART OF THE FIFTH PART

THE SEVENTH

THE SEVENTH PART OF THE SIXTH PART

THE EIGHTH

THE NINTH

THE TENTH

THE TENTH PART OF THE SEVENTH PART

THE ELEVENTH

RESUMEN

El presente trabajo de graduación es una recopilación de información acerca de la estabilidad de los taludes y de los sistemas constructivos para el caso de fallas en los mismos, estableciendo ventajas y desventajas al momento de la selección del sistema a construir; tomando en cuenta diversos criterios y factores para el diseño para lograr una mejor solución tanto económica como estructural y a la vez una metodología de construcción que proteja viviendas y garantice la transitabilidad en caminos rurales.

El uso de llantas de desecho como un elemento de refuerzo es una solución atractiva que combina la ventaja de mejorar el comportamiento mecánico de los suelos, con las preocupaciones ambientales; las llantas son producidas en el mundo cada vez más, resultando uno de los residuos sólidos urbanos, que requiere una política de eliminación específica, el sistema de refuerzo con llantas de desecho se realiza con capas de llantas rellenas de tierra y atadas con cuerda de polipropileno o alambre galvanizado.

No existen procedimientos de diseño definitivos aunque se han realizado ensayos que demuestran la viabilidad de este tipo de estructuras flexibles; tradicionalmente por efectos económicos y de fácil ejecución se han utilizado los gaviones como solución; aunque con la integración de los costos unitarios de ambos sistemas puede demostrarse que es más económico utilizar llantas de desecho, a su vez un procedimiento constructivo simple que involucre mano de obra no calificada y la utilización de recurso material del lugar;

14. 1917年12月

1917年12月1日，星期三。上午九时，在柏林大学举行了一次关于“1917年12月”的会议。会议由柏林大学校长主持，与会者包括柏林大学各系教授、柏林大学学生会代表、柏林大学工人代表、柏林大学农民代表、柏林大学商人代表、柏林大学各界人士代表等。会议讨论了柏林大学在1917年12月所取得的成就、存在的问题以及未来的发展方向。会议决定，柏林大学将在1918年1月1日正式更名为“柏林大学”，以纪念柏林大学在1917年12月所取得的成就。

1917年12月2日，星期四。上午九时，在柏林大学举行了一次关于“1917年12月”的会议。会议由柏林大学校长主持，与会者包括柏林大学各系教授、柏林大学学生会代表、柏林大学工人代表、柏林大学农民代表、柏林大学商人代表、柏林大学各界人士代表等。会议讨论了柏林大学在1917年12月所取得的成就、存在的问题以及未来的发展方向。会议决定，柏林大学将在1918年1月1日正式更名为“柏林大学”，以纪念柏林大学在1917年12月所取得的成就。

1917年12月3日，星期五。上午九时，在柏林大学举行了一次关于“1917年12月”的会议。会议由柏林大学校长主持，与会者包括柏林大学各系教授、柏林大学学生会代表、柏林大学工人代表、柏林大学农民代表、柏林大学商人代表、柏林大学各界人士代表等。会议讨论了柏林大学在1917年12月所取得的成就、存在的问题以及未来的发展方向。会议决定，柏林大学将在1918年1月1日正式更名为“柏林大学”，以纪念柏林大学在1917年12月所取得的成就。

OBJETIVOS

General:

- Exponer una solución constructiva a la protección y/o reparación de taludes anexos a caminos rurales y viviendas.

Específicos:

1. Efectuar un análisis económico mediante la integración de costos unitarios del sistema constructivo de estructura flexible con gaviones y el sistema de llantas de desecho, tomando en cuenta los precios de los materiales y mano de obra actuales.
2. Establecer un procedimiento constructivo detallado de este sistema de contención así como establecer el recurso material a utilizarse.
3. Verificar la confiabilidad de utilizar las llantas de desecho como material de construcción de estructuras flexibles de contención mediante resultados de ensayos realizados.
4. Estudiar procesos que pueda manejar la población a efecto de que los habitantes del lugar puedan resolver sus propios problemas.

CONTENTS

CONTENTS

CONTENTS

CONTENTS

CONTENTS

CONTENTS

CONTENTS

CONTENTS

INTRODUCCIÓN

Las llantas son residuos que se acumulan rápidamente en grandes volúmenes, en particular, en zonas urbanas densamente pobladas, el destino final de las llantas es un problema de alcance mundial, existe una creciente preocupación por el fomento del reciclaje, reducción y reutilización de las llantas de desecho; el uso de llantas usadas en la ingeniería civil se presenta como una alternativa que combina la eficiencia mecánica y el bajo costo en comparación con sistemas tradicionales.

Una de las primeras aplicaciones de los neumáticos usados en la práctica de la Ingeniería Civil tuvo lugar en la década de los 70, con la reconstrucción de un terraplén reforzado en una carretera en el norte de California (Hausmann, 1990). Los primeros estudios relacionados a esta técnica fueron desarrollados en Francia, con la construcción de un muro experimental de 5 metros de alto y 10 metros de largo (Long, 1984); en Guatemala desde el año 2007 entidades no gubernamentales han utilizado este sistema constructivo.

Este estudio pretende comparar los costos directos de dos formas diferentes de poder construir estructuras flexibles de contención, estableciendo a la vez una metodología constructiva utilizando llantas de desecho para la estabilización de deslizamientos potencialmente inestables a orillas de caminos rurales y para erosiones laterales en cercanías de una vivienda.

1. TIPOLOGÍA DE MOVIMIENTO DE TIERRA EN TALUDES

1.1. Causas que provocan fallas en taludes

La seguridad de una masa de tierra contra falla o movimiento es lo que se llama estabilidad. Cuando ocurren los deslizamientos o hundimientos, es necesario hacer estudios de estabilidad para determinar la causa de la falla; la estabilidad se pierde debido a agentes naturales tales como las presiones hidrostáticas, el intemperismo, la deforestación y la erosión por escorrentías pluviales. El aumento temporal de cargas, la reducción de la resistencia del suelo o una redistribución desfavorable de esfuerzos contribuyen a que el talud busque una posición más estable, algunas causas de inestabilidad en la falla de taludes son:

- a) Expansión de arcillas por absorción de agua.
- b) Presión de agua intersticial.
- c) Destrucción de la estructura por choque, vibración o actividad sísmica.
- d) Fisuras capilares producidas por las alteraciones de expansión y retracción o por tracción.
- e) Deformación y falla progresiva en suelos sensibles.
- f) Deshielo en suelos.
- g) Escorrentías no controladas

Además debemos tomar en cuenta el factor topográfico, que consiste en la presencia de pendientes que no son uniformes.

Siguiendo con el estudio de las causas, debemos considerar los efectos que produce la precipitación pluvial (lluvia) sobre un mismo suelo, en forma torrencial corta e intensa, que puede tener efectos totalmente distintos, que si cae de forma regular poco intensa y durante un período de tiempo más largo.

Se puede decir que siempre que el suelo lo permita, en el primer caso favorece la escorrentía superficial debido a la impermeabilización rápida del suelo, mientras que en el segundo caso tiene tiempo suficiente para infiltrarse. La lluvia medianamente intensa pero prolongada favorece a la filtración del agua en el suelo, provocando así la saturación del mismo.

La erosión del suelo es otro factor a tomar en cuenta para el desprendimiento y arrastre de partículas del terreno; estas acciones son provocadas por el agua, el viento, el hielo y la gravedad.

Hay dos tipos de erosión:

- Naturales, causadas por el propio ciclo de la tierra, es decir la evolución de la misma por diferentes agentes geofísicos que se producen desde tiempos atrás.
- La otra manera es la causada por la deforestación de lugares con mucha vegetación.

1.2. Clasificación de las fallas

De los tipos de falla que pueden ocurrir, se mencionan los más frecuentes:

- Por deslizamiento superficial la cual consiste en desplazamientos de porciones de tierra muy cercanas al talud. La causa principal es la falta de presión normal confinante en esa zona.
- Por disgregación ocasionada por el agrietamiento que se produce al secarse las arcillas suaves, especialmente las arcillas bentonitas.
- Por disgregación debida a la intemperización, especialmente en calizas y lutitas margosas.
- Por la acción del empuje que se produce al sufrir expansión los estratos margosos y arcillas que se saturan de agua.
- Por desplazamiento de los suelos que se encuentran debajo del pie de los taludes.
- Por la presencia de corrientes ascendentes de agua, que originan la condición conocida como suelo movedizo.
- Por derrumbe de masas fragmentadas, ya sea a través del efecto solamente de la gravedad, o bien estimulado por la fuerza expansiva de las arcillas y margas, o por presiones por erosión y por flujo plástico o lodoso.

También tomaremos como referencia la clasificación de Varnes (1978), la cual se centra en los tipos de movimientos y su relación con el tipo de terreno.

a) Desprendimientos

b) Vuelcos

c) Deslizamientos rotacionales y traslacionales

d) Corrimientos laterales

e) Flujos

f) Movimientos complejos

Los movimientos de los taludes, en forma general, se denominan derrumbes.

Los tipos fundamentales de movimientos de taludes de corte son:

- Desprendimientos
- Corrimientos
- Flujos
- Combinación de los anteriores

Los materiales complejos se agrupan de 2 maneras:

- Substrato
- Suelos

En el grupo de los suelos hay dos tipos: los de partículas gruesas llamadas derrubios y los de partículas finas llamadas tierra.

La clasificación de los movimientos que ocurren en los taludes se basa en:

- **El tipo de material**
- **La forma del movimiento**
- **La velocidad con que ocurre**

1.3. Análisis para clasificar los diferentes tipos de falla

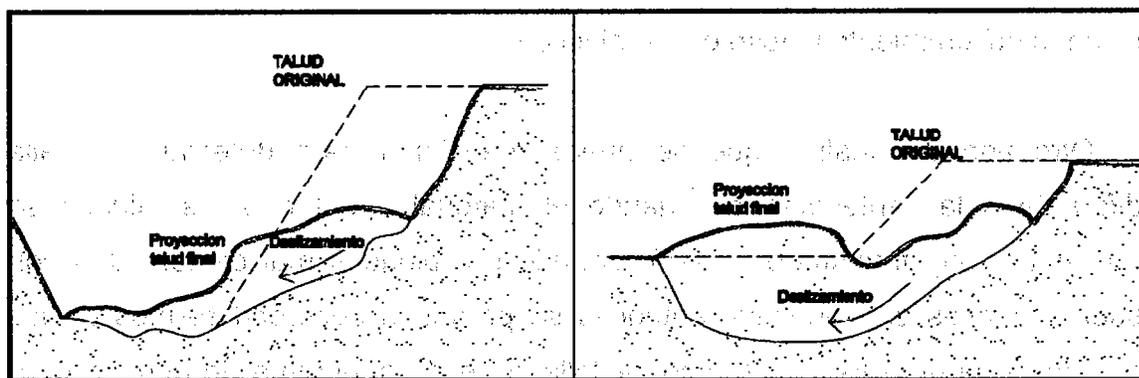
Para poder realizar la clasificación de fallas es necesario realizar un análisis previo de las mismas. Cuando el material que forma los parámetros de corte tiene un límite elástico bien definido, la falla de talud consiste en el deslizamiento de una parte de dicho parámetro a lo largo de una superficie conchoidal bien definida, que puede aflorar al pie del talud o puede extenderse por debajo del corte y aflorar a cierta distancia enfrente del talud. A este tipo de falla se le conoce como deslizamiento y se observa comúnmente en materiales cohesivos como en los de poca cohesión; cuando el suelo además de ser cohesivo se encuentra en un estado plástico, o bien cuando es un material granular suelto y saturado, es muy frecuente que se dé un tipo de falla llamado escurrimiento lodoso o flujo plástico.

Otro tipo de análisis que se puede mencionar para detectar una falla diferente a las anteriores es cuando el material que forma los taludes se encuentra muy fracturado, o está formado por bloques mal cementados con suelos limosos erosionables, entonces se producen desprendimientos de los estratos superficiales; a este tipo de falla se le da el nombre de derrumbes o desplomes.

En otras palabras, podemos decir que el análisis para clasificar los diferentes tipos de falla se determinan en las características del material que forman el suelo, pero también pueden clasificarse de acuerdo con el tiempo en que se presentan. Cuando la falla ocurre durante la construcción de un corte, ella se debe, por lo general, a que la altura del talud es mayor que la necesaria para que el peso propio del suelo pueda ser equilibrado por la resistencia interna del mismo; cuando la falla ocurre es muy probable que en la inestabilidad del mismo hayan intervenido causas variadas, tales como presiones hidrostáticas, intemperismo y erosión.

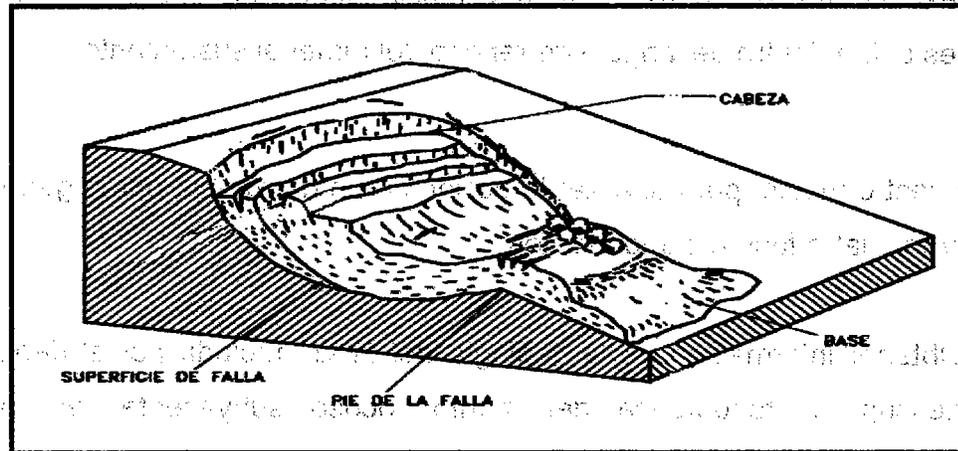
En las figuras 1 y 2 puede verse que cuando se produce la falla en un talud a lo largo de una superficie conchoidal, se define una nueva superficie de deslizamiento mucho más grande que la primera falla

Figura 1. Proceso de falla en un talud



Fuente: Ing. Carlos Crespo, **Mecánica de suelos y cimentaciones**, página. 218.

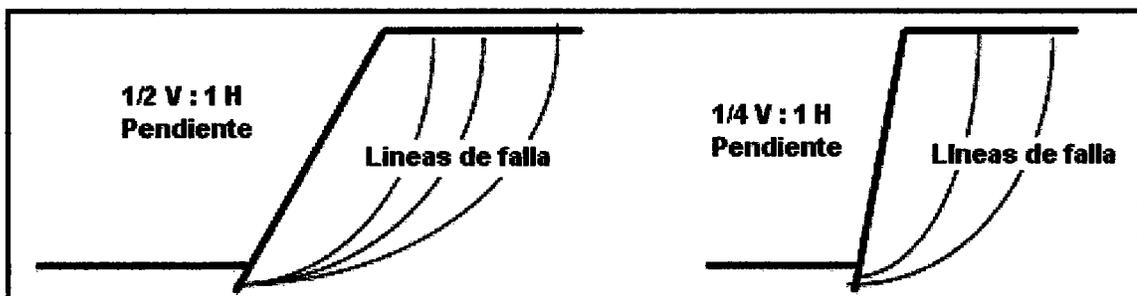
Figura 2. Falla de un talud



Fuente: Suarez, Jaime. **Estabilidad de taludes en zonas tropicales**, capítulo 1, página 03.

También se hace necesario destacar que no siempre la estabilidad de un talud se obtiene a medida que se reduce su pendiente; en la figura 3 puede observar que las presiones hidrostáticas que actúan en el mismo alcanzan valores más altos en taludes con 55° a 60° de inclinación, y como consecuencia es muy común encontrar que un talud de relación $\frac{1}{2}V:1H$ es más inestable que uno de $\frac{1}{4}V:1H$, o bien que el vertical

Figura 3. Taludes con posible mecanismo de deslizamiento



Fuente: Osegueda Gine, Félix, **Análisis de estabilidad de taludes mediante el método Morgenstern – Price**, página 13.

Se producen fallas cuando ciertas áreas del suelo son sometidas a presiones que no encuentran una resistencia adecuada o bien las mismas presiones están dentro del ángulo de reposo del material sustentante.

En nuestro medio, para analizar la acción de un derrumbe, por lo general se consideran cuatro factores importantes:

- a) Obtener información de la geología del área afectada por el derrumbe, descripción topográfica del manto rocoso subyacente, el tipo, la naturaleza, extensión y el desplazamiento del referido manto rocoso.
- b) Investigar la localización del estrato húmedo que pueda contribuir a originar el derrumbe.
- c) Hacer un reconocimiento topográfico de las zonas en que se puedan originar los derrumbes, incluyendo la localización de corrientes de agua y lagunetas en los cerros cercanos.
- d) Tener información total del suelo: peso unitario, contenido de humedad, granulometría y características de plasticidad, resistencia al corte, etc.

2. ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN

2.1. Muros flexibles

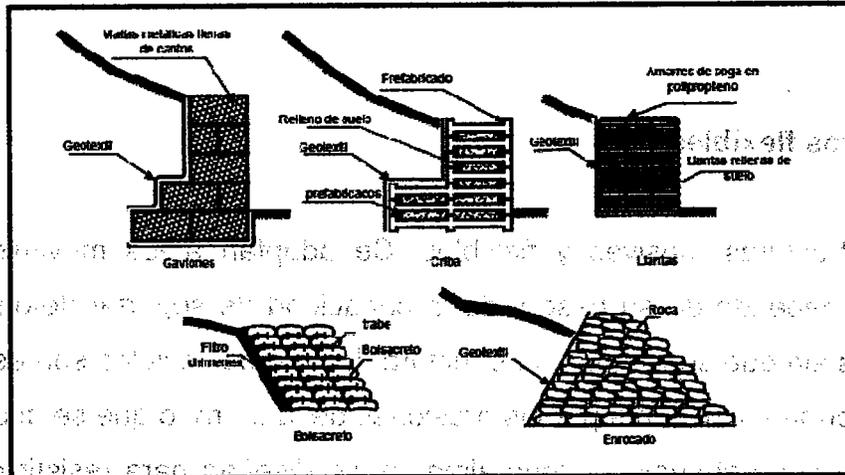
Son estructuras masivas y flexibles. Se adaptan a los movimientos, su efectividad depende de su peso y de la capacidad de soportar deformaciones importantes sin que se rompa su estructura; los muros flexibles son estructuras que se deforman fácilmente por las presiones de la tierra, o que se acomodan a los movimientos del suelo y, generalmente, se diseñan para resistir presiones activas en lo que se refiere a su estabilidad intrínseca y actúan como masas de gravedad para la estabilización de deslizamientos de tierra.

Existen muchos tipos de muros flexibles, entre ellos los más populares son (figura 4 y tabla I):

1. Muros en gaviones
2. Muros de elementos prefabricados (Muros criba)
3. Muros de llantas usadas
4. Muros de piedra
5. Muros de bolsacreto

Cada uno de estos tipos de muros poseen unas características especiales de construcción, diseño y comportamiento para la presente investigación, únicamente estudiaremos los muros con llantas usadas y los muros con gaviones.

Figura 4. Esquema de algunos tipos de muros flexibles



Fuente: Suarez, Jaime. Deslizamientos - Técnicas de remediación, capítulo 3, página 116.

Tabla I. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro flexible

TIPO DE ESTRUCTURA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Gaviones	Fácil alivio de presiones de agua. Soportan movimientos sin pérdida de eficiencia. Es de construcción sencilla y económica.	Las mallas de acero galvanizado se corrompen fácilmente en ambientes ácidos, por ejemplo, en suelos residuales de granitos se requiere cantos o bloques de roca, los cuales no necesariamente están disponibles en todos los sitios.
Criba	Simple de construir y mantener. Utiliza el suelo en la mayor parte de su volumen. Utiliza elementos prefabricados, los cuales permiten un mejor control de calidad.	Se requiere material granular, auto-drenante. Puede ser costoso cuando se construye un solo muro por la necesidad de prefabricar los elementos de concreto reforzado. Generalmente, no funciona en alturas superiores a siete metros.
Liantas	Son fáciles de construir y ayudan en el reciclaje de los elementos utilizados.	No existen procedimientos confiables de diseño y su vida útil no es conocida.
Enrocado o pedraplén	Son fáciles de construir y económicos cuando hay roca disponible.	Requieren de la utilización de bloques o cantos de tamaño relativamente grande.
Bolsacreto	Fáciles de construir en contacto con cuerpos de agua.	Son relativamente costosos.

Fuente: Suarez, Jaime. Deslizamientos - técnicas de remediación, capítulo 3, página 117.

Los muros de llantas usadas son muy flexibles y se acomodan fácilmente a los asentamientos referenciales, cada llanta se conecta a su vecina con sogas de polipropileno o alambre galvanizado.

La resistencia a la extracción (pull - out) es relativamente alta para los grupos de llantas y el peso unitario del relleno es relativamente bajo, con esto la deformabilidad y la resistencia al cortante del terraplén es alta.

El muro de llantas puede ser integral, en tal forma que, todo el volumen de terraplén esté entrelazado con llantas, las cuales ocupan buena parte de su volumen total, o puede utilizarse el sistema de muro de llantas en el cual se colocan llantas en la parte posterior del terraplén como anclaje de sogas de polipropileno, las cuales amarran las llantas internas con las llantas en la pared exterior del muro.

