

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN LABORATORIO DE UN GAVIÓN UTILIZANDO  
COMO RELLENO BOTELLAS PET (POLIETILENO TEREFTALATO)  
RECICLADAS**

**JULIAN ALBARRACIN CORZO  
ALVARO BELTRAN GARCIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2015**

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN LABORATORIO DE UN GAVIÓN UTILIZANDO  
COMO RELLENO BOTELLAS PET (POLIETILENO TEREFTALATO)  
RECICLADAS**

**JULIAN ALBARRACIN CORZO  
ALVARO BELTRAN GARCIA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA  
Ingeniero Civil, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2015**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios

Padre de amor por iluminar mi camino, llenar mi vida de salud, sabiduría, paciencia, felicidad y sobre todo por ser guía y artífice de este gran logro, permitiéndome culminar de la mejor forma este ciclo de vida que estoy cerrando, el cual es puerta a nuevas metas y proyectos a iniciar.

A mis padres

Mis Viejos queridos, mis guías terrenales, mis “comandantes”; por todo su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos

Por llenar siempre de felicidad mi vida y darme lo más bonito que tengo, mis sobrinitos motores fundamentales durante estos años de estudio.

Amigos y familiares

Por todos sus consejos, por cada voz de apoyo y por todos sus buenos deseos.

A mi Zully

Mi gran amor, por brindarme todo su cariño, amor y su apoyo incondicional.

A Alvarito

Mi amigo, compañero de proyecto y de luchas durante toda la vida universitaria, por la paciencia y amistad incondicional.

JULIAN ALBARRACIN CORZO

En primera instancia le agradezco a Dios por permitirme lograr este sueño, pues sin el nada de esto fuera posible.

Gracias a mi familia por ese apoyo incondicional, que siempre estuvo presente y me concedió este importante logro.

Gracias a todos los compañeros y amigos que conocí durante el transcurso de mi carrera, los cuales me brindaron siempre su apoyo y consejo.

Gracias a los profesores de la escuela de ingeniería civil, por compartirme su experiencia y conocimiento.

Gracias a los laboratoristas de la escuela de ingeniería civil, por esa gran colaboración para realizar los ensayos de nuestro proyecto de grado.

Gracias a mi compañero de proyecto de grado Julián Albarracín, por ese ánimo y empuje que fue fundamental para no dejarnos vencer por los obstáculos y poder llegar a la cima.

ALVARO BELTRAN GARCIA

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	17
1. GAVIÓN.....	18
2. UNIDAD DE GAVIÓN RELLENO DE BOTELLAS PET .....	19
2.1 MALLA .....	19
2.2 ALAMBRE.....	20
2.3 MATERIAL DE RELLENO .....	21
2.3.1 Criterios de dosificación .....	21
2.3.2 Proceso de mezclado .....	21
2.3.3 Proceso de llenado de las botellas .....	22
2.4 ENSAYO A COMPRESIÓN DE LAS BOTELLAS .....	23
2.5 MODOS DE FALLA Y DEFORMACIÓN DE LAS BOTELLAS PET .....	25
3. UNIDAD DE GAVIÓN RELLENO CON CANTOS DE ROCA.....	26
3.1 MATERIAL DE RELLENO .....	26
4. SUELO DE FUNDACIÓN.....	27
4.1 CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE FUNDACIÓN .....	27
5. PROCESO CONSTRUCTIVO UNIDADES DE GAVION .....	29
5.1 UNIDAD DE GAVIÓN RELLENO DE BOTELLAS PET .....	29
5.1.1 Adecuación de la malla .....	29

5.1.2 Armado de la canasta .....	30
5.1.3 Entibado.....	30
5.1.4 Posicionamiento de las botellas.....	31
5.1.5 Tirantes o conectores .....	33
5.1.6 Costura y cierre.....	34
5.2 UNIDAD DE GAVIÓN RELLENO CON CANTOS DE ROCA.....	35
6. PESO DE LAS UNIDADES DE GAVIÓN.....	36
7. ESTABILIDAD EN LABORATORIO DE LAS UNIDADES DE GAVION.....	37
7.1 ENSAYO AL DESLIZAMIENTO.....	37
7.2 ENSAYO AL VOLCAMIENTO.....	38
7.3 ENSAYO CARGA VERTICAL.....	40
8. RESULTADOS.....	42
9. FRICCIÓN ENTRE EL SUELO Y UN GAVIÓN LLENO CON BOTELLAS PET	45
10. ANÁLISIS COMPARATIVO.....	49
10.1 ECONÓMICO .....	49
10.2 MECÁNICO.....	50
10.3 ECOLÓGICO .....	50
10.4 ESTÉTICOS.....	50
10.5 TÉCNICOS .....	51
10.6 DURABILIDAD.....	51

11. APLICACIONES .....	52
11.1 EJERCICIOS DE APLICACIÓN.....	52
11.1.1 Ejercicio de contención de un relleno con un muro en gavión lleno de botellas pet .....	53
11.1.2 Ejercicio de contención de un relleno con un muro en gavión tradicional lleno con cantos de roca .....	57
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
BIBLIOGRAFIA.....	66
ANEXOS.....	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Abertura de la malla del gavión.....	20
<b>Figura 2.</b> Imagen de llenado de Botellas PET .....	23
<b>Figura 3.</b> Ensayo de Botella PET, sometida a carga transversal. ....	23
<b>Figura 4.</b> Ensayo de Botella PET, sometida a carga axial. ....	24
<b>Figura 5.</b> Fisuras de una Botella PET sometida a carga transversal.....	25
<b>Figura 6.</b> Deformación de una Botella PET sometida a carga axial. ....	25
<b>Figura 7.</b> Suelo de fundación. ....	27
<b>Figura 8.</b> Dimensiones de la malla extendida. ....	29
<b>Figura 9.</b> Partes de un gavión .....	30
<b>Figura 10.</b> Entibado del gavión.....	31
<b>Figura 11.</b> Hiladas de las botellas .....	32
<b>Figura 12.</b> Posicionamiento de las botellas.....	32
<b>Figura 13.</b> Cambio de dirección botellas acostada.....	32
<b>Figura 14.</b> Tirantes entre panel frontal y trasero, espaciamento cada 25 cm. ..	33
<b>Figura 15.</b> Tirantes entre paneles laterales, espaciamento cada 10 cm. ....	33
<b>Figura 16.</b> Conectores diagonales. ....	34
<b>Figura 17.</b> Costura y Cierre de la tapa de la canasta.....	34
<b>Figura 18.</b> Gavión con Botellas PET terminado. ....	35
<b>Figura 19.</b> Simulación empuje activo del suelo al gavión con cantos de roca..	37
<b>Figura 20.</b> Desplazamiento de la unidad de gavión relleno de botellas PET. ..	38
<b>Figura 21.</b> Presión máxima (16 bar) a la cual se desplazó el gavión relleno de botellas PET.....	38
<b>Figura 22.</b> Apoyo para evitar el deslizamiento de la estructura.....	39
<b>Figura 23.</b> Levantamiento, ensayo al volcamiento .....	39
<b>Figura 24.</b> Volcamiento de la estructura.....	39
<b>Figura 25.</b> Presión máxima (36 bar) a la cual se volcó el gavión relleno de botellas PET.....	40

<b>Figura 26.</b> Carga Vertical .....	40
<b>Figura 27.</b> Regleta para medir deformación (se tomó 96 cm como punto de referencia).....	41
<b>Figura 28.</b> Deformación vertical de la unidad de gavión de botellas pet, aprox. 2.8 cm. ....	41
<b>Figura 29.</b> Dimensiones de la unidad de gavión en estudio.....	45
<b>Figura 30.</b> Diagrama de cuerpo libre del gavión de botellas PET .....	46
<b>Figura 31.</b> Diagrama de cuerpo libre del gavión con cantos de roca .....	47
<b>Figura 32.</b> Propiedades del suelo y dimensiones del muro de contención.....	53
<b>Figura 33.</b> Muro de gavión con botellas PET .....	54
<b>Figura 34.</b> Diagrama de cuerpo libre del muro de gavión con botellas PET ....	54
<b>Figura 35.</b> Muro de gavión con cantos de roca .....	58
<b>Figura 36.</b> Diagrama de cuerpo libre del muro de gavión con cantos de roca .	58