2.1.2. Muros en gaviones

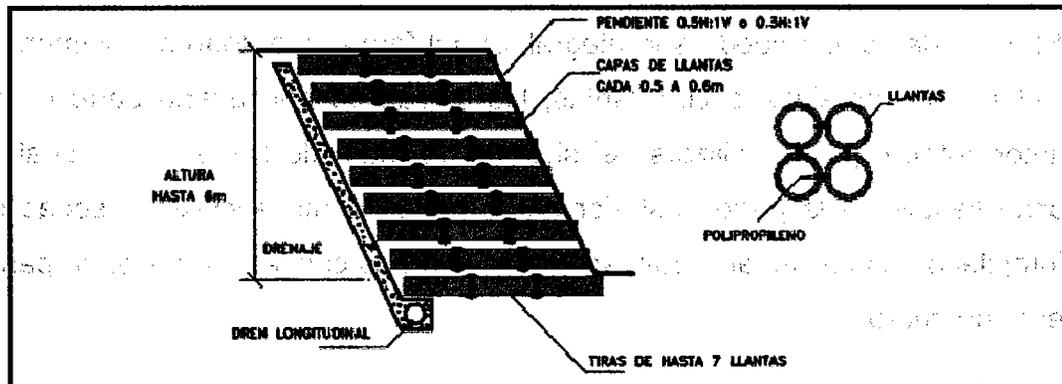
Los gaviones son cajones de malla de alambre galvanizado que se rellenan de cantos de roca (figuras 7 y 8). Los muros en gaviones son estructuras que trabajan por gravedad, es decir que trabajan por su propio peso y su diseño sigue la práctica estándar de la ingeniería civil; debe tenerse en cuenta, de manera muy especial, el amarre entre unidades de gaviones para evitar el movimiento de unidades aisladas y poder garantizar un muro monolítico.

Por su flexibilidad, el muro de gaviones puede deformarse fácilmente al ser sometido a presiones, diferenciándose un poco su comportamiento de los muros

2.1.1. Muro con llantas usadas

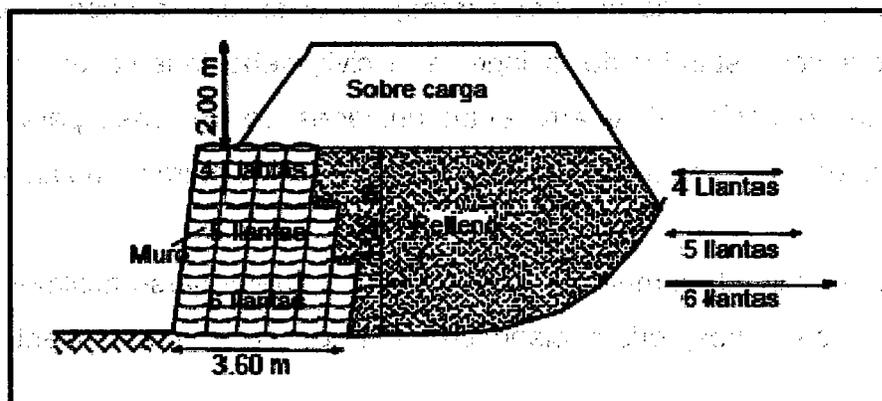
Los muros en llantas usadas las cuales son unidas entre sí por sogas de refuerzo. Generalmente, se utilizan sogas de polipropileno y se conoce de la utilización de elementos metálicos. (figuras 5 y 6)

Figura 5. Esquemas de un muro en llantas usadas



Fuente: Suarez, Jaime. Deslizamientos - técnicas de remediación, capítulo 3, página 121.

Figura 6. Esquema de un muro en llantas para sostener un terraplén

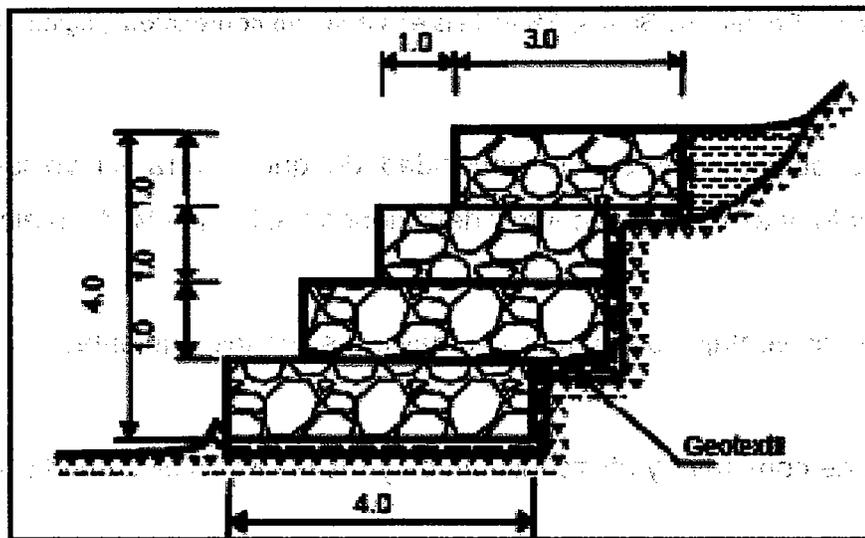


Fuente: Sieira, Ana Cristina y otros. Estabilización de taludes con muros de neumáticos, página 1065.

Se pueden emplear tres tipos de mallas diferentes, hexagonales o de triple torsión, electro soldada y eslabonada simple. Existe una gran cantidad de tamaños de malla disponible para formar las cajas.

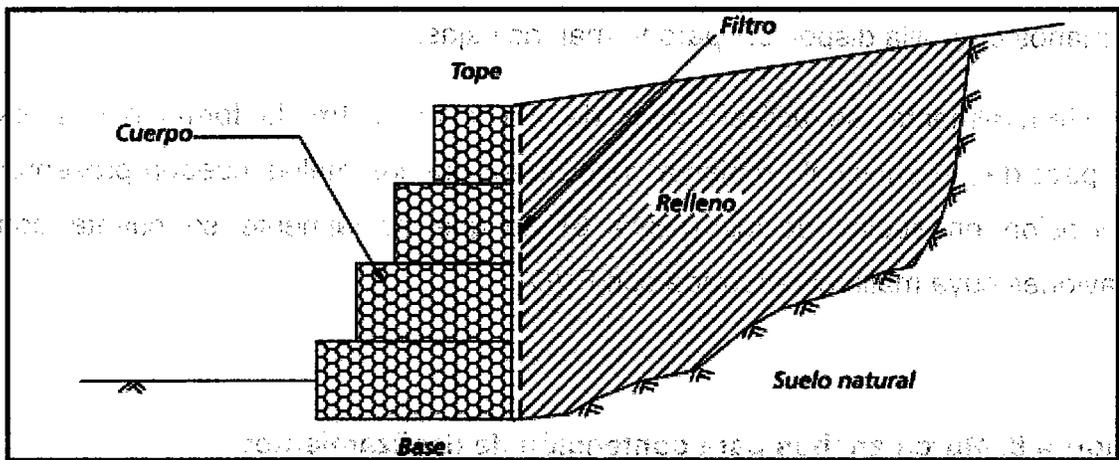
Generalmente, se utilizan cajas de 2m x 1m x 1m. la forma básica es trapezoidal; el principal problema consiste en que las mallas pueden presentar corrosión en suelos ácidos ($\text{pH} < 6$) aunque actualmente se cuenta con gaviones cuya malla esta forrada con PVC.

Figura 8. Muros anchos para contención de deslizamientos



Fuente: Suarez, Jaime. **Deslizamientos - técnicas de remediación**, capítulo 3, página 118.

Figura 7. Esquema de un muro en gaviones convencionales



Fuente: De Almeida Barros, Pêrsio Leister. *Obras de contención*, página 07.

El muro puede flectarse sin necesidad de que ocurra su volcamiento o deslizamiento, y es común encontrar deflexiones hasta el 20% de la altura total.

Algunas de las ventajas de un muro en gaviones son las siguientes:

- Simple de construir y utiliza los cantos y rocas disponibles en el sitio.
- Se puede construir sobre fundaciones débiles.
- Su estructura es flexible, puede tolerar asentamientos diferenciales mayores que otro tipo de muros y es fácil de demoler o reparar.

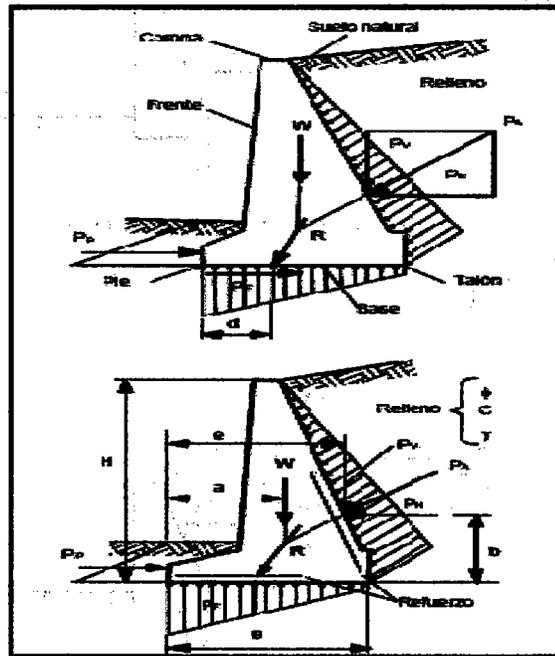
3. DISEÑO DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN

Los muros de contención son estructuras permanentes, las cuales pueden ser de concreto reforzado, ciclópeo, gaviones, elementos prefabricados de concreto, mampostería, tablestacas, muros con llantas, pantallas ancladas o tierra reforzada, los cuales soportan la masa de suelo. El propósito de un muro es resistir las fuerzas ejercidas por la tierra contenida y transmitir esas fuerzas en forma segura a la fundación o a un sitio por fuera de la masa analizada de movimiento (figura 9).

3.1. Criterios para el análisis de estructuras flexibles de contención

Los muros de contención son estructuras permanentes, las cuales pueden ser de concreto reforzado, ciclópeo, gaviones, elementos prefabricados de concreto, mampostería, tablestacas, muros con llantas, pantallas ancladas o tierra reforzada, los cuales soportan la masa de suelo. El propósito de un muro es resistir las fuerzas ejercidas por la tierra contenida y transmitir esas fuerzas en forma segura a la fundación o a un sitio por fuera de la masa analizada de movimiento (figura 9).

Figura 9. Presiones de tierra sobre muros de gravedad y semi-gravedad

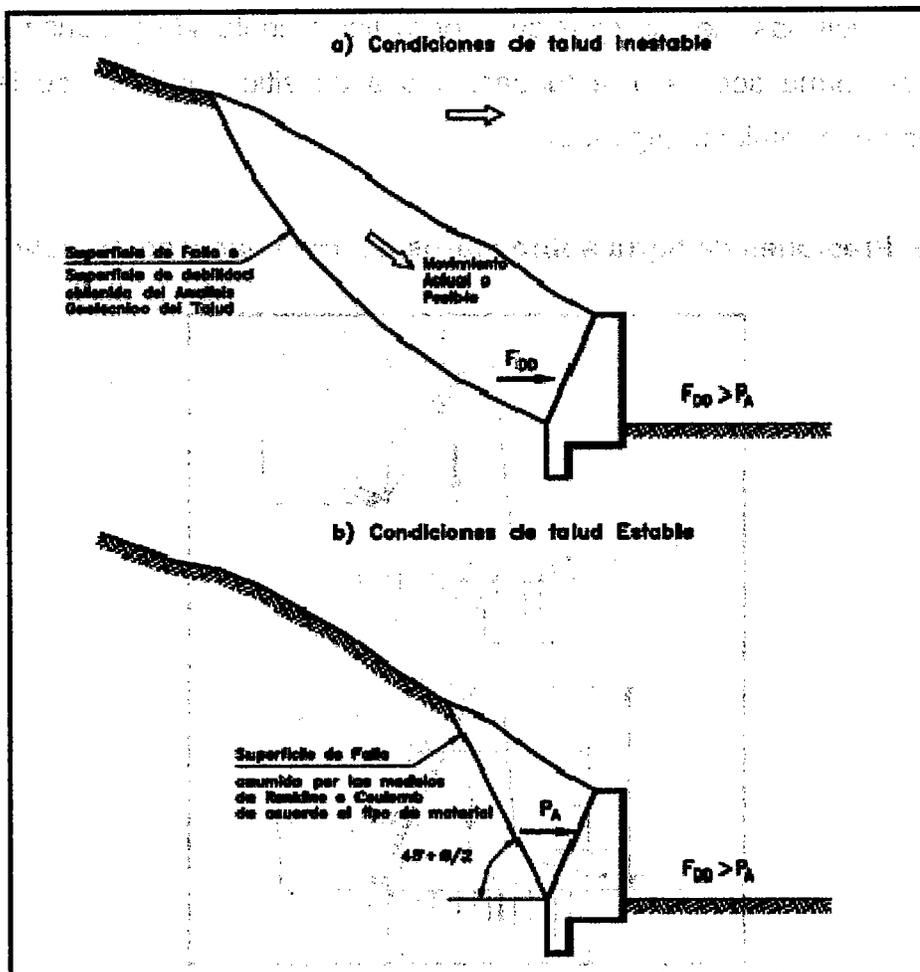


Fuente: Suarez, Jaime. Deslizamientos - técnicas de remediación, capítulo 3, página 134.

3.1.1. Estructuras de contención para estabilizar deslizamientos

Frente a la posible ocurrencia de un deslizamiento o la estabilización de un movimiento activo, la teoría de presión de tierras de Rankine o de Coulomb no representa la realidad de las fuerzas que actúan sobre el muro y generalmente el valor de las fuerzas actuantes es muy superior a las fuerzas activas calculadas por teorías tradicionales (figura 10).

Figura 10. Condiciones de diseño tradicionales para muros de contención.



Fuente: Suarez, Jaime. Deslizamientos - técnicas de remediación, capítulo 3, página 137.

El hecho de que exista un deslizamiento o un factor de seguridad bajo, equivale a que se han generado en el talud deformaciones que producen un aumento muy grande de fuerzas sobre la estructura a diseñar.

En el caso de un deslizamiento de tierra, el muro ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona de anclaje por fuera de la masa susceptible a moverse.

Las deformaciones excesivas o movimientos de la estructura de contención o del suelo a su alrededor, deben evitarse para garantizar su estabilidad; es común que los muros o estructuras de contención fallen en el caso de deslizamientos a pesar de que fueron diseñados de acuerdo a un procedimiento universalmente aceptado.

3.1.1.1. Condiciones que deben cumplir los muros para estabilizar deslizamientos

El uso de estructuras de contención rígidas es, en la mayoría de los casos, un método menos apropiado para estabilizar taludes que los métodos que involucran drenaje y conformación del talud.

Se han reportado muchas fallas de muros en deslizamientos (Baker y Marshall, 1958; Root, 1958). Sin embargo, la tecnología de estructuras de contención ha mejorado mucho en los últimos años y se ha encontrado que si las estructuras son diseñadas correctamente y con base en estudios geotécnicos completos pueden funcionar eficientemente.

En el caso de deslizamientos de traslación el muro puede representar un buen sistema de estabilización siempre que esté cimentado por debajo de posibles o reales superficies de falla y se diseñe para resistir las cargas de desequilibrio adicionadas por un factor de seguridad que se recomienda no sea inferior a 2.0.

Los muros deben diseñarse contra volcamiento y contra deslizamiento lateral, y al mismo tiempo debe comprobarse la estabilidad general del talud, incluyendo el muro, además es importante analizar el efecto de las presiones de agua por la concentración de agua infiltrada detrás del muro.

El diseño del sistema de subdrenaje es uno de los elementos más importantes, especialmente en la estabilización de deslizamientos.

Un diseño adecuado para un muro de contención debe considerar, entre otros, los siguientes aspectos:

- Los componentes estructurales del muro deben ser capaces de resistir los esfuerzos de corte y momentos internos generados por las presiones del suelo y demás cargas.
- El muro debe ser seguro contra un posible volcamiento.
- El muro debe ser seguro contra un desplazamiento lateral.
- Las presiones no deben sobrepasar la capacidad de soporte del piso de fundación.

- Los asentamientos y distorsiones deben limitarse a valores tolerables.
- Debe impedirse la erosión del suelo por debajo y adelante del muro bien sea por la presencia de cuerpos de agua o de la escorrentía de las lluvias.
- Debe eliminarse la posibilidad de presencia de presiones de agua detrás del muro.
- El muro debe ser estable a deslizamientos de todo tipo.

3.2. Estudio geotécnico para el diseño de muros

El estudio geotécnico debe establecer si el sitio tiene las condiciones de estabilidad suficientes para el tipo de estructura de contención considerada en el diseño, incluyendo estabilidad general, aptitud de la fundación y de los materiales para el relleno. Un diseño preliminar del muro es en ocasiones útil para identificar los parámetros que se requiere conocer en el estudio geotécnico.

La investigación debe identificar las condiciones específicas de drenaje subterráneo y superficial en la vecindad del sitio y la manera como éste cambia con el tiempo, por ejemplo en el momento de una lluvia fuerte. En algunos casos de estructuras de contención utilizando elementos metálicos como las tablestacas o gaviones, deben analizarse las características químicas del agua, por ejemplo salinidad, contenido de sulfatos y PH.

3.2.1. Parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos deben ser representativos de las condiciones reales del suelo o roca en el sitio y para que esto ocurra se debe haber realizado una investigación geotécnica completa.

Para muros de altura menor de tres metros es usual el seleccionar parámetros para el relleno y para el suelo de cimentación sobre las bases de resultados previos en materiales similares. Los materiales deben ser examinados cuidadosamente y descritos, especialmente aquel sobre los cuales se plantea cimentar el muro; se deben realizar ensayos de clasificación y otras propiedades de los materiales para comprobar que los parámetros asumidos son consistentes con los tipos de material encontrado.

Para estructuras de alturas mayores a seis metros, los parámetros geotécnicos deben ser determinados en ensayos de laboratorio de muestras tomadas en el sitio, adicionalmente a la descripción detallada de los materiales.

Para muros de altura intermedia la necesidad de los ensayos de laboratorio depende de la importancia del muro.

Se deben realizar ensayos suficientes para que los resultados sean representativos de la variación de las propiedades de los materiales. En lo posible se deben evitar las relaciones empíricas, aunque en algunas ocasiones para diseños preliminares éstas son una herramienta adecuada.

Los diseñadores deben mirar siempre con ojo crítico las descripciones de los estudios geotécnicos, porque en ocasiones la descripción no corresponde a la realidad en el campo.

• Cuando se tenga duda el diseñador debe examinar directamente las muestras o consultar a las personas que realizaron la investigación; existe además una tendencia a sobre-estimar la resistencia del suelo y esto ha tenido como resultado una gran cantidad de fallas en las estructuras de contención de gravedad.

• Los errores en el muestreo pueden afectar la representatividad de los resultados, por ejemplo, como es difícil ensayar los materiales blandos o quebradizos, generalmente las muestras se preparan con los bloques más fuertes de material y los resultados dan valores de resistencia mayores a los reales, el mismo problema, pero en sentido inverso ocurre cuando las muestras tienen proporción importante de grava o cantos y generalmente se ensayan los bloques que tienen muy pocas o ninguna partícula gruesa, dando valores de resistencia menores que el promedio contenido en el suelo del sitio.

En ocasiones las muestras compactadas se ensayan a densidades diferentes a las que realmente van a tener en el campo, siempre que sea posible, los parámetros a utilizar deben ser comparados con los conocidos de los materiales del área y examinar el por qué de las desviaciones con referencia a los valores previamente conocidos.

3.2.1.1. Resistencia del suelo

Cada parámetro a utilizar debe analizarse cuidadosamente con relación al comportamiento del muro durante la construcción y durante su vida útil, muchos parámetros geotécnicos no son constantes por ejemplo, los parámetros de resistencia al cortante. Puede ser necesario seleccionar un grupo de parámetros para los diferentes estados límites y situaciones de diseño.

Pueden requerirse diferentes valores de resistencia cuando se está analizando la falla potencial al cortante en un suelo que contiene juntas o fracturas heredadas, dependiendo de si la superficie de falla detrás del muro sigue las juntas o el material intacto; también deben seleccionarse valores límite altos y bajos para el cálculo de las cargas y las resistencias.

Los parámetros seleccionados deben basarse teniendo en cuenta factores tales como calidad del estudio geotécnico, métodos de ensayo, variabilidad de los materiales, efectos de la actividad de la construcción, efecto del tiempo, etc., (tablas II y III).

Algunos parámetros afectan considerablemente el diseño y el diseñador debe tener especial cuidado en comprobar la confiabilidad de los parámetros seleccionados, en el caso de que no haya confianza completa deben utilizarse valores razonablemente conservativos.

Para el diseño de estructuras de contención para la estabilización de deslizamientos, es esencial que los parámetros de resistencia correspondan a las propiedades reales de los materiales, en el estado en que se encuentran.

Para que se generen presiones activas se requieren movimientos de la estructura, y al deformarse el suelo la resistencia de los suelos disminuye, por esta razón en suelos frágiles o sensitivos, se recomienda utilizar los parámetros de resistencia residual.

Tabla II. Valores típicos de parámetros geotécnicos en suelos compactados

Suelo	Peso unitario (kN/m ³)	Peso unitario seco (kN/m ³)	Angulo de fricción ϕ'	cohesión c' (kPa)	Permeabilidad K(m/s)
Granito completamente descompuesto	19 - 21	15 - 19	38° - 42°	0 - 5	10E-6 - 10E-7
Roca volcánica completamente descompuesta	18 - 21	15 - 19	35° - 38°	0 - 5	10E-6 - 10E-8
Roca triturada o aluviones limpios	18 - 21	18 - 21	45° - 50°	0	10E-2 - 10E-4
Materiales arcillosos	15 - 18	13 - 16	20° - 30°	5 - 10	10E-6 - 10E-9
Materiales areno - arcillosos	19 - 21	15 - 19	38° - 42°	0 - 8	10E-5 - 10E-7
Suelos aluviales areno - arcillosos	15 - 21	13 - 19	26° - 40°	0 - 10	10E-3 - 10E-7

1 kN (kilonewton) = 101.97 kg

1 kp = 101.97 kgf/m²

Fuente: Suarez, Jaime. **Deslizamientos - técnicas de remediación**, capítulo 3, página 139.

Tabla III. Valores típicos de parámetros geotécnicos en suelos *in situ*

Suelo	Peso unitario (kN/m ³)	Peso unitario seco (kN/m ³)	Angulo de fricción ϕ'	cohesión c' (kPa)	Permeabilidad K(m/s)
Granito completamente descompuesto	16 - 21	14 - 19	35° - 44°	5 - 10	10E-5 - 10E-7
Materiales volcánicos descompuestos	16 - 21	14 - 19	32° - 38°	5 - 10	10E-5 - 10E-7
Coluviones (matriz)	15 - 21	13 - 19	26° - 40°	0 - 10	10E-4 - 10E-7
Suelos Areno - arcillosos	16 - 21	14 - 19	30° - 40°	5 - 15	10E-4 - 10E-7
Suelos arcillosos	15 - 18	13 - 16	20° - 28°	5 - 10	10E-6 - 10E-9

1 kN (kilonewton) = 101.97 kg

1 kp = 101.97 kgf/m²

Fuente: Suarez, Jaime. **Deslizamientos - técnicas de remediación**, capítulo 3, página 139.

3.2.1.2. Determinación de los parámetros

El ensayo de laboratorio más utilizado es el de corte directo. Igualmente, se pueden emplear ensayos triaxiales drenados, o ensayos "*in situ*", de los ensayos de campo los más comunes son los de penetración estándar (SPT) y de penetración estática (CPT), el valor de los parámetros de resistencia varía el resultado de acuerdo al tipo de ensayo.

Debe tenerse cuidado especial al seleccionar parámetros con base en ensayos de penetración estándar, o métodos geofísicos, debido a que son ensayos indirectos que no determinan con precisión la resistencia de los suelos, igualmente, la suposición de parámetros con base en tablas involucra incertidumbres en los resultados.

Las propiedades para suelos compactados deben determinarse a partir de muestras de ensayos de compactación en el campo o en su defecto por los correspondientes en el laboratorio.

Para ensayos sobre suelos naturales deben tomarse muestras inalteradas y en algunos casos deben realizarse en el sitio para evitar alteración en la toma de muestra.

3.3. Factores a tener en cuenta para el diseño

Una estructura de contención y cada parte de ésta, requiere cumplir ciertas condiciones fundamentales de estabilidad, rigidez o flexibilidad, durabilidad, etc, durante la construcción y a lo largo de su vida útil, en muchos casos se requiere plantear alternativas para cumplir con las necesidades de un proyecto específico; estas alternativas pueden requerir de análisis y cálculos adicionales de interacción suelo – estructura; en todos los casos el diseño debe ser examinado de una manera crítica a la luz de la experiencia local.

Cuando una estructura de contención no satisface cualquiera de sus criterios de comportamiento, se puede considerar que ha alcanzado el “estado límite”; durante el período de diseño se debe discutir, en toda su extensión, todo el rango posible de estados límite.

Algunos de los criterios se indican a continuación:

- **Estado límite último:** Es el estado en el cual se puede formar un mecanismo de falla, bien sea en el suelo o en la estructura (inclinación o fractura). Para simplicidad en el diseño debe estudiarse el estado inmediatamente anterior a la falla y no el colapso total del muro.
- **Estado límite de servicio:** Es el estado en el cual no se cumple un criterio específico de servicio, los estados límites de servicio deben incluir los movimientos o esfuerzos que hagan ver una estructura deformada o “fea”, que sea difícil de mantener o que se disminuya su vida útil esperada; también se debe tener en cuenta su efecto sobre estructuras adyacentes o redes de servicios.

El diseño debe evitar que pueda ocurrir falla súbita o rotura sin que hayan ocurrido previamente deformaciones que indiquen que puede ocurrir una falla.

Se recomienda, en todos los casos, que las estructuras de contención tengan suficiente “ductilidad” cuando se acerquen a una falla. Las estructuras flexibles son mucho más durables en el caso de deformaciones importantes.

3.3.1. Durabilidad y mantenimiento

Una durabilidad inadecuada puede generar un costo muy alto de mantenimiento o ser causa de que la estructura de contención alcance muy rápidamente su estado límite de servicio o su estado límite último, por lo tanto, la durabilidad del muro y la vía de diseño, junto con los requisitos de mantenimiento, deben ser consideradas en el diseño.

Deben seleccionarse adecuadamente las especificaciones de los materiales de construcción, teniendo en cuenta el clima local, y el ambiente del sitio donde se plantea colocar la estructura, por ejemplo, el concreto, el acero y la madera se deterioran en forma diferente de acuerdo a las circunstancias del medio ambiente reinante.

3.3.2. Estética

Las estructuras de contención pueden ser un detalle dominante de un paisaje urbano o rural y debe realizarse un diseño adecuado para mejorar en lo posible su apariencia, sin que esto lleve a incrementos significativos en su costo.

Además de satisfacer los requerimientos de funcionalidad, la estructura de contención debe integrarse adecuadamente con el ambiente a su alrededor para complacer las necesidades estéticas del paisaje.

Los aspectos que son importantes con referencia a su impacto estético son:

- **Altura e inclinación de su cara exterior**
- **Curvatura en planta.** En ocasiones los muros son diseñados con un criterio de muro “ordinario”, cuando con el mismo costo se podría haber construido un muro “elegante”.
- **Gradiente y conformación de la superficie del terreno aledaño, la cobertura vegetal debe ser un compañero constante de la estructura de contención.**

- **Textura de la superficie de la cara frontal, la expresión y posición de las juntas verticales y horizontales de construcción.**
- **La corona de la estructura, todo muro debería llevar un detalle arquitectónico en su corona que sea agradable a la vista.**

La mejora del aspecto estético puede lograrse a través de una formaleta adecuada, en ocasiones, diversos tipos de vegetación pueden incorporarse a la estructura para mejorar su apariencia, pero debe tenerse en cuenta que estas plantas no causen un daño al muro a largo plazo; se debe buscar el consejo de un arquitecto paisajista para lograr efectos especiales.

3.3.3. Cargas a tener en cuenta en el análisis

Para cada situación de diseño deben obtenerse las cargas concentradas o distribuidas que pueden afectar la estructura de contención tales como peso del suelo, la roca y el agua, presiones de tierra, presiones estáticas de agua, presiones dinámicas del agua, sobrecarga y cargas sísmicas.

Adicionalmente deben determinarse las cargas relacionadas con factores geológicos tales como la reptación del talud, la disolución de la roca, el colapso de cavernas; y de las actividades del hombre como excavaciones y uso de explosivos en sitios cercanos, así como el efecto de temperatura en áreas industriales y fundaciones de máquinas.

Algunas veces es necesario analizar las diversas combinaciones posibles de cargas y diseñar para la condición más crítica; para determinar las cargas debe tenerse una información muy clara de la geometría del talud, la geometría del modelo geológico y los niveles de excavación, así como los parámetros geotécnicos tales como peso unitario, resistencia al corte, permeabilidad, esfuerzos en el sitio, parámetros de deformación de la roca y el suelo.

3.3.4. Factores de seguridad

La calidad de un diseño depende no solamente del factor de seguridad asumido sino también del método de análisis, los modelos de cálculo, el modelo geológico, los parámetros geotécnicos y la forma como se definen los factores de seguridad; por lo tanto, los factores de seguridad por sí solos no representan una garantía para la estabilidad de la estructura de contención.

Debe observarse que los factores de seguridad no cubren los errores, el incumplimiento de las especificaciones de construcción, equivocaciones en el cálculo de las cargas, la utilización del método de análisis equivocado, las diferencias de la resistencia de los materiales en el laboratorio y en el campo y el nivel de supervisión (tabla IV).

Tabla IV. Factores de seguridad mínimos en las cargas para el diseño suponiendo estado límite último

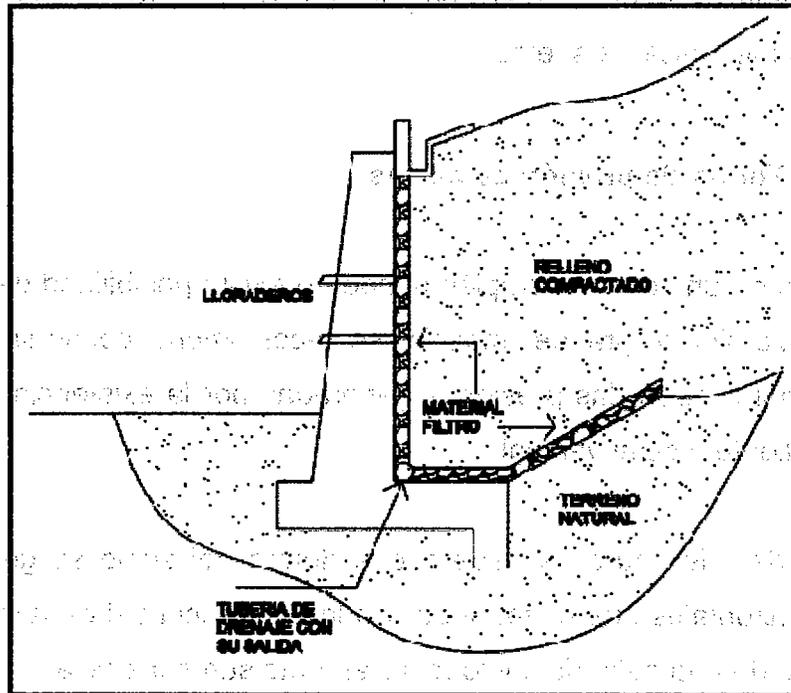
Carga	Factor de seguridad mínimo recomendado
Carga muerta debida al peso del muro	1.0
Carga muerta debida al peso del suelo	1.0
Sobrecarga	1.0
Carga sísmica	1.0
Carga de agua	1.0
Peso unitario	1.0
Angulo de fricción en la base δ	1.2
Resistencia al cortante drenada $c' - \phi'$	1.2
Resistencia al cortante no drenada $c - \phi$	2.0
Permeabilidad del suelo	1.0
Permeabilidad de filtros y drenajes	10.0
Resistencia a la compresión de la roca	2.0
Peso unitario del agua	1.0
Pesos unitarios (concretos, aceros, etc.)	1.0
Resistencia de la estructura	Los indicados en la normas de diseño para cada tipo de estructura

Fuente: Suarez, Jaime. **Deslizamientos - técnicas de remediación**, capítulo 3, página 146.

3.3.5. Subdrenajes

Con excepción de los muros diseñados para resistir presiones de agua tales como las paredes de sótanos de edificios, es una buena práctica de ingeniería construir subdrenes detrás de todo tipo de muros (figura 11).

Figura 11. Esquema típico de un muro de concreto reforzado con su sistema de subdrenaje



Fuente: Suarez, Jaime. **Deslizamientos - técnicas de remediación**, capítulo 3, página 146.

El sistema de drenaje debe diseñarse en tal forma que se anticipe a capturar el agua antes de que afecte el muro; adicionalmente a los subdrenes deben colocarse huecos de drenaje para prevenir la presión hidrostática, los cuales son normalmente de diámetro de 2 a 3 pulgadas espaciados no más de 1.5 metros horizontalmente y 1.0 metro verticalmente; las columnas deben intercalarse; los lloradores deben colocarse desde una altura baja mínima de 30 centímetros por encima del nivel del pie del muro.

Como guía general, el material de drenaje debe tener una permeabilidad al menos 100 veces mayor que la del suelo o roca a drenarse; para garantizar su efectividad el material de filtro debe ser grueso y granular.

El espesor de las capas de drenaje generalmente es determinado por criterios de construcción más que por capacidad de drenaje, se pueden utilizar drenes en geotextil o materiales compuestos, de acuerdo a los criterios de diseños de la mecánica de suelos.

3.3.6. Teoría de presión de tierras

En el caso de un corte o terraplén donde no existe posibilidad de ocurrencia de un deslizamiento grande masivo se acostumbra construir muros de contención, para resistir las presiones generadas por la existencia de un talud de gran pendiente o semi-vertical.

La necesidad del muro se debe a que dentro del suelo se generan unas presiones horizontales que puede inducir a la ocurrencia del derrumbamiento o deslizamiento de una cuña de suelo relativamente sub-superficial.

La presión lateral que actúa sobre un muro en condiciones de talud estable son una función de los materiales y las sobrecargas que la estructura soportan, el nivel de agua freática, las condiciones de cimentación y el modo y magnitud del movimiento relativo del muro.

Los esfuerzos que actúan sobre un elemento de suelo dentro de una masa pueden ser representados gráficamente por el sistema de Mohr, en el cual el estado de esfuerzo es indicado por un círculo y las combinaciones críticas del diagrama de Mohr representan la envolvente de falla; en general la envolvente de falla es curvilínea pero para minimizar los esfuerzos de cálculo se supone aproximada a una línea recta.

Existen tres tipos de presión de acuerdo a las características de deformación supuestas en la interacción suelo-estructura: (figuras 12 a14)

• **Presión en Reposo (K_0)**

- Presión Activa (P_a)
- Presión Pasiva (P_p)

3.3.6.1. Presión en reposo

La presión en reposo se supone que ocurre cuando el suelo no se ha movido detrás del muro y se le ha prevenido de expandirse o contraerse, por ejemplo un muro de concreto armado rígido o un muro rígido detrás del cual se ha colocado un relleno compactado.

Según Rankine la presión en reposo está dada por:

$$K_0 = 1 - \text{sen } \phi' \text{ para } \beta = 0$$

y si sostiene masa de tierra

$$K_0 = (1 - \text{sen } \phi')(1 + \text{sen } \beta)$$

Donde:

ϕ' = Ángulo de fricción interna (Tablas II y III)

β = Ángulo de la pendiente arriba del muro

3.3.6.2. Presión activa

La presión activa es la presión lateral ejercida por el suelo detrás de la estructura cuando la pared se mueve suficientemente hacia fuera para alcanzar un valor mínimo.

Según Rankine la presión activa está dada por:

$$P_a = \gamma \times H \times K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \text{ para } \beta = 0$$

Y si sostiene masa de tierra

$$K_p = \cos\beta \left[\frac{\cos\beta - \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi')}}{\cos\beta + \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi')}} \right]$$

Donde:

ϕ = Ángulo de fricción interna (tablas II y III)

c = Cohesión (tablas II y III)

γ = Peso unitario del material de relleno

β = Ángulo de la pendiente arriba del muro

3.3.6.3. Presión pasiva

La presión pasiva es la presión lateral ejercida sobre la pared cuando el muro se mueve suficientemente hacia el suelo hasta que la presión alcanza un valor máximo.

Según Rankine la presión pasiva está dada por:

$$P_p = \gamma \times H \times K_p - 2c\sqrt{K_p}$$

$$K_p = \cos\beta \left[\cos\beta + \frac{\sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi')}}{\cos\beta - \sqrt{(\cos^2\beta - \cos^2\phi')}}} \right]$$

Donde:

ϕ = Ángulo de fricción interna (tablas II y III)

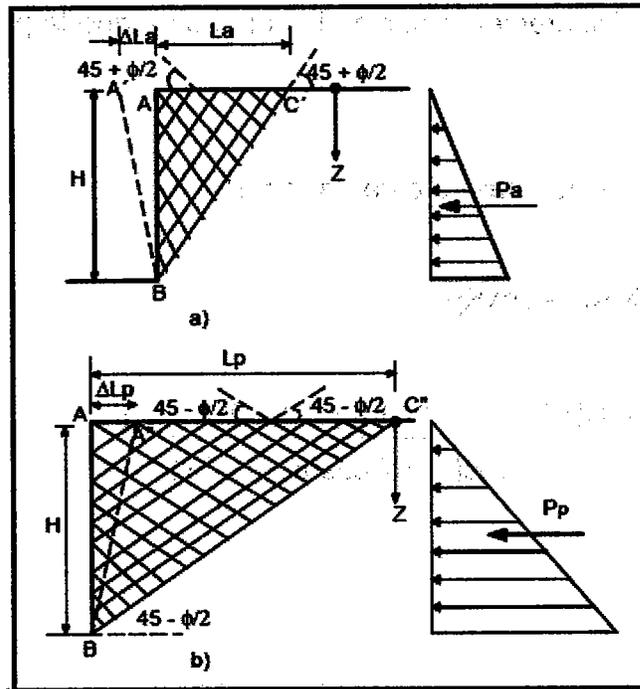
c = Cohesión (tablas II y III)

γ = Peso unitario del material de relleno

β = Ángulo de la pendiente arriba del muro

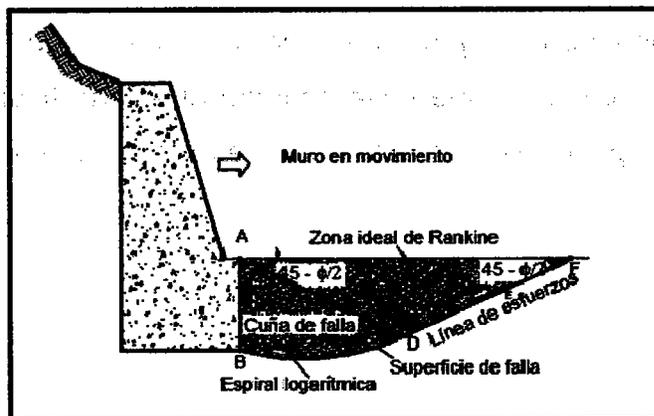
Una condición especial de equilibrio es el estado de reposo en el cual el suelo no ha soportado ninguna deformación lateral, dependiendo en la magnitud de la deformación que haya ocurrido el estado final de esfuerzo, la presión de reposo puede ser un valor intermedio entre la presión pasiva y la presión activa.

Figura 12. Esquema de la formación de las presiones de tierra. (a) Presión activa. (b) Presión pasiva



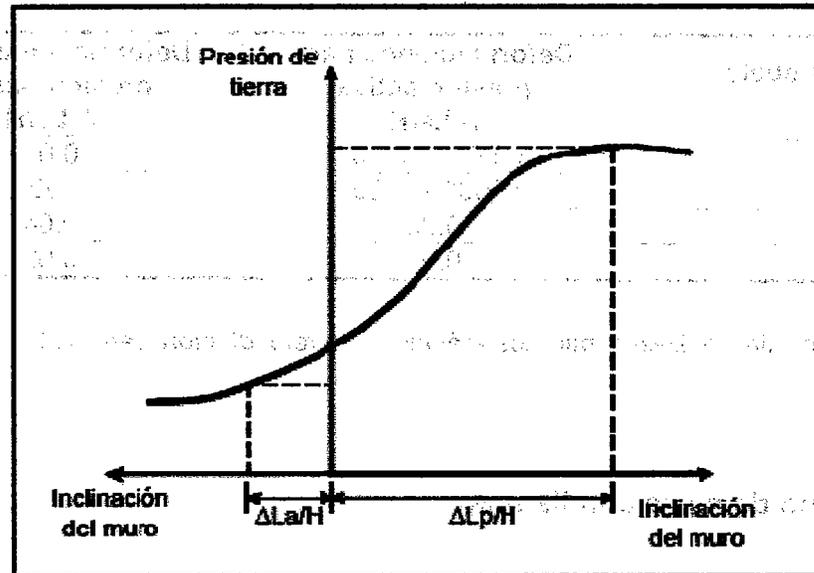
Fuente: Suarez, Jaime. Deslizamientos - técnicas de remediación, capítulo 3, página 146

Figura 13. Las cuñas de falla por presión pasiva, de acuerdo a lo propuesto por Terzaghi, (1941)



Fuente: Suarez, Jaime. Deslizamientos - técnicas de remediación, capítulo 3, página 123.

Figura 14. Variación de la presión de tierras con el movimiento del muro



○ Fuente: Suarez, Jaime: **Deslizamientos - técnicas de remediación**, capítulo 3, página 124.

De acuerdo a las condiciones de carga y deformación se puede presentar el caso de presión activa, pasiva o de reposo como se ve en la tabla V, dependiendo de la magnitud de la deformación que haya ocurrido en el estado final de esfuerzo. La presión en reposo puede ser un valor intermedio entre la presión pasiva y la presión activa.

Siempre se debe tener en cuenta que para muros, las condiciones de suelos iniciales en la tierra generalmente, se modifican durante el proceso de instalación o construcción de la estructura, y una presión activa se puede convertir en presión de reposo y viceversa.