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Diametro minimo y usado de los alambres.....	20
<b>Tabla 2.</b> Resistencia a la compresión de la botella llena con la Mezcla 2 (1cemento:4; Mezcla Seca) .....	24
<b>Tabla 3.</b> Características de los cantos de roca.....	26
<b>Tabla 4.</b> Caracterización del suelo. ....	28
<b>Tabla 5.</b> Calculo peso de las unidades de gavión .....	36
<b>Tabla 6.</b> Resultados ensayos al deslizamiento y volcamiento .....	43
<b>Tabla 7.</b> Resultados del ensayo de carga vertical .....	44
<b>Tabla 8.</b> Costo de unidad de gavión .....	49
<b>Tabla 9.</b> Factores de seguridad al deslizamiento .....	61
<b>Tabla 10.</b> Factores de seguridad al volcamiento .....	62

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO A.</b> Ensayo a compresión de las botellas PET.....	67
<b>ANEXO B.</b> Análisis de costos de las unidades de gavión.....	69
<b>ANEXO C.</b> Imágenes.....	71

## RESUMEN

**TITULO:** ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN LABORATORIO DE UN GAVIÓN UTILIZANDO COMO RELLENO BOTELLAS PET (POLIETILENO TEREFTALATO) RECICLADAS\*.

**AUTORES:** JULIAN ALBARRACIN CORZO, ALVARO BELTRAN GARCIA\*\*.

**PALABRAS CLAVE:** medio ambiente, botellas PET, mezcla óptima, gavión.

### DESCRIPCION:

En este trabajo de investigación se busca incentivar y generar conciencia sobre la importancia del cuidado del medio ambiente, lo que en este se plantea es básicamente una idea que surge a raíz del riesgo que están generando los desechos plásticos especialmente las botellas PET (polietileno de tereftalato) a nuestro entorno, riesgo que cada vez es más evidente y que se refleja en la gran acumulación de este material en los rellenos sanitarios, vertederos de basura a cielo abierto o simplemente en la superficie terrestre; la idea se fundamenta principalmente en darle un uso alternativo a este material después de que se le ha utilizado, evitando de esta manera todo tipo de contaminación que este pueda generar. En el presente artículo se describe la construcción de un gavión utilizando como material de relleno estas botellas PET desechadas y se analiza su estabilidad mediante ensayos de laboratorio al deslizamiento, volcamiento y a una carga vertical; esta estructura, a su vez fue comparada con un gavión tradicional en roca sometido a iguales condiciones de carga y en base a los resultados obtenidos se definieron unos posibles usos que se le pueden dar a este tipo de gavión, usos que van dirigidos principalmente a servir como solución a problemas de contención y estabilización de taludes o rellenos de tierra, así como también de evitar la erosión y socavación de un cauce de agua en las riveras del mismo, o simplemente a sitios o lugares de difícil acceso y donde el material granular sea bastante escaso.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, Director M.Sc. Luis Alberto Capacho Silva

## ABSTRACT

**TITLE:** ANALYSIS OF STABILITY IN LABORATORY OF A GABION USING AS FILLING RECYCLED PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) BOTTLES\*.

**AUTHORS:** JULIAN ALBARRACIN CORZO, ALVARO BELTRAN GARCIA\*\*.

**KEYWORDS:** environment, PET bottles, optimum mix, gabion.

### DESCRIPTION:

This research seeks to encourage and raise awareness about the importance of protecting the environment, at issue is basically the treatment of plastic waste, especially PET bottles (polyethylene terephthalate), due to risk posed to our environment, risk is increasingly evident and that is reflected in the large accumulation of this material in landfills, garbage dumps open or simply on the Earth's surface; the idea is based mainly on giving an alternative use to this material after it has been used, thus preventing any contamination that this can generate. In this paper the construction of a gabion is described using as filler these bottles PET discarded and stability is analyzed by laboratory tests skid, overturning and a vertical load; this structure in turn was compared with a traditional rock gabion subjected to the same loading conditions and based on the results were defined possible uses that can be given to this type of gabion, uses that are directed primarily to serve as a solution to problems of containment and slope stabilization or landfills, as well as prevent erosion and undermining of a waterway on the banks thereof, or just places of difficult sites access and where the granular material is pretty lame.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Mechanical Physical Engineering. School of Civil Engineering. Director M.Sc Luis Alberto Capacho Silva.