Tabla V. Deformaciones que se requieren para que se presente presión activa o presión pasiva

Tipo de suelo	Deformaciones para presión activa $\Delta L_a/H$	Deformaciones para presión pasiva $\Delta L_p/H$
Arena suelta	0.001 – 0.002	0.01
Arena densa	0.0005 – 0.001	0.005
Arcilla blanda	0.02	0.04
Arcilla dura	0.01	0.02

Fuente: Suarez, Jaime. **Deslizamientos - técnicas de remediación**, capítulo 3, página 123.

3.4. Diseño de muro con llantas

Generalmente, el análisis interno de los muros con llantas es el de un muro de tierra reforzada; tanto los elementos de anclaje como los de retención superficial del suelo son construidos con llantas, varias de las llantas en la superficie del talud son conectadas por medio de sogas de acuerdo a una determinada distribución.

Como las llantas en la superficie están conectadas a las llantas de anclaje, se generan una fuerza de acción en la soga que las conecta, si este refuerzo es lo suficientemente fuerte para no fallar la tensión y la resistencia de la extracción de la llanta es mayor que la fuerza de fricción, entonces la estructura permanecerá estable.

Los muros de llantas deben contener sistemas de drenaje en forma similar a los muros de tierra reforzada, aunque este sistema por su eficiencia y economía podrán colocarse tubería PVC para extraer excesos de agua en el relleno estructural.

Como se aprecia en la tabla I, no existen procedimientos confiables de diseño debido a la diversidad de llantas producidas con distintas características, aunque se presenta como una alternativa que combina la eficiencia mecánica de la llanta y el bajo costo de aplicación cuando se compara con las técnicas convencionales para la estabilización de taludes ya que este tipo de estructura se destina a resistir el empuje de la tierra y su estabilidad frente al deslizamiento y el vuelco está garantizada por su propio peso.

Las características y propiedades que se establecen para la ejecución de este sistema constructivo tienen cierta similitud al de los muros de tierra reforzada con geotextil con lo cual se podrá determinar las dimensiones geométricas, condiciones de carga, perfil estratigráfico del suelo de fundación, establecer las propiedades geotécnicas del suelo que se utilizará para la conformación del terraplén entre otras.

En los anexos "A" y "B" se detallan algunos resultados de ensayos realizados a este sistema constructivo, los cuales garantizan su correcto funcionamiento dados los resultados obtenidos en dichas pruebas experimentales, a su vez en el apéndice "B" se presentan los proyectos ejecutados en Guatemala detallando longitud, altura y año de ejecución.

3.5. Diseño de muros en gaviones

El diseño de un muro en gaviones consta de los siguientes elementos:

3.5.1. Diseño de la masa del muro para estabilidad

La metodología de diseño es muy similar a las utilizadas para el diseño de muros convencionales de gravedad, no existe un sistema de diseño universalmente aceptado para muros en gaviones y debe tenerse en cuenta que la gran deformación del muro puede generar una falla interna debida a su propia flexibilidad.

Las deformaciones internas pueden ser de tal magnitud que el muro no cumpla con el objetivo para el cual fue diseñado, y no actúe como estructura de contención.

En el diseño debe tenerse en cuenta que para evitar deformaciones excesivas relativas, el muro debe proporcionarse en tal forma que la fuerza resultante actúe en el tercio medio de la sección volumétrica del muro.

El ángulo movilizado de fricción δ utilizado en el diseño no debe exceder $\phi'/2$ donde: ϕ' es el ángulo de fricción interna del relleno compactado detrás del muro. En el caso de que el muro se cimiente sobre suelos compresibles δ es igual a cero.

3.5.2. Diseño interno de la estructura del gavión

El gavión debe tener un volumen o sección tal que internamente no se pueda producir su falla o rotura a lo largo de cualquier plano, es importante analizar la estabilidad del muro independientemente nivel por nivel, suponiendo en cada uno de los niveles que el muro es una estructura de gravedad apoyada directamente sobre las unidades de gavión inmediatamente debajo de la sección considerada.

3.5.2.1. Especificaciones de los elementos internos

Tipo de malla, calibre del alambre, tamaño de las unidades, tipo y número de uniones, y calidad del galvanizado, tamaño y forma de los cantos.

Se debe diseñar unión por unión la cantidad de alambre de amarre entre unidades. Se debe definir si la malla es de triple torsión, electrosoldada o eslabonada y el calibre de alambre de la malla, la escuadría del tejido de la malla, el peso de zinc por metro cuadrado de superficie de alambre, el tipo de uniones entre unidades, etc.

Es importante que en el diseño se incluya un dibujo de la forma como se amarran las unidades entre sí, para facilitar su construcción en forma adecuada.

El tamaño máximo de los cantos debe ser superior a dos veces el ancho máximo de la escuadría de la malla. Generalmente, se utilizan cantos de diámetro entre 15 y 30 centímetros.

3.5.2.2. Despiece de las unidades de gavión por nivel

Se debe diseñar el traslape entre unidades para darle rigidez al muro, es importante dibujar planos de cada uno de los niveles del muro en gaviones para facilitar su construcción de acuerdo al diseño.

3.5.3. Sistema de filtro

En el contacto entre el suelo y el gavión se recomienda colocar un geotextil no tejido como elemento de filtro y en la cimentación del muro se recomienda construir un dren colector para recoger el agua recolectada por el muro.

Debe tenerse en cuenta que el muro en gaviones es una estructura permeable, la cual permite la infiltración de prácticamente el 100% de la lluvia y la escorrentía que pase por encima del muro.

3.5.4. Detalles especiales

Las canastas de gavión se colocan unas sobre otras tratando de traslapar lo mejor posible las unidades para darle cierta rigidez requerida por el muro, para muros muy anchos con secciones superiores a cuatro metros, se puede realizar cierta economía adoptando una forma celular de construcción, lo cual equivale a eliminar algunas de las cajas interiores donde los espacios se rellenan con roca sin la colocación de canastas de malla.

4. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

4.1. Análisis estructural de las llantas de desecho

La composición de una llanta es principalmente por caucho (natural y sintético), un encordado de acero y fibra textil, como se muestra en la tabla VI, los elementos químicos que componen una llanta se muestran en la tabla VII.

Tabla VI. Composición química de una llanta

Material de la llanta	Llanta de autos	Llanta de camiones y microbuses
Caucho natural	14%	27%
Caucho sintético	27%	14%
Negro de humo (Carbono)	28%	28%
Acero	14 - 15 %	14 - 15 %
Otros aditivos	16 - 17 %	16 - 17 %
Peso promedio (óxidos, etc.)	8,6 Kg	45,4 Kg

Fuente: Carranza, Jaime Domingo y otros. Guía práctica sobre re-uso de llantas para municipalidades, página 2.

Tabla VII. Elementos químicos que componen una llanta

Elemento o Compuesto	Porcentaje %
Carbono (C)	70
Hidrogeno (H)	7
Azufre (S)	1,3
Cloro (CL)	0,2 - 0,6
Hierro (Fe)	15
Oxido de Zinc (No)	2
Dióxido de silicio (SiO ₂)	5
Cromo (Cr)	97 ppm
Niquel (Ni)	77 ppm
Plomo (Pb)	60 - 760 ppm
Cadmio (Cd)	5 - 10 ppm
Talio (TI)	0,2 - 0,3 ppm

Fuente: Carranza, Jaime Domingo y otros. **Guía práctica sobre re-uso de llantas para municipalidades**, página 2.

4.1.1. Materia prima para la elaboración de llantas

- **Compuestos de hule:** Los componentes de hule deben ser diseñados según la función que van a cumplir, es decir, para la banda de rodamiento serán resistentes al calor, flexión desgaste, cortadas etc., para las paredes resistentes a la flexión, al calor, a la adhesividad y para las cejas deberán ser muy duros.
- **Materiales textiles:** son los que soportan los golpes el aire el calor etc., y para su mejor funcionamiento se recubren con hule, formando capas de llanta, cuyo número se diseñará según la resistencia de esta, las capas por su naturaleza podrán ser de nylon, poliéster, rayón etc.

- **Alambre de acero:** principalmente en la caja, para dar la firmeza necesaria a la llanta al montarla en el *ring*, así como, servir de sostén a las capas de las llantas.

4.2. Análisis estructural de la malla en los gaviones

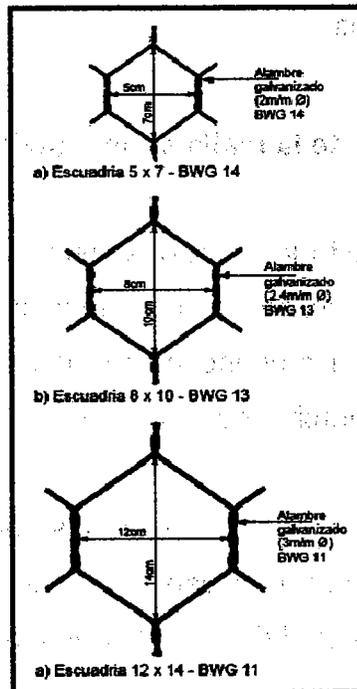
La malla hexagonal ha sido tradicionalmente utilizada en todo el mundo, estas tienen la forma de un hexágono; las dimensiones de la malla se indican por su escuadría, la cual incluye el ancho entre los dos entorchados paralelos y la altura o distancia entre entorchados colineales.

Los gruesos del alambre varían según las dimensiones de las mallas aumentando proporcionalmente con estas. Para este tipo de gaviones se emplean generalmente calibres del 12 al 15 y dimensiones de 12 x 14 y 8 x 10 centímetros (figura 15).

La malla hexagonal de los gaviones de triple torsión permite el tolerar esfuerzos en varias direcciones, sin que se produzca la rotura, conservando una flexibilidad para movimientos en cualquier dirección.

En el caso de romperse la malla en un punto determinado esta no se deshilará, como ocurre con la malla eslabonada. Sin embargo, la presencia de esfuerzos en las dos direcciones que concluyen en los entorchamientos ha sido mencionada como el principal defecto con respecto a otros tipos de malla.

Figura 15. Escuadrías típicas de mallas hexagonales



Fuente: Suarez, Jaime. Control de erosión en zonas tropicales, página 233.

El máximo esfuerzo que el anclaje puede garantizar es:

$$T_a = 2 A \sigma_n * \tan \phi$$

Donde:

T_a = Máximo esfuerzo de anclaje

A = Área resistente del esfuerzo por unidad de longitud

σ_n = Compresión sobre el refuerzo

ϕ = Ángulo de fricción interna del suelo que constituye el relleno estructural.

Los análisis realizados comprueban la hipótesis de traba de las partículas del suelo que están entre los alambres de la malla, comprobándose por lo tanto un aumento de la resistencia.

El elemento determinante para la evaluación de la resistencia y del poder de anclaje de la malla es el ángulo de fricción interna del suelo, el cual se aconseja que no sea inferior a los valores mínimos de 28° a 30°. La presencia de un alambre con alma de acero y el tipo especial de PVC utilizado, confieren una excelente resistencia a las llamas, contrariamente a lo que sucede con otros productos sintéticos, que se destruyen completamente en caso de incendios; el recubrimiento del alambre por el PVC, impide la conductibilidad eléctrica, proveyendo la seguridad necesaria contra los fenómenos de corrosión provocados por las corrientes galvánicas.

4.3. Materiales

4.3.1. Alambre para amarre de llantas y gaviones

4.3.1.1. Alambre galvanizado para llantas

El alambre para amarre entre llantas será galvanizado reforzado de 2.40 mm de diámetro, y se tendrá que proveer junto con las llantas una cantidad suficiente para la construcción de la obra.

La longitud de amarre estimada para una posición ortorrómbica de llantas es de 1.50 metros por cada amarre a una vuelta y de 2.50 metros a dos vueltas, se recomienda utilizar dos vueltas hasta una altura de $H / 3$ para proveer más rigidez al muro.

Se admite una tolerancia de $\pm 2.5\%$ sobre el diámetro del alambre; debido a que este tipo de estructura flexible tiende a tener una admisible deformación.

4.3.1.2. Alambre galvanizado para gaviones

El alambre para cosidos y atirantados será galvanizado reforzado de 2.40 mm de diámetro, y se tendrá que proveer junto con los gaviones una cantidad suficiente para la construcción de la obra.

La cantidad estimada de alambre es de 8% para los gaviones de 1.0 m de altura, y de 6% para los de 0.5 m con relación al peso de los gaviones suministrados.

Se admite una tolerancia de $\pm 2.5\%$ sobre el diámetro del alambre; en consecuencia el peso del gavión está sujeto a una tolerancia de $\pm 5\%$ (que corresponde a una tolerancia menor del 2.5% referido del diámetro del alambre).

4.3.2. Soga de polipropileno

Soga trenzada firmemente en forma de diamante, sus cabos de multifilamento ofrecen la misma resistencia que el tipo sólido trenzado, las hebras de polipropileno son livianas en peso y flotan, por lo que ofrecen casi igual resistencia que el nylon.

Principales características:

- **Alta resistencia a la tracción**
- **Bajo peso específico, lo que implica alto rendimiento por Kg.**
- **Baja absorción de humedad**
- **Baja elongación en condiciones de trabajo normales**
- **Alta elongación en condiciones de trabajo extrema, muy útil para situaciones de emergencia**
- **No se pudre**
- **Excelente resistencia al roce y la abrasión**
- **Flexible en todas las condiciones de trabajo**
- **Flota en el agua.**

4.3.3. Material de relleno estructural

El relleno interno de la dona de la llanta deberá realizarse con materiales de características similares al del relleno posterior de la estructura flexible de contención.

Normalmente, los materiales usados en la preparación de taludes reforzados son de tendencia granular, aunque en varios casos se han hecho muros con materiales que tienen más del 50% de suelo fino.

El uso de altos porcentajes de suelo fino como material de relleno depende de la tolerancia a la deformación que se le permita, también la plasticidad que este suelo presenta juega un papel muy importante, pues es un parámetro que indica la facilidad de manipulación que pueda tener el suelo en el proceso de compactación necesario en la conformación.

4.3.4. Material para relleno de gaviones

En el caso de los materiales para relleno, la tabla VIII muestra los diferentes tipos de materiales y sus pesos, admitiendo una tolerancia de 40% de espacios vacíos.

Tabla VIII. Diferentes tipos de materiales de relleno para gaviones

Material de relleno	Peso (Lb / pie ³)	Peso (Kg / m ³)
Basalto	103.00	1,650.00
Concreto roto	84.00	1,340.00
Granito	100.00	1,600.00
Caliza	90.00	1,440.00
Arenisca	87.00	1,390.00
Ripio	94.00	1,500.00

Fuente: Morales, Axel O., Trabajo de graduación de Ingeniería civil: **Recuperación de tierras erosionadas por desbordamientos de ríos con obras de gaviones**, página 51.

5. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y TÉCNICAS

en el momento de la construcción de los muros con llantas, se debe tener en cuenta que el tipo de suelo y la erosión que se produce en el lugar, así como las condiciones de trabajo, son factores que influyen en el tipo de estructura flexible que se debe utilizar.

5.1. Trabajo de gabinete

Consiste en la planificación o etapa preliminar a la ejecución de un proyecto de ingeniería, en la cual se establecen todos aquellos factores que intervienen en las distintas etapas del proyecto, desde preliminares hasta su entrega, deberá realizarse lo siguiente:

- **Ubicación geográfica del lugar, incluyendo visita técnica**
- **Determinar si el lugar se adapta a el tipo de estructura flexible de contención**
- **Evaluar el grado de erosión así como las causas de la misma**
- **Dimensionamiento del área erosionada**
- **Elaboración de planos (planta, elevaciones, secciones etc)**
- **Determinación de recursos económicos y humanos así como el equipo a utilizar.**

De una buena planificación depende el éxito del proyecto a ejecutar, debiendo tomarse en cuenta condiciones externas que afecten los tiempos de ejecución y por ende un incremento de los costos indirectos.

Para la construcción de muros con llantas deberá considerarse que la mano de obra será local, con lo cual deberá prever en el personal, una persona con conocimientos básicos de este sistema.

5.2. Ejecución

Para la ejecución de estructuras flexibles de contención utilizando llantas usadas o gaviones será necesario, posteriormente al trabajo de gabinete contar en el lugar de ejecución con los recursos materiales, así como con el recurso humano (para el sistema de llantas usadas podrá ser no calificado y del lugar, ya que esa es la principal característica).

5.2.1. Muros con llantas

5.2.1.1. Materiales para la construcción de muros con llantas

- **Llantas usadas de vehículos:** Las dimensiones de las llantas deben ser en lo posible de las mismas, por facilidad de relleno es recomendable el corte de una de las caras de la llanta, así se logra un material más rígido, más homogéneo, menos deformable y no sujeto a deslizamiento que al utilizar llantas enteras, esto podrá realizarse si se cuenta con recurso económico ya que se incrementa el costo por la necesidad del equipo de corte. (figura 16).
- **Alambre galvanizado o soga de polipropileno:** En una investigación realizada por el Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad de Católica do Río de Janeiro, Brasil; se pudo constatar que los resultados de utilizar soga de polipropileno demuestran un pequeño aumento en la deformabilidad del muro hasta de un 20 % superiores a la utilización de alambre galvanizado (ver anexo "A").

Figura 16. Llanta entera o cortada.



Fuente: Sieira, Ana Cristina y otros. **Estabilización de taludes con muros de neumáticos.** Página 1063.

5.2.1.2. Colocación y armado para la construcción de muros con llantas

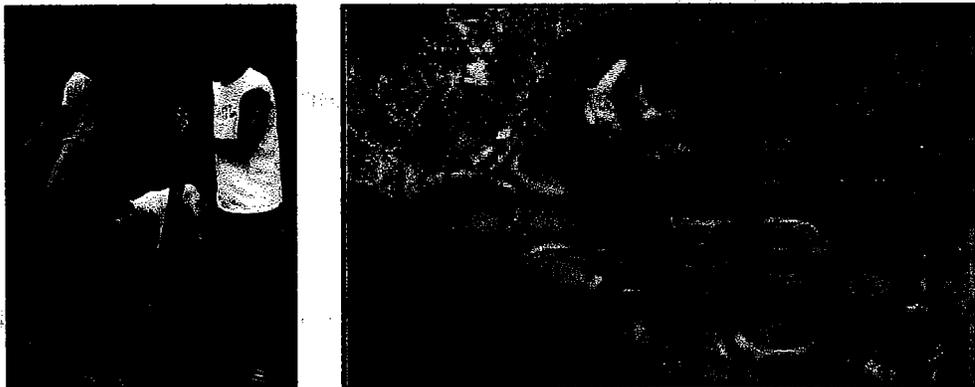
Los pasos a tomar en la implementación de esta alternativa son:

1. Seleccionar las llantas por tamaño o “ring”.
2. Paralelamente realizar planos constructivos con detalles del talud donde se construirá el muro de llanta.
3. Tallar excedentes de suelo en el parte erosionada.
4. Corte de cara lateral de llantas (este paso se omite si se decide colocar llantas enteras).
5. Disponer postes horizontales y clavar estacas verticales.

6. Nivelar y compactar la base de cimentación, puede utilizarse algún método de estabilización de suelos si las propiedades geotécnicas apuntan a un suelo blando.

7. Colocar la primera hilera de llantas (que debe ser la de mayor diámetro), podrá la base del muro realizarse según espacio disponible desde 3 llantas mínimo ya que la altura máxima experimentada es de 6 m; generando con esto mayor esbeltez al muro cuando posea mayor cantidad de unidades en la base. (figura 17)

Figura 17. Inicio de colocación de muro con llantas de desecho



Fuente: <http://yvyppora.wordpress.com/2009/02/19/o-muro-de-contencao-de-pneus/>

8. Luego se sujetan entre si, con alambre galvanizado o sogas de polipropileno sujetando estas a postes horizontales y estacas verticales para lograr alineación inicial evitar exceso de deformación en el inicio del muro (figura 18).

10. Disponer la siguiente línea de neumáticos en traslapes a centro, podrán retrocederse las llantas de la fila anterior hacia el interior del talud; con esto se establecerá la relación vertical / horizontal (pendiente), colocando el relleno posterior con suelo adecuado en cada una de las filas de llantas (figura 20).

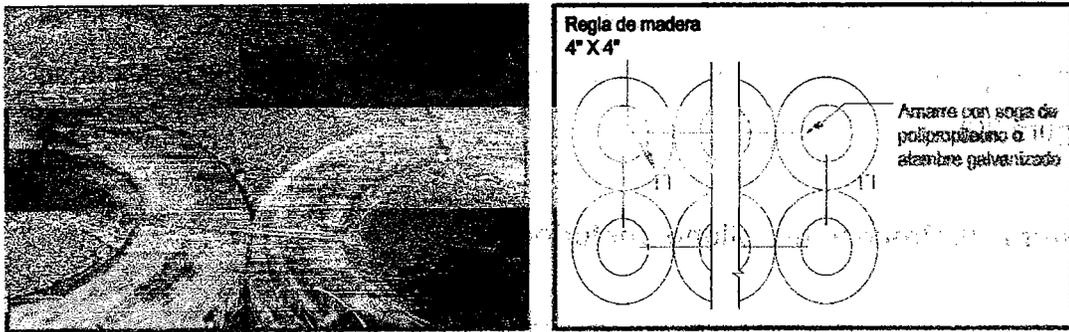
Figura 20. Proceso de relleno posterior



Fuente: <http://yvypora.wordpress.com/2009/02/19/o-muro-de-contencao-de-pneus/>

11. Continuar, hasta finalizar la obra, colocando las siguientes líneas de revestimientos de llantas en traslape así como realizando el relleno posterior de manera controlada (Figura 21). Al finalizar el muro podrá colocarse vegetación en la parte frontal para mejoramiento estético (figura 22).

Figura 18. Amarre de llantas



Fuente: <http://yvyppora.wordpress.com/2009/02/19/o-muro-de-contencao-de-pneus/>

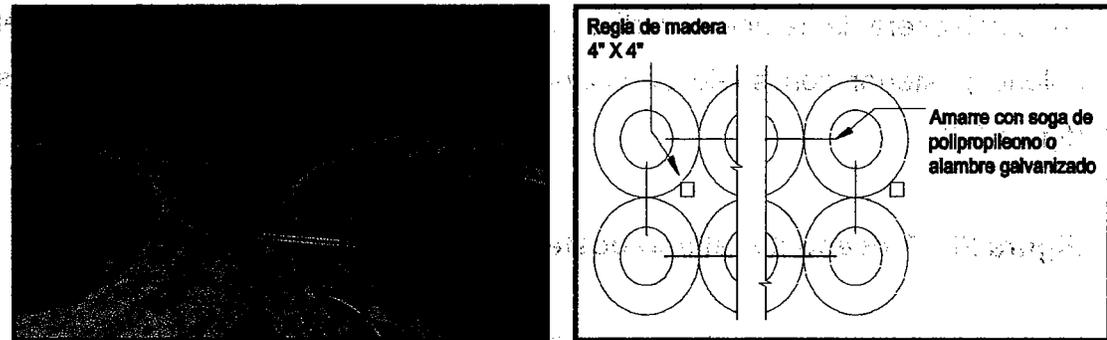
9. Rellenar llantas con suelo adecuado, iniciando por la parte interna (de la dona) y luego por el centro. (figura 19).

Figura 19. Relleno Interior dona de llantas



Fuente: <http://yvyppora.wordpress.com/2009/02/19/o-muro-de-contencao-de-pneus/>

Figura 18. Amarre de llantas



Fuente: <http://yvypora.wordpress.com/2009/02/19/o-muro-de-contencao-de-pneus/>

9. Rellenar llantas con suelo adecuado, iniciando por la parte interna (de la dona) y luego por el centro. (figura 19).

Figura 19. Relleno Interior dona de llantas



Fuente: <http://yvypora.wordpress.com/2009/02/19/o-muro-de-contencao-de-pneus/>

10. Disponer la siguiente línea de neumáticos en traslapes a centro, podrán retrocederse las llantas de la fila anterior hacia el interior del talud; con esto se establecerá la relación vertical / horizontal (pendiente), colocando el relleno posterior con suelo adecuado en cada una de las filas de llantas (figura 20).

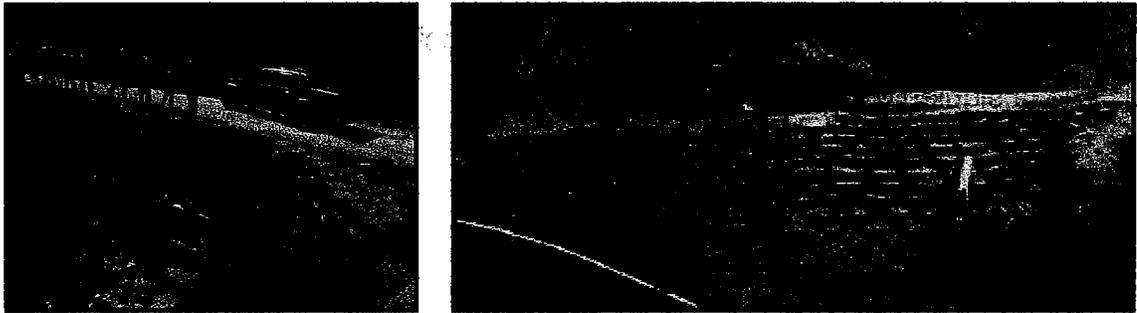
Figura 20. Proceso de relleno posterior



Fuente: <http://yvyvpora.wordpress.com/2009/02/19/o-muro-de-contencao-de-pneus/>

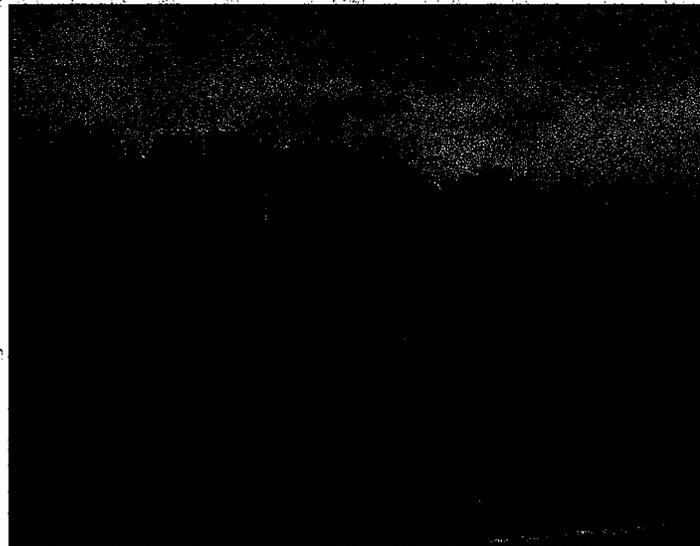
11. Continuar, hasta finalizar la obra, colocando las siguientes líneas de revestimientos de llantas en traslape así como realizando el relleno posterior de manera controlada (Figura 21). Al finalizar el muro podrá colocarse vegetación en la parte frontal para mejoramiento estético (figura 22).

Figura 21. Obra finalizada



Fuente: Aquino, Alberto y otros "Protección de caminos con muros de llantas". Página 29.

Figura 22. Obra finalizada post vegetación



Fuente: Bujang, Huat. **Application of Scrap Tires as Earth Reinforcement for Repair of Tropical Residual Soil Slope.** Página 07.

5.2.1.3. Estimación del equipo necesario

Para la ejecución de este sistema de contención flexible será necesario el uso de la siguiente herramienta:

- Palas
- Piochas
- Carreta de mano
- Barreta
- Alicata
- Hilo de pescar
- Cinta métrica
- Vibrocompactador mecánico (o en su caso deberán construirse mazos de madera o metálicos).

5.2.1.4. Supervisión

La supervisión debe ser realizada por una persona profesional con experiencia en el ramo de la construcción, o que tenga conocimientos básicos de la forma que se esté utilizando en cada proyecto.

En este caso es aconsejable que la persona encargada del proyecto tenga nociones acerca de construcción de muros con llantas; es importante que la supervisión verifique el procedimiento del amarre de cada llanta entre si así como el amarre hacia las estacas o piezas de madera; verificar el traslape entre fila vertical a colocarse ya que esto minimizara el desplazamiento horizontal.

5.2.2. Muros con gaviones

5.2.2.1. Materiales para la construcción de muros con gaviones

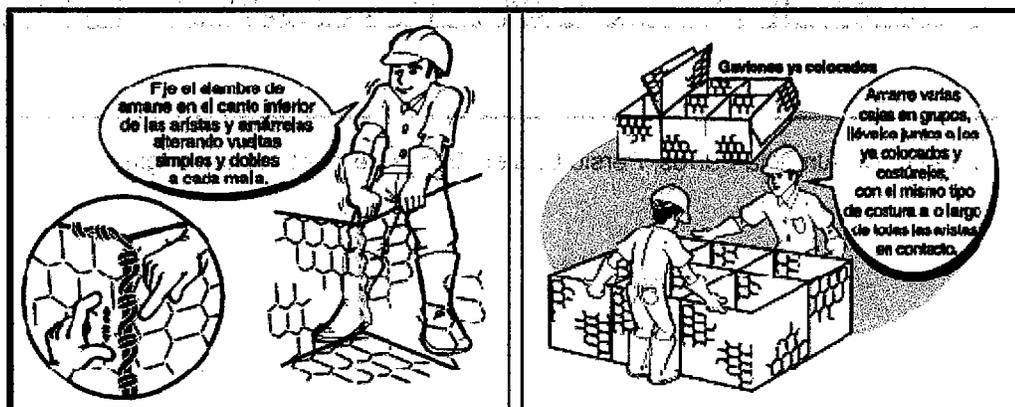
- Alambres galvanizados.
- Malla o canastos para gaviones.
- Geotextil.
- Material para llenado del gavión.

5.2.2.2. Colocación y armado para la construcción de muros con gaviones

Los pasos a tomar en la implementación de esta alternativa son:

1. Se prepara la cimentación hasta la profundidad ya preestablecida.
2. Colocación y montaje de cajas de malla (figura 23).

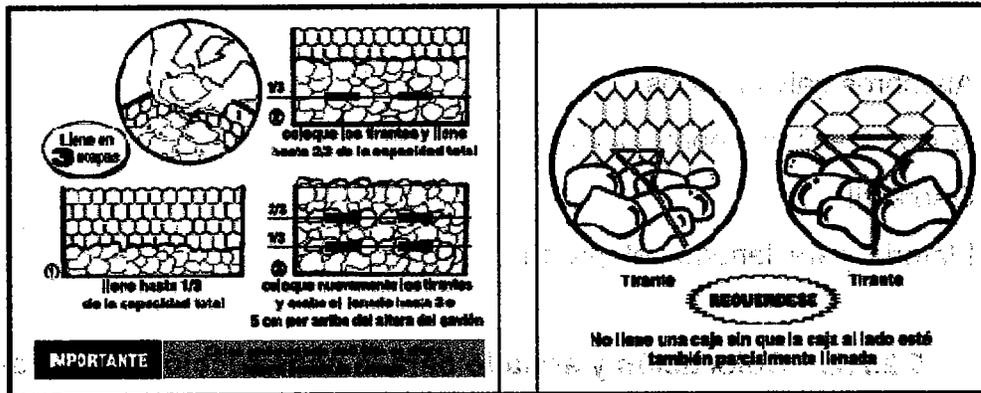
Figura 23. Armado y colocado de cajas para gavión



Fuente: De Almeida Barros, Pérsio Leister. *Obras de contención*, página 187.

3. Llenado de gavión (figura 24) ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

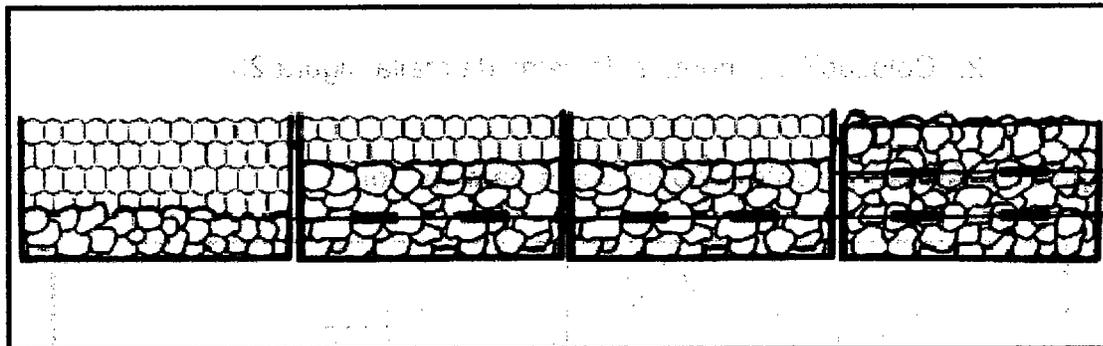
Figura 24. Llenado de gavión



Fuente: De Almeida Barros, Pésio Leister. **Obras de contención**, página 189.

4. Colocación de tirantes (figura 25)

Figura 25. Colocación de tirantes ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN



Fuente: De Almeida Barros, Pésio Leister. **Obras de contención**, página 189.

5.2.2.2. Cierre del gavión (figura 26).

Figura 26. Cierre de gavión



Fuente: De Almeida Barros, Pécio Leister. **Obras de contención**, página 189.

5.2.2.3. Estimación del equipo necesario

Para la ejecución de este sistema de contención flexible podrá utilizarse la misma herramienta que se utiliza para la construcción de muros con llantas (ver pagina 58).

5.2.2.4. Supervisión

La supervisión debe ser realizada por una persona profesional con experiencia en el ramo de la construcción, o que tenga conocimientos básicos de la forma que se esté utilizando en cada proyecto. En este caso es aconsejable que la persona encargada del proyecto tenga nociones acerca de estructuras con gaviones.

Es importante que la supervisión verifique el material que se utiliza para el llenado de las canastas metálicas colocación de tensores, así como el procedimiento del armado y el amarre de cada canasta de gavión o colchón.

Es necesario además chequear los anclajes del muro con el terreno natural cuando se construyan obras para la protección de taludes, se debe supervisar el empleo apropiado y la colocación del geotextil, así como el material de relleno y su compactación.

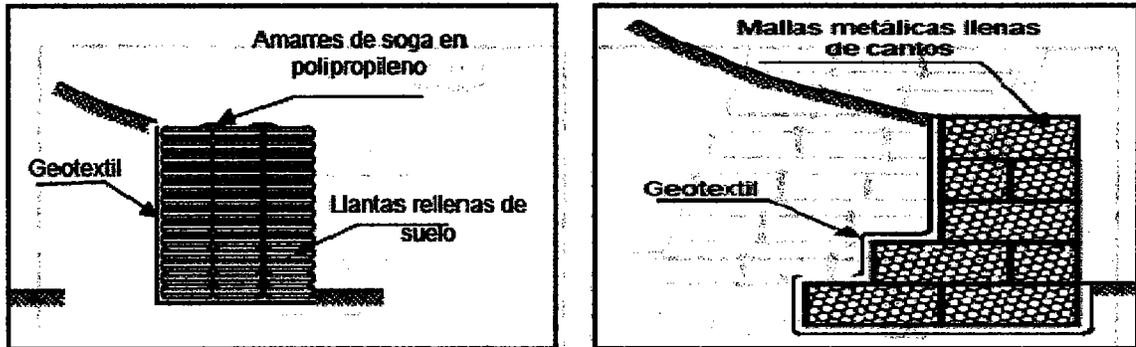
5.3. Empleo de geotextil

En obras realizadas en presencia de suelos finos, cuando puede haber escape de material, se debe tomar particular atención en ejecutar el relleno con un material seleccionado para formar un filtro o preverse uno natural con una capa de 0.5 m de espesor, con una buena granulometría.

Es aconsejable la colocación de un filtro geotextil (figura27) a lo largo de la base del muro cuando se rellena en la parte posterior de la estructura flexible, para terrenos de baja capacidad soporte o sujetos a la saturación de agua.

El geotextil debe ser de un polímero sintético de cadena larga, y debe estar libre de desgarres, defectos o fallas que alteren sus propiedades físicas; además debe cumplir con los requerimientos indicados en cada proyecto.

Figura 27. Uso de geotextil en muros con llantas y gaviones



Fuente: Suarez, Jaime. **Deslizamientos - técnicas de remediación**, capítulo 3, página 116.

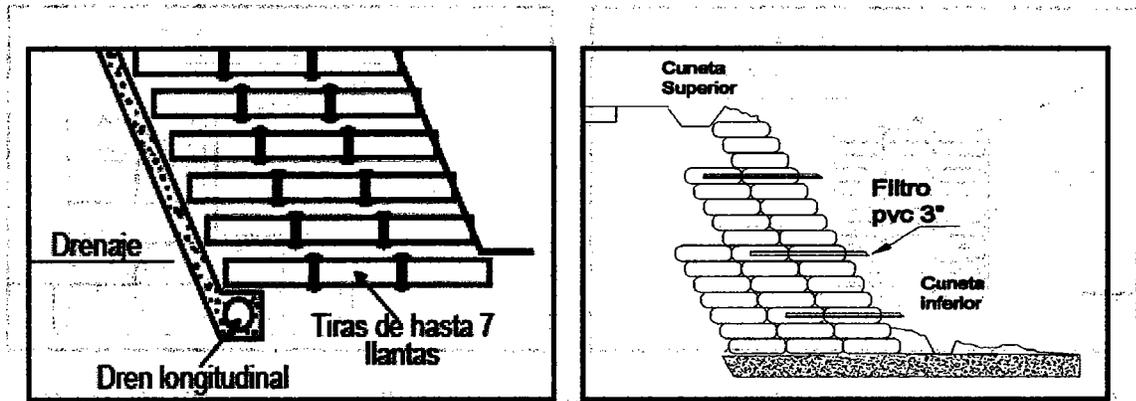
5.4. Drenajes

Tiene la función de aliviar las presiones hidrostáticas que actúan sobre la estructura, contribuyendo por lo tanto a su estabilidad, cuando la impermeabilización no está especificada en el diseño, el drenaje debe también proteger la estructura contra infiltraciones.

5.4.1. Sistema de drenaje para muros con llantas

Para evitar eliminar las aguas que se encuentran en el volumen de suelo reforzado con llantas será necesario trasladar el agua interna del muro hacia el exterior, esto podrá hacerse mediante un sistema de geotextil o utilizando drenajes horizontales (llorones) de PVC; estos drenajes podrán ser tubos PVC de 3" perforados que estarán ubicados perpendicularmente a la cara del muro, profundizados hasta donde sea necesario, entregando sus aguas al exterior en escurrimiento libre sobre la cara del muro, teniendo en cuenta no propiciar con ello erosiones localizadas (figura 28).

Figura 28. Drenajes para muros con llantas

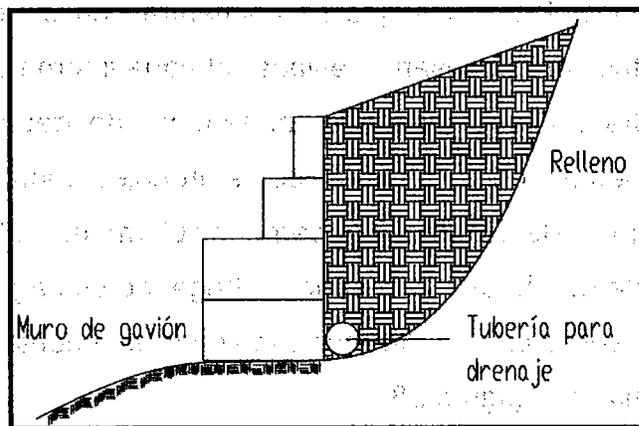


Fuente: Suarez, Jaime. Deslizamientos - técnicas de remediación, capítulo 3, página 121.

5.4.2. Sistema de drenaje para gaviones

En comparación con otras obras de contención, los gaviones debido a su alta permeabilidad tienen una seguridad adicional en el caso de actuación de un empuje superior, debido a los espacios entre rocas. Como en toda estructura deberá existir un sistema de drenaje filtro para presión hidrostática (figura 29).

Figura 29. Drenaje muro de gavión



Folleto: Estructuras flexibles en gaviones, Maccaferri, página 13.

5.5. Relleno posterior

Se recomienda que el relleno posterior del muro sea hecho con material de buena calidad y si fuera utilizado un material cohesivo, el mismo debe ser compactado en capas de 20 centímetros para el caso de los gaviones, para el caso de los muros con llantas deberá realizarse a la altura de cada fila de llantas.

Dicho procedimiento mejora las características del terreno y minimiza el valor del empuje activo, de esta forma han sido ejecutados diversos muros sin colocarse filtro, demostrando un resultado satisfactorio.

Para el caso de los gaviones, si se inicia alguna fuga de suelo, se deposita entre el material de relleno de los gaviones disminuyendo el índice de vacíos y en poco tiempo se alcanza la estabilización natural del sistema.

Es oportuno evaluar la posibilidad de utilizar materiales del lugar, eventualmente mezclándolos con otros de mejor calidad (arenas, gravas, estabilizantes químicos, etc.) siempre que éste sea parcialmente idóneo.

El material de relleno debe ser volcado y compactado en capas sucesivas con espesores no superiores a 30 cm., el grado de compactación a alcanzar deberá estar de acuerdo con las normas especificadas para la obra y si no hay pruebas de laboratorio podrá verificarse con una varilla de acero de 1/4" con una penetración de 3" a 4".

5.6. Vegetación

www.cerros.com/maifof/139

El uso de la vegetación en obras de ingeniería civil requiere no solamente conocimientos de ingeniería sino también información relativa a las propiedades de las plantas, su estructura, altura, grosor y rigidez de los tallos, profundidad, densidad y distribución de las raíces, aptitud para el régimen climático del sitio, interacción con el agua y el suelo, resistencia a la sumergencia al pisoteo y a la quema, resistencia a la tensión, etc.

La forma en que la vegetación ayuda en el control de la erosión incluye diversos factores:

- **Interceptación:** Absorbe la energía de la lluvia
- **Retención:** El sistema de raíces retiene las partículas del suelo
- **Retardación:** Aumenta la rugosidad del suelo disminuyendo velocidad en la corriente de agua.
- **Infiltración:** Las raíces y los residuos de las plantas ayudan a mantener la porosidad y permeabilidad del suelo
- **Transpiración:** El agotamiento de la humedad del suelo por las plantas retrasa la saturación y con ello la aparición de escorrentía superficial;

Los muros construidos con llantas de desecho poseen la facilidad de siembra, debido a que la parte superior en el traslape queda suelo dispuesto para siembra posterior, lo contrario sucede con los gaviones ya que estos no poseen superficie adherente por ser roca y malla metálica; la figura 22 ejemplifica un muro de llantas luego de colocarse vegetación.