## INTRODUCCIÓN

La preocupación por el cuidado del medio ambiente cada vez es mayor, especialmente cuando nosotros los seres humanos somos conscientes de los daños que le causamos, al que consideramos nuestro hogar. Estos daños cada vez se hacen más evidentes, debido a los altos niveles de contaminación generados, que se suman a la falta de cultura y amor por nuestro entorno, y sobre todo compromiso con la naturaleza.

Actualmente los desechos plásticos, especialmente las botellas PET (polietileno de tereftalato), se han convertido en una gran amenaza para el medio ambiente; debido a la alta producción y al poco reciclaje de este material después de darle su respectivo uso; lo que ligado al alto tiempo de descomposición, hace que cada día su acumulación en los rellenos sanitarios o vertederos de basura a cielo abierto sea cada vez mayor.

Por lo dicho anteriormente; el buscar alternativas de solución y fomentar la idea de una ingeniería que valla de la mano con los temas ecológicos, es un reto importante para el ser humano; es por esta razón, que en el presente artículo se plasma la idea de darle un uso alternativo al PET desechado, utilizándolo como material de relleno en un gavión. Además, a este se le realizó unos ensayos al deslizamiento, volcamiento y carga vertical en el laboratorio, para determinar qué tan estable es esta estructura en comparación con un gavión lleno de material granular sometido a las mismas condiciones.

## 1. GAVIÓN

El gavión consiste en un recipiente; por lo general, paralelepípedo de alambre galvanizado lleno de cantos de roca [1], que se considera una estructura de contención que funciona por gravedad, pues su propio peso es el que le otorga la estabilidad; por ende, su uso se enfoca básicamente a servir de solución a problemas:

- geotécnicos
- hidráulicos

el gavión en sí está compuesto, básicamente por unidades de mallas de alambre galvanizado en forma de cajones generalmente, estos están llenos de cantos o rocas unidos entre sí por medio de amarres de alambre, garantizando que la estructura se comporte de forma monolítica.

El propósito de este proyecto es estimar, que tan estable es una unidad de gavión relleno de botellas PET plásticas, en relación con una unidad de gavión lleno de cantos de roca, sometiendo ambas estructuras a iguales condiciones de análisis.

## 2. UNIDAD DE GAVIÓN RELLENO DE BOTELLAS PET

Según Jaime Suárez Díaz, los gaviones de cuerpo tienen las siguientes medidas [2]:

- Ancho = 1 m
- Largo = 2m, 3m, o 4 m
- Alto = 0,5m o 1m

Para la construcción de las unidades de gavión en estudio, se fijó un tamaño de (0,5 m de alto, 0,5m de ancho, 1,5 m de largo). Estas dimensiones se definieron, mediante el tamaño y posicionamiento de las botellas dentro de la malla. En cuanto a, los materiales que se utilizaron para el armado del gavión fueron los siguientes:

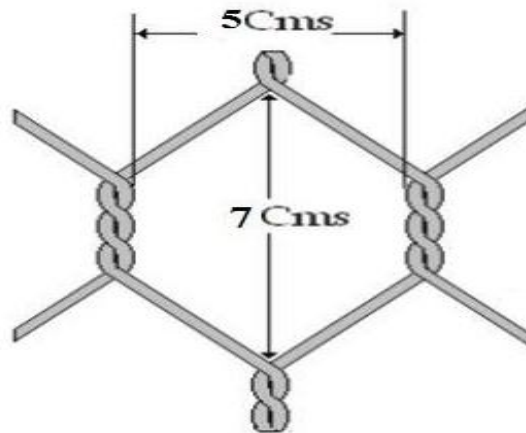
### 2.1 MALLA

Aunque existen varios tipos de malla con características propias, para el armado del gavión se utilizó una malla hexagonal de triple torsión; debido a que, la abertura de la malla se ajustaba al tamaño de la botella evitando de esta forma la salida del material que se utilizó como relleno. La malla hexagonal se ha constituido en un material importante en la construcción de gaviones en todo el mundo, una de sus características importantes es que, permite tolerar esfuerzos en varias direcciones sin que se produzca rotura, lo cual las hace más flexibles ante movimientos en cualquier dirección. Otra ventaja de este tipo de mallas, consiste en que al romperse un alambre en un punto determinado, la malla no se abrirá por completo como ocurre con la eslabonada [3].

Características de la malla utilizada:

- Malla de 7cm X 5cm de escuadría.
- Alambre calibre BWG 11 ( $\phi = 3.05\text{mm}$ ).
- Malla de Alambre galvanizado

**Figura 1.** Abertura de la malla del gavión



## 2.2 ALAMBRE

Los diámetros mínimos de los alambres deberán cumplir los requisitos mencionados en la siguiente Tabla 1.

**Tabla 1.** Diámetro mínimo y usado de los alambres

Característica	INVIAS Art. 681 Diámetro min. (mm). [4]	Diámetro usado (mm)	Calibre BWG
Malla	3.00	3.05	11
Aristas y Bordes	3.80	3.76	9
Templetes	2.20	2.77	12
Amarres	2.20	2.77	12

Fuente: Elaboración propia, utilizando información suministrada por INVIAS.

## 2.3 MATERIAL DE RELLENO

Para el material de relleno de la unidad de gavión, se utilizó un tamaño de botella PET de 600 ml, llenas a su vez de la **mezcla 2** (mezcla optima) que se seleccionó en el capítulo 2.4 ensayo a compresión de las botellas, la cual; en cuanto a, resistencia y peso fue la que tuvo un mejor comportamiento.

### 2.3.1 Criterios de dosificación

Para determinar la mezcla optima, se realizaron diferentes tipos dosificaciones, en donde la arena, el cemento y un suelo común fueron los materiales principales, utilizados de la siguiente manera:

Mezcla 1 (Solo arena).

Mezcla 2 (1cemento:4 arena; mezcla Seca).

Mezcla 3 (1cemento:4 arena; 5% agua).

Mezcla 4 (1cemento:5 arena; mezcla seca).

Mezcla 5 (1 cemento: 5 arena; 5% agua).

Mezcla 6 (1 cemento: 6 arena; Seca).

Mezcla 7 (1cemento:6 arena; 5% agua).

Mezcla 8 (Solo Suelo común).

Mezcla 9 (1 Suelo común: 4 arena).

Mezcla 10 (1 Suelo común: 5 arena).

Mezcla 11 (1Suelo común: 6 arena).

### 2.3.2 Proceso de mezclado

La arena y el suelo se pasaron por el tamiz N° 4, en donde el diámetro de sus partículas ingresaban sin esfuerzo alguno en el interior de la botella; una vez, tamizados estos materiales se realizaron las mezclas descritas en el capítulo

2.3.1; para las mezclas que contenían agua se definió, un porcentaje de 5%, ya que, se evidencio que con esta cantidad, la consistencia de la mezcla era tal, que permitía un llenado rápido y fácil de las botellas.

Para las mezclas 9-10-11, el suelo común se pasó también por el tamiz N° 80, con el propósito de reducir vacíos y obtener una mezcla con mayor densidad. Cabe aclarar que para cada una de las mezclas, la dosificación de cada material se medía mediante cucharadas de la siguiente forma:

Ejemplo:

Mezcla 2 (1cemento:4 arena; mezcla Seca).

Para esta mezcla se tomaba 10 cucharadas de cemento y se revolvió con 40 cucharadas de arena, hasta obtener una mezcla homogénea.