6. EJEMPLO DE ESTUDIO ECONÓMICO DE PROTECCIÓN DE CAMINO DE TERRACERÍA CON LLANTAS DE DESECHO EN SUSTITUCIÓN DE GAVIONES

6.1. Trabajo de gabinete

6.1.1. Estudio y análisis del proyecto

En las rutas a distintas comunidades interconectadas por caminos de terracería, que normalmente no cuentan con obras de arte, en la estación lluviosa permanentemente se interrumpe la transitabilidad por derrumbes en los taludes y erosión del terreno en los cruces de quebrada.

Para contrarrestar y evitar que el talud continuara socavándose, y se produjeran posibles derrumbes de la carretera, para esto se realizó un estudio con el fin de que no ocurriera un desastre; la mejor solución fue la construcción de una estructura flexible de contención.

6.1.2. Planos del proyecto

Las dimensiones y detalles del proyecto (se presentan alternativas de estructuras flexibles de contención, una utilizando llantas de desecho y otra gaviones) se encuentran en el apéndice "A", páginas 80 a 82.

6.1.3. Determinación de recursos

Para evaluar la alternativa final de construcción se realizaron integraciones de precios unitarios.

Los salarios de mano de obra, se tomaron en base a proyectos que poseen similitud a este; la mano de obra indirecta fue calculada con la siguiente relación:

- Personal con salario diario (indirecto)

1 Maestro de obra	Q 140.00 / día
5 Ayudantes	Q 60.00 / día
Total	Q 440.00 / día

- Personal a destajo (directo)

2 Albañiles	Q 105.00 / día
Total	Q 210.00 / día

Relación porcentual indirecto / directo = $210 / 440 = 0,48$

Mano de obra indirecta **48 %**

Los precios de los materiales fueron tomados de acuerdo con cotizaciones realizadas en diferentes empresas dedicadas a la materia en el lugar.

Tabla IX. Integraciones alternativa 1, llantas de desecho

CUADRO PARA CÁLCULO DE INTEGRACIONES DE PRECIOS UNITARIOS							
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN							
LLANTAS DE DESECHO							
ALTURA 3.00 mts. LONGITUD 12.00 mts.							
						Fecha:	Diciembre de 2009
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO MATERIALES		COSTO MANO DE OBRA		TOTAL
			MATERIAL		MANO DE OBRA		
			P.U.	Total	P.U.	Total	
CORTE DE TERRENO	3	m²			12.00 Q	36.00 Q	
Pala	4	u	125.00 Q	500.00 Q			
Piocha	4	u	125.00 Q	500.00 Q			
Hilo	1	Global	40.00 Q	40.00 Q			
Cinta métrica	1	Global	105.00 Q	105.00 Q			
Total corte de terreno				1,145.00 Q		36.00 Q	1,181.00 Q
ACARREO DE MATERIAL	3	m³			5.00 Q	15.00 Q	
Carreta de mano	2	u	250.00 Q	500.00 Q			
Total acarreo de material				500.00 Q		15.00 Q	515.00 Q
COLOCAR Y AMARRAR LLANTAS	640	u			4.50 Q	2,880.00 Q	
Barreta	1	U	175.00 Q	175.00 Q			
Alicate / tenaza	2	u	35.00 Q	70.00 Q			
Llantas de desecho	640	U	6.50 Q	4,160.00 Q			
Alambre galvanizado calibre 2,4 mm	71	libras	7.50 Q	532.50 Q			
Tubería PVC, 80 PSI	4	u	43.00 Q	172.00 Q			
Regla de madera de tiro de 4"X4"X10'	6	u	48.00 Q	288.00 Q			
Material para relleno	77.16	m3	45.00 Q	3,472.20 Q			
Flete, carga y descarga de llantas 60 Km	2	U	2,100.00 Q	4,200.00 Q			
Total colocar y amarrar llantas				13,069.70 Q		2,880.00 Q	15,949.70 Q
RELLENO Y COMPACTADO	80.16	m3			16.00 Q	1,282.56 Q	
Mazo de metal	2	u	275.00 Q	550.00 Q			
Carreta de mano	2	u	0.00 Q	0.00 Q			
Total relleno y compactado				550.00 Q		1,282.56 Q	1,832.56 Q
TOTAL (Mano de obra y Materiales)				15,264.70 Q		4,213.56 Q	19,478.26 Q
Mano de obra indirecta (48%)	48	%					2,022.51 Q
Imprevistos (5%)	5	%					973.91 Q
Dirección y supervisión (15%)	15	%					2,921.74 Q
Total indirectos							5,918.16 Q
GRAN TOTAL							25,396.42 Q

Tabla X. Integraciones Alternativa 2, gaviones

CUADRO PARA CÁLCULO DE INTEGRACIONES DE PRECIOS UNITARIOS							
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN							
GAVIONES							
ALTURA 3.00 mts. LONGITUD 12.00 mts.							
						Fecha:	Diciembre de 2009
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO MATERIALES		COSTO MANO DE OBRA		TOTAL
			MATERIAL		MANO DE OBRA		
			P.U.	Total	P.U.	Total	
CORTE DE TERRENO	3	m³			12.00 Q	36.00 Q	
Pala	4	u	125.00 Q	500.00 Q			
Piocha	4	u	125.00 Q	500.00 Q			
Hilo	1	Global	40.00 Q	40.00 Q			
Cinta métrica	1	Global	105.00 Q	105.00 Q			
Total corte de terreno				1,145.00 Q		36.00 Q	1,181.00 Q
ACARREO DE MATERIAL	3	m³			5.00 Q	15.00 Q	
Carreta de mano	2	u	250.00 Q	500.00 Q			
Total acarreo de material				500.00 Q		15.00 Q	515.00 Q
ARMADO Y LLENADO DE GAVIONES	24	u			315.00 Q	7,560.00 Q	
Barreta	1	U	175.00 Q	175.00 Q			
Alicate / tenaza	2	u	35.00 Q	70.00 Q			
Canasta para gavion	24	u	433.68 Q	10,408.32 Q			
Alambre galvanizado calibre 2.4 mm	96	lbs	4.75 Q	456.00 Q			
Piedra bola para relleno	36	m3	160.00 Q	5,760.00 Q			
Material para relleno	31.2	m3	45.00 Q	1,404.00 Q			
Flete piedra y mallas metálicas 60 km	5	U	2,100.00 Q	10,500.00 Q			
Total colocar y amarrar llantas				28,773.32 Q		7,560.00 Q	36,333.32 Q
RELLENO Y COMPACTADO	31.16	m3			16.00 Q	498.56 Q	
Mazo de metal	2	u	275.00 Q	550.00 Q			
Carreta de mano	2	u	0.00 Q	0.00 Q			
Total relleno y compactado				550.00 Q		498.56 Q	1,048.56 Q
TOTAL (Mano de obra y Materiales)				30,968.32 Q		8,109.56 Q	39,077.88 Q
Mano de obra indirecta (48%)	48	%					3,892.59 Q
Imprevistos (5%)	5	%					1,953.89 Q
Dirección y supervisión (15%)	15	%					5,861.68 Q
Total indirectos							11,708.16 Q
GRAN TOTAL							50,786.04 Q

6.1.4. Resumen

Para los cálculos finales de materiales y mano de obra; se tomó en cuenta costos del mes de diciembre del año 2,009 que se utilizaron en el sector de la ciudad de Guatemala.

Esta ejemplificación se generalizó para un área rural a una distancia de 60 kilómetros de la ciudad capital.

La comparación de los costos de los dos sistemas constructivos, se encuentran en la tabla XI.

Tabla XI. Comparación costos llantas de desecho vs. gaviones

Resumen costos a diciembre de 2,009	
Llantas de desecho (ver tabla IX)	Q25,396.42
Gaviones (ver tabla X)	Q50,786.04
DIFERENCIA ABSOLUTA	Q25,389.62
DIFERENCIA RELATIVA	99.97%

MEMORANDUM

MEMORANDUM FOR THE RECORD
SUBJECT: [Illegible]

On [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

Very truly yours,
[Illegible Signature]

[Illegible typed text]

CONCLUSIONES

- 1. En las comparaciones de costos realizados en el capítulo seis se puede observar que el costo total de ejecución de los gaviones aumenta en 99.97 % con relación al muro con llantas, por lo consiguiente, es un porcentaje considerable que se puede ahorrar, principalmente en lugares de limitado presupuesto y de recurso humano calificado.**
- 2. Con la configuración de tres llantas en la base ha quedado demostrado por ensayos de esfuerzo - deformación que es una alternativa segura para los proyectos de estabilización de taludes.**
- 3. Los resultados obtenidos en la investigación de los anexos "A" y "B" han demostrado que el empleo de llantas constituye una alternativa que aúna la eficacia mecánica, la facilidad de ejecución y el bajo costo, en comparación con las técnicas convencionales de estabilización de taludes; a su vez el apéndice "B", presenta proyectos ya ejecutados los cuales a la fecha continúan ejerciendo la función para la cual se realizaron inicialmente.**
- 4. Los aspectos constructivos muestran que el corte de una de las caras de la llanta acelera la construcción del muro, debido a la facilidad de llenado; en cuanto al amarre es importante señalar que el amarre con alambre galvanizado confiere al material mayor rigidez de las llantas así como facilidad de amarre sobre la soga de polipropileno.**

RECOMENDACIONES

- 1. Debido a que las llantas de desecho se adaptan al ambiente natural con facilidad, se aconseja la utilización de este sistema constructivo para la estabilización y protección de taludes; colocando vegetación en la parte frontal para mejor resultado arquitectónico.**
- 2. Debido al constante incremento de los materiales de construcción; la utilización de llantas de desecho se muestra como un sistema eficiente, aunque es necesario seguir realizando ensayos para poder garantizar y establecer este sistema constructivo; sabiendo que es más económico y no requiere de equipo ni personal calificado.**
- 3. Es importante considerar que al principio se deben tomar algunas medidas para adiestrar al personal ejecutor, como buscar una metodología para cortar las llantas de una forma práctica y económica, los amarres y la realización del relleno.**
- 4. Para la ejecución de proyectos donde se utilizan estructuras flexibles formadas con llantas de desecho, se deben seguir las recomendaciones e indicaciones mínimas mencionadas en este trabajo o cualquier otra fuente de información, como folletos, revistas, libros, internet, etc.**

RECOMMENDATIONS

1. The Commission should continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 1997-98 financial year. It should also continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 1998-99 financial year. It should also continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 1999-00 financial year.

2. The Commission should continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 2000-01 financial year. It should also continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 2001-02 financial year. It should also continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 2002-03 financial year.

3. The Commission should continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 2003-04 financial year. It should also continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 2004-05 financial year. It should also continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 2005-06 financial year.

4. The Commission should continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 2006-07 financial year. It should also continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 2007-08 financial year. It should also continue to monitor the implementation of the recommendations of the Commission of Enquiry into the 2008-09 financial year.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alberto Aquino y otros. "Encuentro anual ERC GdR y CC – Intercambio de experiencias PROYECTO RyGRAC". Boletín informativo. (Guatemala)(9): 8. 2009.
2. Carranza, Jaime Domingo y otros. "Guía practica para Municipalidades para re-uso de llantas", **Las 3 R. Reducir, reciclar, re-usar.** (Guatemala)(1): 2. 2004.
3. Crespo Villalaz, Carlos. "**Mecánica de suelos y cimentaciones**". 4ª. ed México: Editorial Limusa, 1996.
4. Madeiros, Luciano y otros. "ANALYSIS OF THE INSTRUMENTATION OF A REINFORCED SCRAP TIRE". **Revista de ciencia y tecnología.** (Brasil)(7): pp. 9-16. 1999.
5. Denise Gerscovich y otros. "**FIELD PULL-OUT TESTS ON SCRAP TIRE ARRANGEMENTS**". s.l., s.e. s.E. 6 pp.
6. Osegueda Gine, Félix. Análisis de estabilidad de taludes mediante el método Morgentern Price. Tesis Ing. Civil Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 1980.
7. Guevara Abauta, Luz María. Evaluación de opciones para la reutilización de llantas en Guatemala. Tesis ingeniería Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2008. 125 pp.
8. Pérsio Leister de Almeida Barros. "**Obras de contención**". Manual técnico Maccaferri, s.l. Brasil 2007. 222 pp.
9. Suarez Díaz, Jaime. "**Control de erosión en zonas tropicales**". Colombia; División editorial y de publicaciones Universidad industrial de Santander, 2001. 545 pp.
10. Suarez Díaz, Jaime. "**Deslizamientos – técnicas de remediación**". Colombia; División editorial y de publicaciones Universidad industrial de Santander, 1998. 541 pp.

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of a 12-week training program on the physical fitness and health of sedentary individuals. The study was conducted in a laboratory setting and involved 20 participants who were randomly assigned to either a control group or a training group.

The training program consisted of three sessions per week, each lasting 45 minutes. The sessions included cardiovascular exercise, strength training, and flexibility exercises. The control group remained sedentary throughout the study.

Physical fitness was measured using a variety of tests, including a 1-mile run, a 1-mile walk, and a 1-mile cycle. Health was measured using a variety of tests, including blood pressure, heart rate, and cholesterol levels.

The results of the study showed that the training group significantly improved their physical fitness and health compared to the control group. The training group showed a significant increase in cardiovascular fitness, strength, and flexibility. The control group showed no significant changes in any of the measured variables.

The study also found that the training program had a positive effect on the health of the participants. The training group showed a significant decrease in blood pressure, heart rate, and cholesterol levels. The control group showed no significant changes in any of the measured variables.

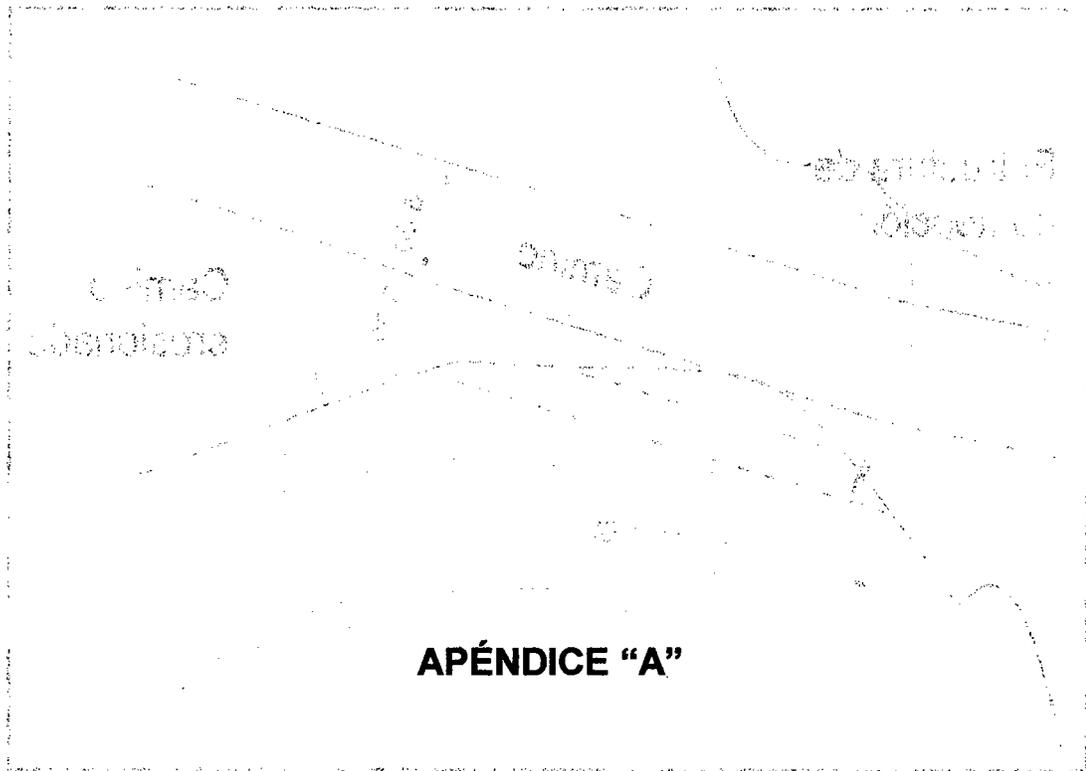
The results of this study suggest that a 12-week training program can significantly improve the physical fitness and health of sedentary individuals. The training program should be considered as a viable option for individuals who are looking to improve their physical fitness and health.

The study was limited by a number of factors, including the relatively small sample size and the lack of a long-term follow-up. Future studies should investigate the long-term effects of a 12-week training program on physical fitness and health. Additionally, future studies should investigate the effects of different training programs on physical fitness and health.

In conclusion, the results of this study suggest that a 12-week training program can significantly improve the physical fitness and health of sedentary individuals. The training program should be considered as a viable option for individuals who are looking to improve their physical fitness and health.

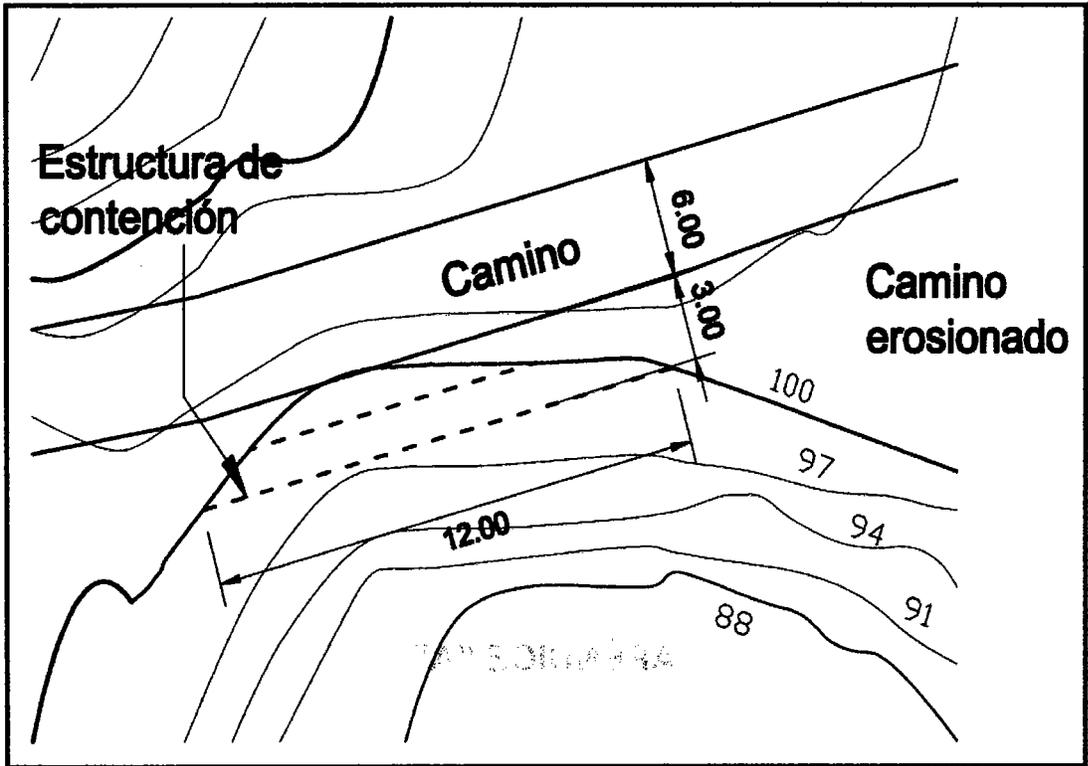
The study was conducted in a laboratory setting and involved 20 participants who were randomly assigned to either a control group or a training group. The training program consisted of three sessions per week, each lasting 45 minutes. The sessions included cardiovascular exercise, strength training, and flexibility exercises. The control group remained sedentary throughout the study.

Physical fitness was measured using a variety of tests, including a 1-mile run, a 1-mile walk, and a 1-mile cycle. Health was measured using a variety of tests, including blood pressure, heart rate, and cholesterol levels. The results of the study showed that the training group significantly improved their physical fitness and health compared to the control group.



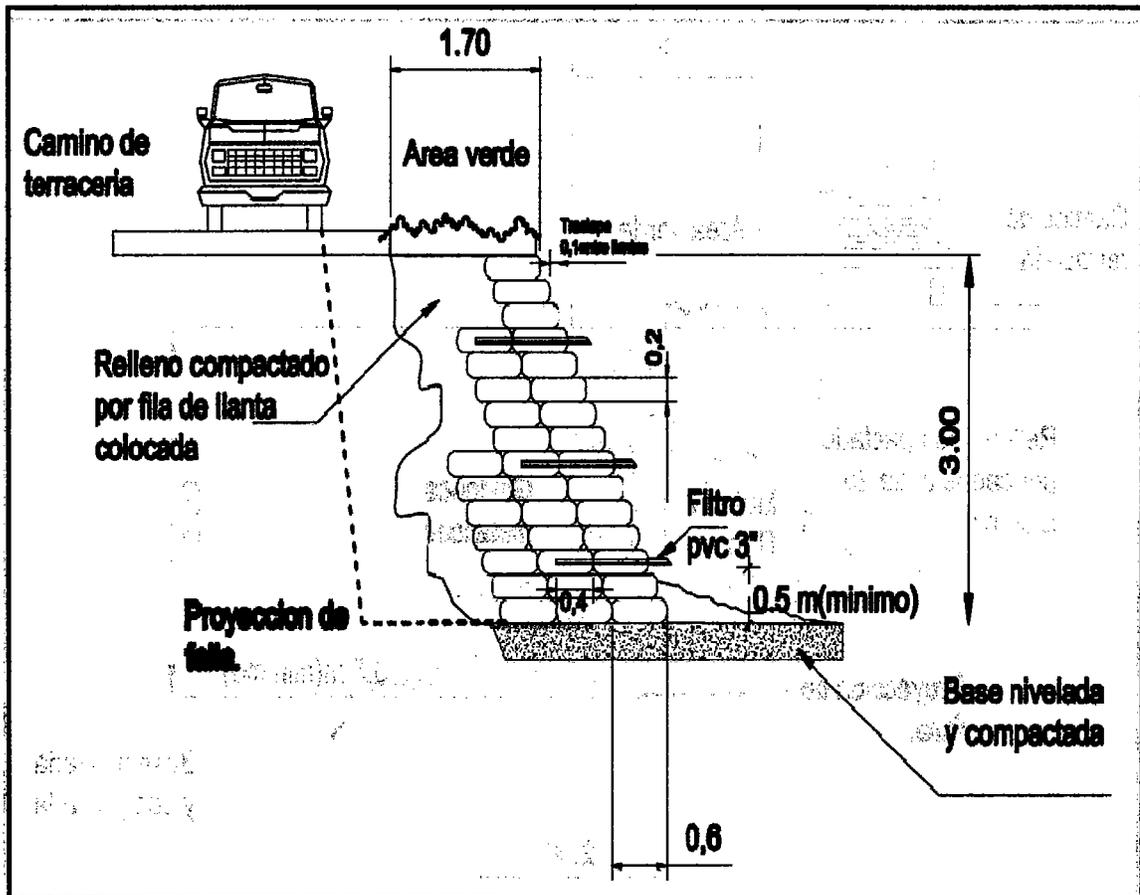
The 1000-foot contour map of the study area is shown in Figure 26. The map shows the 1000-foot contour line and the 1000-foot contour interval. The map also shows the location of the study area relative to the 1000-foot contour line. The map is titled "APÉNDICE 'A'".

Figura 30. Planta de camino con curvas de nivel



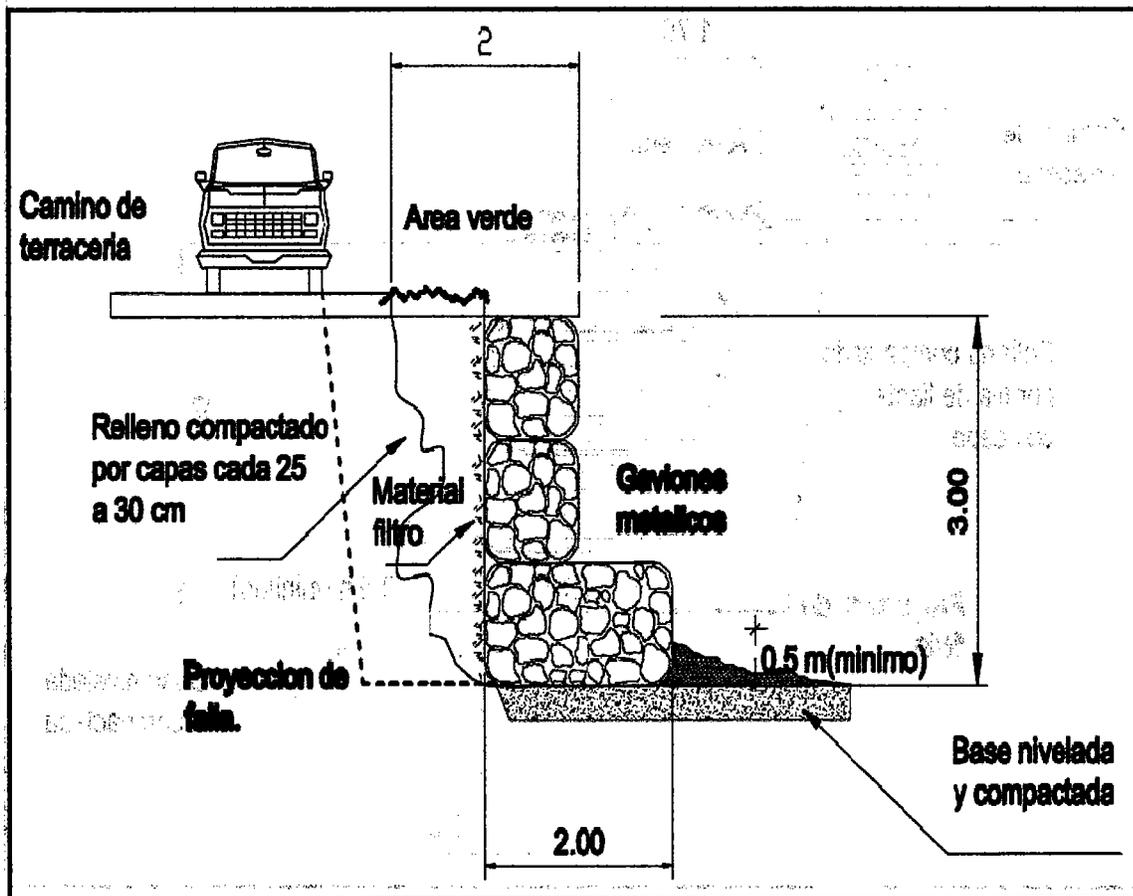
Como puede apreciarse en las curvas de nivel, ha existido una erosión de 3.00 metros a lo ancho y una extensión de falla de 12.00 metros, no obstante también puede observarse que existe a los lados lugar para acopio de materiales. El trabajo será realizado para evitar que continúe erosionando el terreno y así garantizar la transitabilidad vehicular ya que de continuar la erosión incomunicaría a las comunidades circunvecinas.

Figura 31. Sección transversal alternativa 1, utilizando llantas de desecho



La alternativa de llantas de desecho cubre perfectamente la proyección de falla logrando la continuidad de corriente de agua superficial y por medio de los llorones o tubería PVC 3" interna en el relleno estructural evita presiones hidrostáticas excesivas; aprovechando a su vez el material del lugar. Podrán los habitantes de la comunidad realizar dicha protección debido a que no será necesario personal tecnificado, reduciendo de esta manera el costo indirecto.

Figura 32. Sección transversal alternativa 2, utilizando gaviones.



La alternativa de gaviones aunque requiere de personal capacitado para la ejecución de los mismos. El recurso material es más complicado tanto en la adquisición como el traslado del mismo. El recurso humano incrementara debido a un incremento de recursos ya que se deberá contar con personal administrativo para la obtención del recurso material

Tabla III.5. Proyectos realizados en Guatemala

PROYECTO	FECHA DE EJECUCIÓN	UBICACIÓN	VALOR (M\$)	DESCRIPCIÓN
1.001	1980-1981	Guatemala	100.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.002	1981-1982	Guatemala	150.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.003	1982-1983	Guatemala	200.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.004	1983-1984	Guatemala	250.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.005	1984-1985	Guatemala	300.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.006	1985-1986	Guatemala	350.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.007	1986-1987	Guatemala	400.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.008	1987-1988	Guatemala	450.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.009	1988-1989	Guatemala	500.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.010	1989-1990	Guatemala	550.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.011	1990-1991	Guatemala	600.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.012	1991-1992	Guatemala	650.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.013	1992-1993	Guatemala	700.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.014	1993-1994	Guatemala	750.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.015	1994-1995	Guatemala	800.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.016	1995-1996	Guatemala	850.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.017	1996-1997	Guatemala	900.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.018	1997-1998	Guatemala	950.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.019	1998-1999	Guatemala	1000.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.
1.020	1999-2000	Guatemala	1050.0	Proyecto de desarrollo rural en el departamento de Guatemala.

APÉNDICE "B"

Cuadro y fotografías de proyectos realizados en Guatemala

Este cuadro muestra los proyectos realizados en Guatemala durante el período de 1980 a 2000. Los datos se detallan en el cuadro adjunto, donde se especifica el número de proyecto, el año de ejecución, la ubicación geográfica, el valor en millones de dólares y una breve descripción de cada uno. Los proyectos se han ejecutado de manera continua, mostrando un crecimiento constante en el valor de las intervenciones a lo largo del tiempo.

Tabla XII. Proyectos realizados en Guatemala

UBICACIÓN	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	UNIDAD EJECUTORA	AÑO DE EJECUCIÓN
HUEHUETENANGO				
Aldea Estancia de la virgen, MALACATANCITO	43.00	3.00	PARTICULAR	2,008
Comunidad de GUADALUPE, CUILCO	14.00	5.00	RYGRAC - GTZ	2,008
Comunidad de SOSÍ, CUILCO	6.00	3.00	RYGRAC - GTZ	2,007
Comunidad de TOJUL, TECTITÁN	10.00	3.00	RYGRAC - GTZ	2,008
Comunidad de CÁNCUC, CUILCO	12.00	3.00	RYGRAC - GTZ	2,009
Comunidad de TOSIJÓN, CUILCO	12.00	3.00	RYGRAC - GTZ	2,008
Comunidad de TOAJLAJ, CUILCO	8.00	3.00	RYGRAC - GTZ	2,009
Comunidad de GUACHIPILIN, SAN PEDRO NECTA	38.00	5.00	PARTICULAR	2,009
SAN MARCOS				
Aldea TUIMAY, SAN JOSÉ OJETENAM	16.00	5.00	RYGRAC - GTZ	2,008

Datos proporcionados por RYGRAC – GTZ

Los proyectos realizados por RYGRAC – GTZ, fueron ejecutados para rehabilitar caminos que conducían hacia las comunidades en mención, dichos caminos son de terracería y en ellos circulan vehículos livianos, transporte urbano y camiones, de uno y dos ejes; los proyectos particulares realizados fueron para evitar erosiones en laderas y colindantes a viviendas.

Figura 33. Muro con llantas en aldea Estancia de la Virgen, Malacatancito, Huehuetenango



Figura 34. Muro con llantas comunidad de Cáncuc Cuilco, Huehuetenango

Figura 34. Muro con llantas comunidad de Cáncuc Cuilco, Huehuetenango



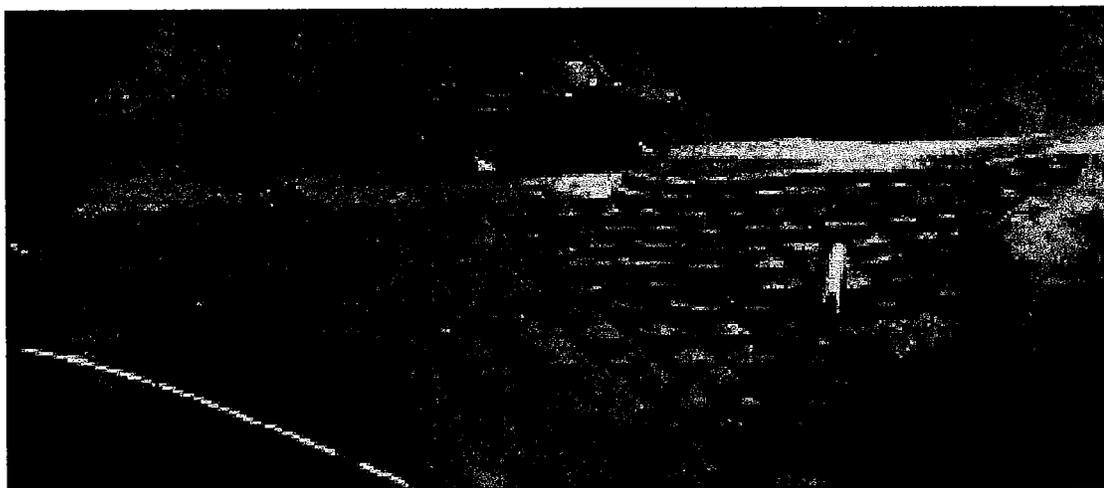
Figura 35. Muro con llantas comunidad Tosijón, Cuilco, Huehuetenango



Figura 36. Muro con llantas comunidad Toajlaj, Cuilco, Huehuetenango



Figura 37. Muro con llantas aldea Tuimay, San José Ojetenam, San Marcos



Handwritten text at the top of the page, possibly a title or header, which is mostly illegible due to fading and bleed-through.



El presente informe tiene como finalidad proporcionar información sobre el desarrollo de las actividades de la Secretaría de la Economía durante el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2014.

El presente informe tiene como finalidad proporcionar información sobre el desarrollo de las actividades de la Secretaría de la Economía durante el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2014. El presente informe tiene como finalidad proporcionar información sobre el desarrollo de las actividades de la Secretaría de la Economía durante el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2014.

El presente informe tiene como finalidad proporcionar información sobre el desarrollo de las actividades de la Secretaría de la Economía durante el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2014. El presente informe tiene como finalidad proporcionar información sobre el desarrollo de las actividades de la Secretaría de la Economía durante el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2014.

ANEXO "A"

El presente informe tiene como finalidad proporcionar información sobre el desarrollo de las actividades de la Secretaría de la Economía durante el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2014. El presente informe tiene como finalidad proporcionar información sobre el desarrollo de las actividades de la Secretaría de la Economía durante el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2014.

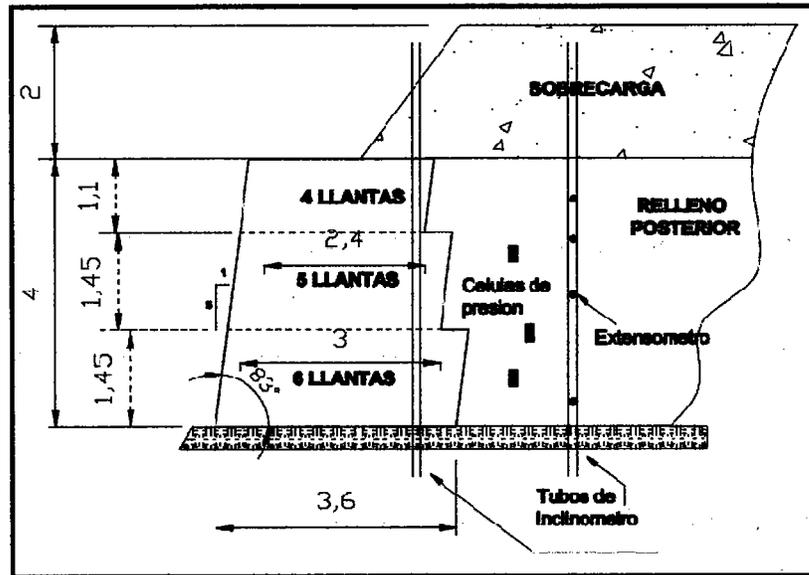
DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN'

El muro experimental fue construido en un área plana aguas abajo de una pendiente que mostró signos de inestabilidad en Jacarepaguá, Río de Janeiro.

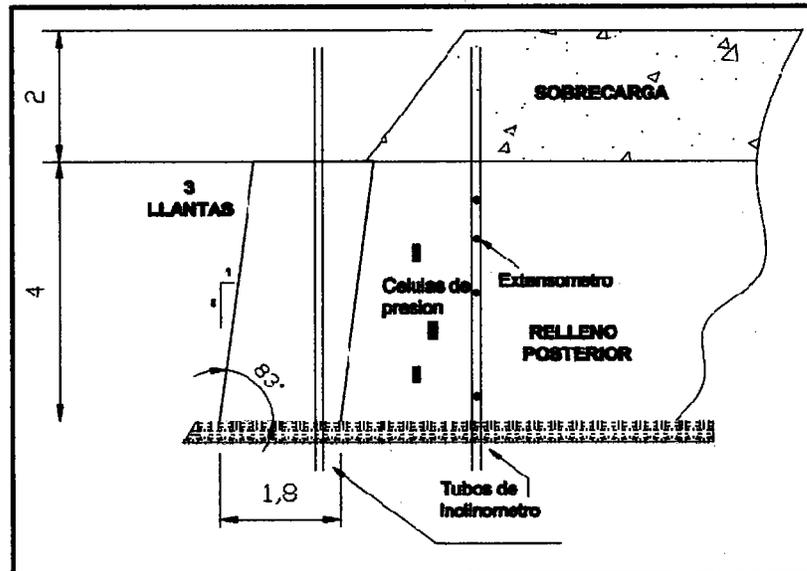
La pared alcanzó 4 metros de altura, que consiste en capas horizontales de llantas atadas con cuerda de polipropileno y alambre galvanizado, utilizando el suelo del lugar para relleno tanto en el interior de las llantas como para el relleno posterior controlado.

La cara externa de la pared tiene una pendiente media de 83° o una relación 1:8 (horizontal: vertical), al final de la construcción con llantas se añadió 2 metros de sobrecarga del mismo suelo. Los desplazamientos horizontal y vertical de la pared fueron obtenidos por inclinómetros magnéticos y extensómetros, respectivamente, los esfuerzos horizontales que actúan detrás de la pared fueron medidos por células de presión (figura 38).

Figura 38. Sección transversal del muro experimental



a) Secciones A, B y C



b) Sección D

Con el fin de comparar el comportamiento de diferentes configuraciones, la pared estaba compuesta por 4 secciones diferentes, que mide 15 metros de longitud cada una y 4 metros de altura; las secciones muestran las siguientes características:

- **Sección A:** Consta de llantas enteras, atadas con una cuerda de polipropileno de 6 mm de diámetro. Cuenta con ancho variable, con 6 llantas en la base y 4 llantas en la parte superior, como se muestra en la Figura 38 (a)
- **Sección B:** Tiene las características geométricas y de amarre similares a los de la sección A, pero está compuesta por llantas cortadas a una cara (Figura 38 a).
- **Sección C:** Tiene las características geométricas de la sección B, pero con las llantas atadas con alambre galvanizado calibre 2.4 mm (figura 38 a).
- **Sección D:** similar a la sección B, sólo que presenta una geometría más esbelta, con un ancho constante de 3 ruedas, como se muestra en la figura 38 (b).

El suelo local fue utilizado tanto para llenar las llantas como para el relleno estructural posterior al muro, el peso específico de suelo-llanta fue determinado por las pruebas de densidad in situ, se observó un promedio de alrededor de 16 kN/m³ (1630 kg/m³), la Figura 39 muestra las diferentes etapas constructivas.

Figura 39. Diferentes etapas de construcción del muro



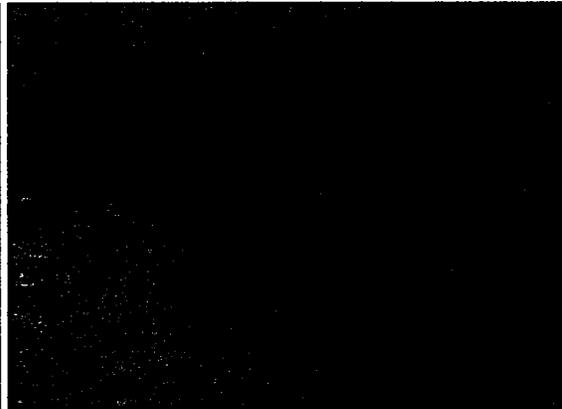
a) Inicio de construcción



b) Detalle de amarrados



c) Detalle de relleno



d) Fin de muro

Características de los materiales

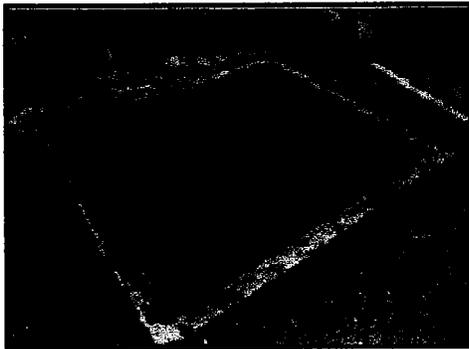
- **Suelo - llantas**

Las llantas son de goma y están fuertemente reforzadas con fibras y metales, resultando un material con alta resistencia a tensión. Las propiedades mecánicas de las llantas permanecen intactas; incluso después de finalizada su vida útil.

En el diseño experimental de la pared se utilizaron llantas de 0,60 m de diámetro y 0,20 m de ancho de banda de rodadura.

Ensayos de densidad se realizaron en el campo a fin de determinar el peso específico de las secciones de la pared realizado con llantas enteras y con llantas con corte de una cara; para estas pruebas fue construido un pozo con un volumen conocido (Fig. 40). Con los resultados de la densidad de campo se puede observar que al eliminar una cara de la llanta, produce un material con mayor peso específico.

Fig. 40. Ensayo de densidad *in situ*



PESO ESPECÍFICO	
Suelo - llanta	γ (KN/m³)
Llanta cortada una cara	16.2
Llanta entera	15.4

1 kN (kilonewton) = 101.97 kg

- **Suelo para relleno / base**

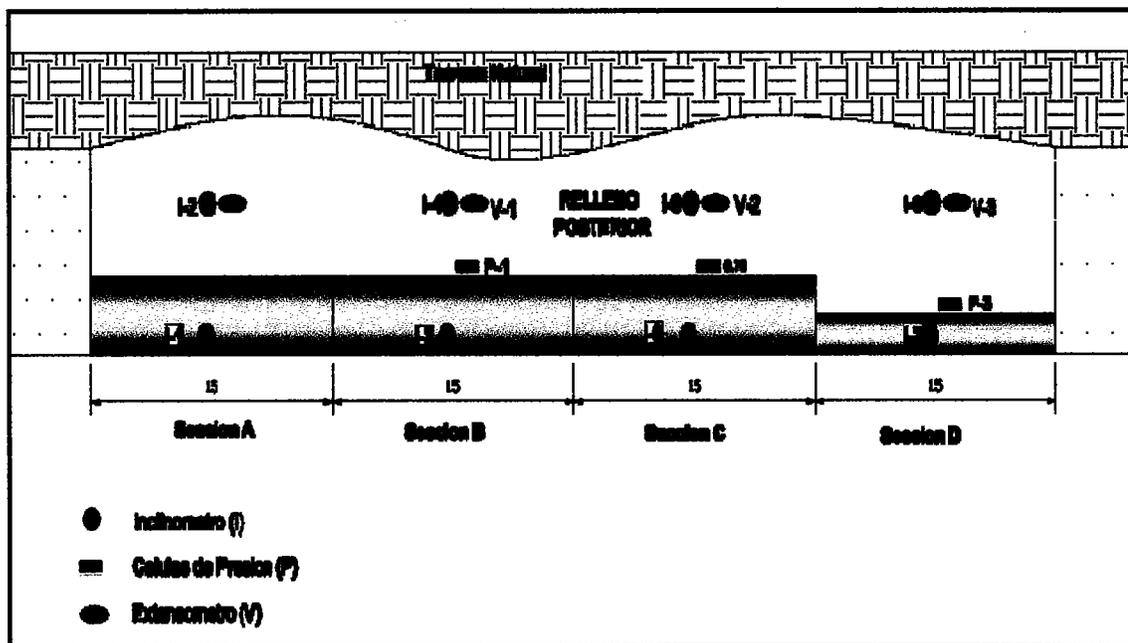
El suelo local fue utilizado tanto para llenar los neumáticos así como el relleno posterior. Ensayos triaxiales y de resistencia al esfuerzo cortante indican parámetros geotécnicos como cohesión (c'), ángulo de fricción interna (ϕ') iguales a 13 kPa y 29°, respectivamente para suelo compactado y el suelo base tiene características similares a las del suelo utilizado para relleno, pero presenta una mayor rigidez.

- **Instrumentación**

Con el fin de analizar el comportamiento de las llantas y de la pared del suelo se hicieron 8 agujero verticales de 13 metros de profundidad, se instrumentó con extensómetros magnéticos, células de presión e inclinómetros, como se muestra en la figura 38 y en la figura 41.

Los movimientos horizontales de masa del suelo fueron supervisados por 2 filas de 4 inclinómetros, instalado uno en la parte reforzada con llantas y otro en el relleno estructural, los asentamientos verticales fueron controlados por 16 extensómetros magnéticos y los valores de la presión que se desarrollan en el muro se observaron mediante la instalación de 3 células de presión en las secciones B, C y D., cada set se compone de 3 células en posición vertical con el fin de obtener la distribución de tensiones horizontales.

Figura 41. Planta de posicionamiento de la instrumentación



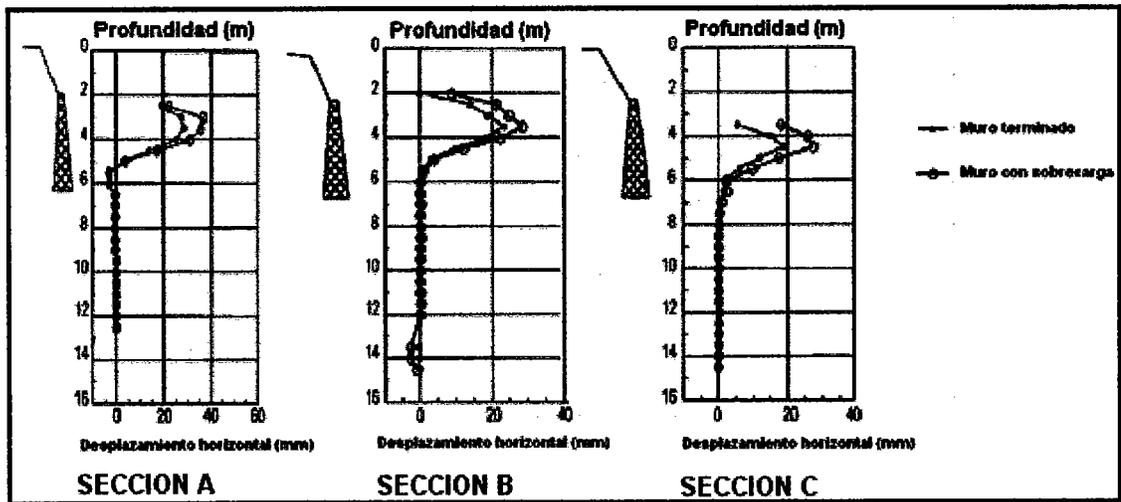
Resultados

Los movimientos horizontales fueron controlados en toda la construcción y después de la colocación de la sobrecarga, la figura 42 presenta los desplazamientos horizontales en las configuraciones B, C y D, respectivamente, al final de la construcción del muro y luego de la aplicación de la sobrecarga.

En todos los casos se observó que el máximo desplazamiento horizontal se produjo en $1/3 H$, el desplazamiento horizontal máximo de la sección A, al final de la construcción fue de 28 mm, que corresponde al 0,7% de la altura de la pared, en la sección C, que es la menos flexible entre las paredes de secciones B y C, al final de la construcción fue de 20 mm, que corresponde al 0,5% de la altura de la pared; al momento de relleno para la sección D, el equipo se fue dañando pero este presentó un desplazamiento igual al de la sección A.

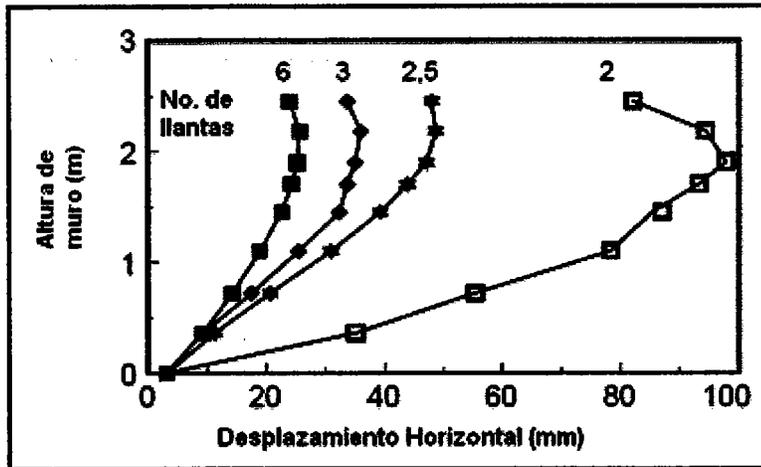
Un examen más endurecimiento de la relación entre los llantas con el uso de alambre galvanizado recubierto con PVC, dio como resultado aproximadamente una reducción del 30% del máximo desplazamiento horizontal.

Figura 42. Desplazamientos horizontales al final de la construcción y luego de colocar la sobrecarga



Un análisis numérico complementario se llevó a cabo para verificar el ancho mínimo posible de pared, la figura 43 muestra la predicción de los desplazamientos para diferentes anchos del muro; estos resultados fueron considerados para una altura de de 4 metros con sobrecarga de 2 metros, es importante notar que hay una variación significativa en el comportamiento del muro cuando la sección es inferior a 2.5 llantas (aproximadamente 1.5 m), se puede predecir entonces que 3 llantas es el ancho mínimo adecuado para la sección de la pared, menor cantidad de llantas en la base podría conducir a la pared a colapsar.

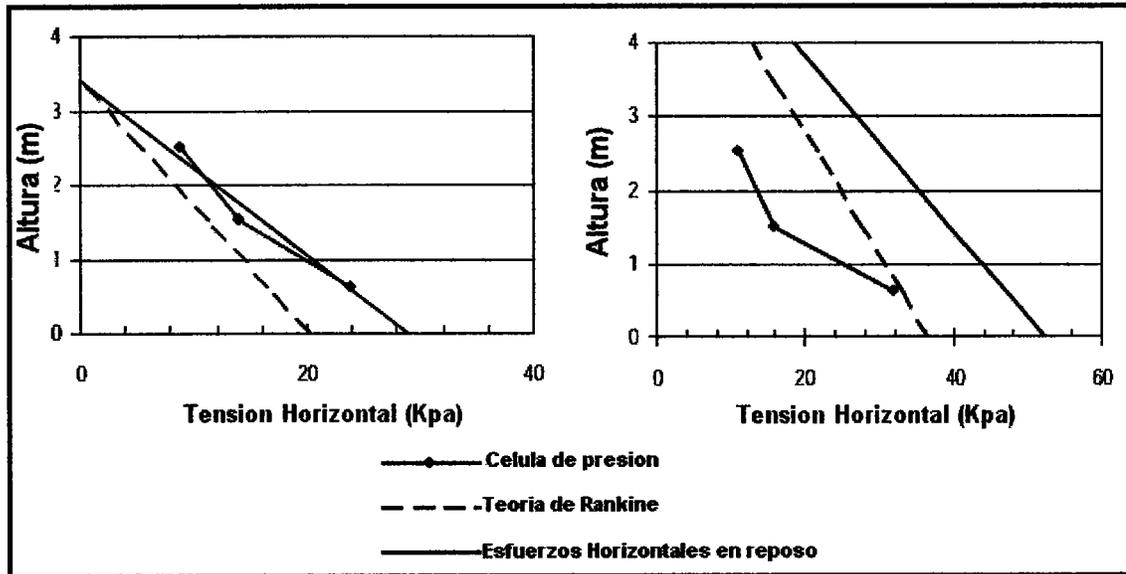
Figura 43. Variación de los desplazamientos en función al ancho de base



En la figura 44 (a) se presentan lecturas de la presión ejercida por el suelo en la sección B al final de la construcción y luego de la aplicación de la sobrecarga, estos resultados tienen un patrón similar a los de la sección C, comparadas con la presión de Rankine de distribución de tierra; a pesar de los desplazamientos horizontales observados durante y al final de la construcción del muro de contención las tensiones horizontales en las celdas de la presión de la tierra media, se acercó a la presión activa de Rankine; esta observación en relación con las lecturas del desplazamiento lateral, indica que la flexibilidad de la pared promueve una transferencia de la carga expresiva a la del suelo situado en la parte media a ambos bordes.

Tras la aplicación de la sobrecarga, se produjo significativa movilización de la resistencia al corte del suelo (figura 44 b). Este comportamiento dio lugar a tensiones por debajo de la teoría de Rankine para los tres primeros metros de la pared, cerca de la base existió poco movimiento al colocarle la sobrecarga.

Figura 44. Distribución de tensiones horizontales



a) Muro terminado.

b) Fin Muro con sobrecarga.

1

Madeiras Luciano y otros. "ANALYSIS OF THE INSTRUMENTATION OF A REINFORCED SCRAP TIRE". *Revista de ciencia y tecnología*. (Brasil)(7): 9-16. 1999.

ANEXO "B"

DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN²

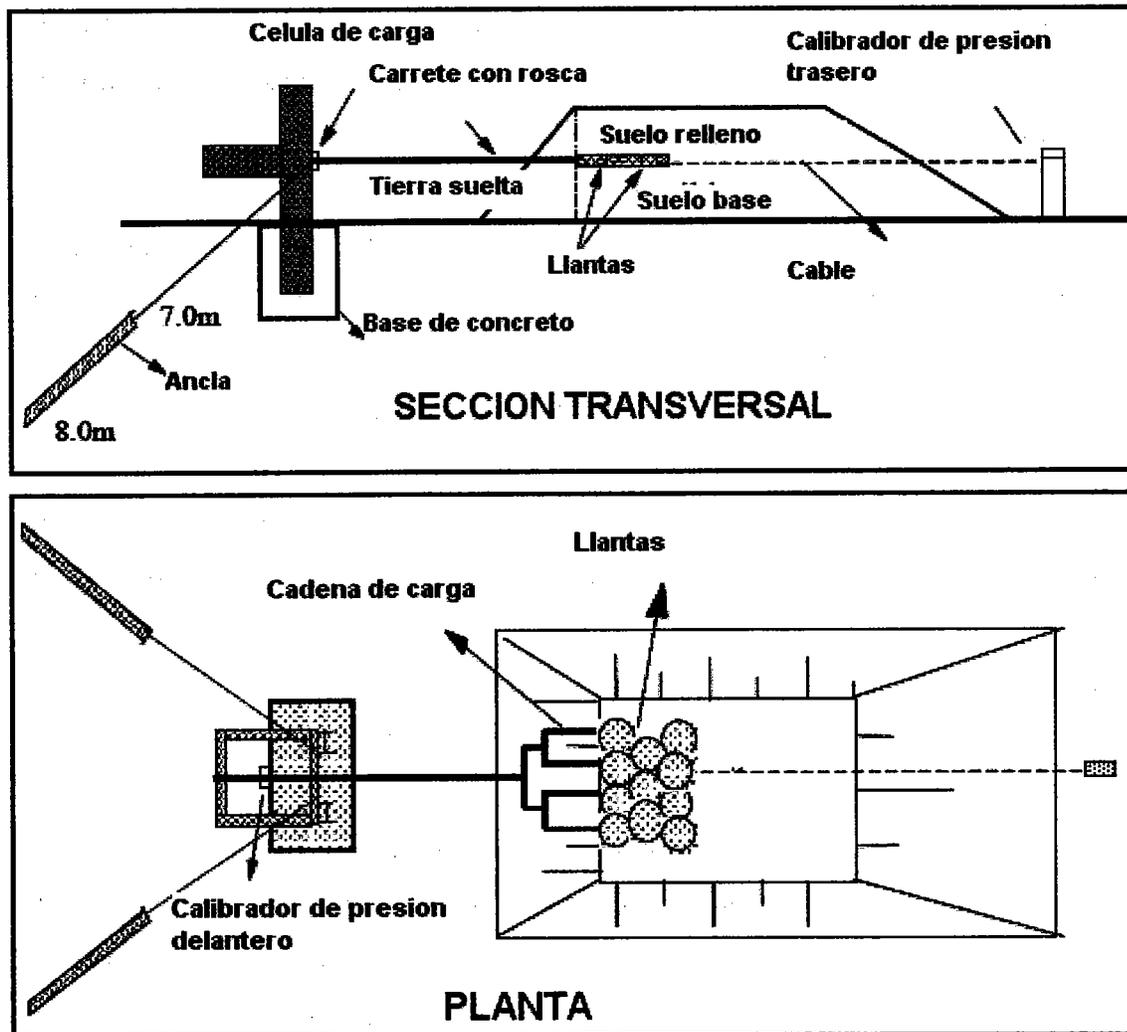
Este ensayo consiste en aplicar una carga horizontal sobre una distinta configuración de llantas incrustadas en material de relleno, las pruebas se llevaron a cabo con llantas cortadas a una cara de 0,6 m diámetro,

Considerando la magnitud de la carga necesaria, una permanente estructura de acero con una capacidad para sacar 500kN (51,000 kg), fue especialmente diseñado y construida como se ve en la figura 45; esta posee una estructura de acero horizontal con una base de hormigón, anclados en el suelo.

La carga horizontal se aplica a cada configuración de llantas a través de una cadena vinculada a una barra de acero, el sistema de aplicación de la carga garantiza que no haya restricciones a los desplazamientos individuales de cada neumático colocado en la primera fila, para garantizar la nivelación horizontal, fueron colocados sobre una base de 0,5 m de altura del suelo.

Internamente, las llantas se llenaron manualmente con suelo sobre cada configuración se colocó una sobrecarga de suelo de 1m de altura del suelo, el terraplén de arena fue compactada manualmente y los huecos entre los neumáticos fueron cuidadosamente rellenos. La carga fue activada por una bomba hidráulica, que transmite la presión de un pistón hidráulico situado en la parte delantera del cable.

Figura 45. Equipo de Campo para prueba pull - out



La tabla XIII muestra las configuraciones de llantas; para el amarre de las llantas se utilizo dos vueltas de soga de polipropileno de 6mm, en el anexo "A" se establece que con utilizar alambre galvanizado se obtienen mejores resultados al desplazamiento, por tanto de la misma manera serán al se extraídas las llantas.

Tabla XIII. Configuración de llantas para ensayo pull out

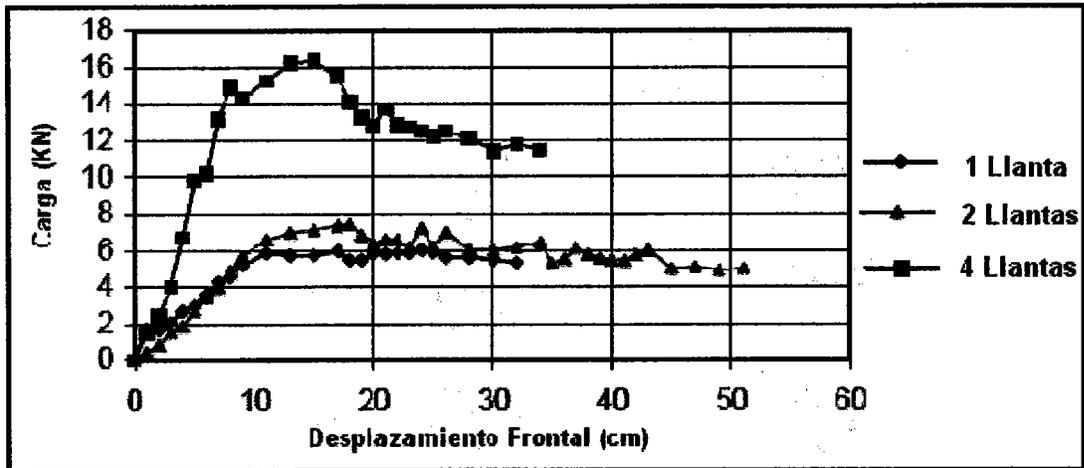
MODULACION	DESCRIPCION	MODULACION	DESCRIPCION
	1 Llanta		2 Llantas
	4 Llantas		4X3 Llantas
	4X3X4 Llantas		4X3X4X3 Llantas
	4X3X4X3 Llantas cortadas (2 capas)		4X3X4X3 Llantas enteras (2 capas)

Resultados

Al sacar las curvas de desplazamiento para llantas enteras y llantas de corte no hubo diferencias significativas en el ensayo pull - out, la ejecución en campo ha demostrado que llantas con una cara cortada proporcionan una mejor condición para el llenado y un resultando en la estructura mayor compactación

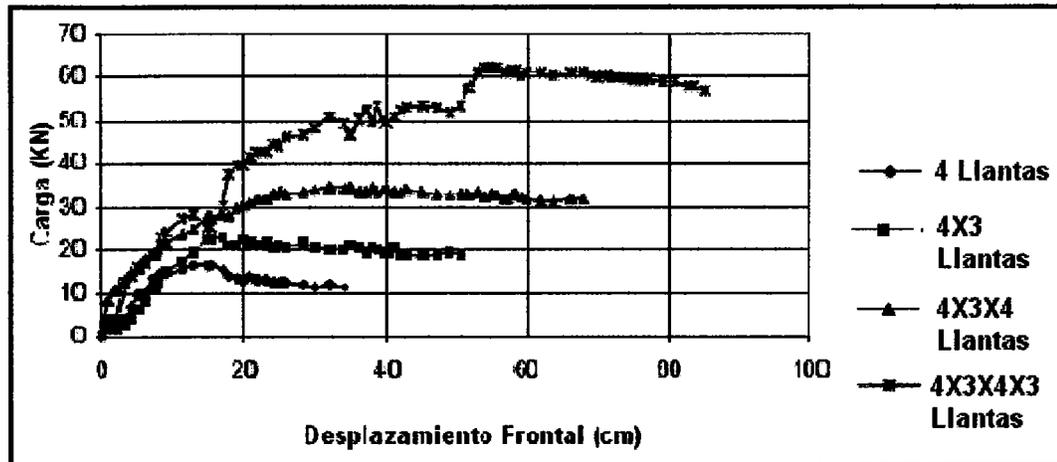
El desplazamiento al momento de la aplicación de la carga muestra las curvas con puntos irregulares; este patrón se ha observado en casi todas las pruebas, esto puede ser atribuido al amarre ya que únicamente se utilizaron dos vueltas de sogas de polipropileno en la cara frontal y las posteriores fueron amarradas con un vuelta.

Figura 46. Pruebas Pull - out con llantas en una fila con 1 m de sobrecarga



La figura 46 muestra el desplazamiento frontal de las llantas cuando están colocadas en una fila, transversal a la dirección del movimiento; la grafica muestra como en la parte superior al configurarse 4 llantas, resiste carga superior a los 16 kN (1630 kg), seguido por 2 llantas soportando casi 8 kN (816 kg) y finalmente 1 llanta que soporta 6 kn (612 kg).

Figura 47. Pruebas Pull - out con llantas amarradas con 1 m de sobrecarga



La figura 47 refiere resultados que muestran un aumento proporcional de resistencia con respecto a la configuración llantas, en la parte superior de la grafica muestra como una configuración de 4X3X4X3 soporta una carga de hasta 60 kN (6120 kg), la configuración siguiente de 4X3X4 soporta una carga arriba de 30 K (3000 kg), la configuración de 4X3 soporta cargas superiores a 20 kN (2000 kg) y por ultimo 4 llantas soportan casi 20 kN.