Mezcla 3 (1cemento:4 arena; 5% agua)

Para las mezclas con agua se tomaba la misma proporción de materiales como en la mezcla seca, pero se le adicionaba el 5 % del total de la mezcla seca en agua.

### **2.3.3 Proceso de llenado de las botellas**

El proceso de llenado de la botella de 600 ml con cada una de las mezclas definidas, se realizó manualmente con ayuda de un embudo, en dónde se iba introduciendo la mezcla dentro de la botella por capas, una vez se introducía la primera capa de la mezcla, se golpeaba la botella contra una superficie de forma suave, para permitir que las partículas de la mezcla se acomodaran, este procedimiento se repetía hasta que la botella estuviera totalmente llena, no presentara abolladuras y al presionarla no se hundiera ninguna de sus caras, una vez las botellas cumplían con estos requisitos se procedía a sellar mediante su tapa.

**Figura 2.** Imagen de llenado de Botellas PET



## 2.4 ENSAYO A COMPRESION DE LAS BOTELLAS

Para determinar la mezcla optima, se llenaron 6 botellas de 600 ml, para cada una de las 11 mezclas en estudio, una vez hecho esto, se realizaron pruebas de resistencia máxima de las botellas llenas sometidas a cargas de compresión, en la prensa hidráulica de la Universidad Industrial de Santander, para esto, se ensayaron 3 botellas sometidas a carga axial y 3 botellas a carga transversal. Cabe resaltar, que las botellas llenas con las mezclas 3,5,7 se ensayaron 8 días después, permitiendo de esta forma que la mezcla (cemento-arena-agua) tomara la resistencia suficiente para su respectivo ensayo. En las figuras 3 y 4, se ilustra el posicionamiento de las botellas en la prensa hidráulica, para el ensayo a compresión.

**Figura 3.** Ensayo de Botella PET, sometida a carga transversal.



**Figura 4.** Ensayo de Botella PET, sometida a carga axial.



Una vez se ensayaron todas las botellas, se puede evidenciar por medio de los resultados, que las botellas llenas con la mezcla 2 (1 cemento:4 arena; mezcla Seca), soportan mayor carga transversal, respecto a las botellas llenas con las otras mezclas.

En la tabla 2 se resumen los resultados de la resistencia de las botellas sometidas a carga axial y transversal; así como, el peso de cada una de las botellas rellenas con la mezcla 2.

**Tabla 2.** Resistencia a la compresión de la botella llena con la Mezcla 2 (1 cemento:4; Mezcla Seca)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.214	149.3	Carga transversal
2	1.192	152.6	
3	1.198	136.1	
4	1.199	8.4	Carga axial
5	1.214	7.3	
6	1.200	7	

Los resultados de los ensayos a compresión de las botellas llenas con los otros tipos de mezcla se pueden observar en el **ANEXO A** ensayo a compresión de las botellas PET.

## 2.5 MODOS DE FALLA Y DEFORMACION DE LAS BOTELLAS PET

Al ensayar las botellas PET, en la prensa hidráulica, se observó que todas las botellas sometidas a carga transversal, presentaban aplastamiento y fisuras como se observa en la figura 5. Estas fisuras, por lo general, aparecían a los lados de la botella; tal hecho, se puede afirmar que se debía, a que el plástico sufría una deformación hacia los lados hasta el punto de falla. En cuanto a las botellas sometidas a carga axial, no resistían mucho, ya que su tapa se hundía dentro del cuerpo de la botella, como se aprecia en la figura 6.

**Figura 5.** Fisuras de una botella PET sometida a carga transversal



**Figura 6.** Deformación de una Botella PET sometida a carga axial.



### 3. UNIDAD DE GAVION RELLENO CON CANTOS DE ROCA

Con el propósito de garantizar semejanza en las condiciones de análisis de las unidades de gaviones en estudio; se fijó para la unidad de gavión tradicional relleno con cantos de roca, igual tamaño, malla y alambres del gavión relleno con botellas plásticas. Con respecto, al material de relleno se especifica a continuación:

#### 3.1 MATERIAL DE RELLENO

El material de relleno utilizado para la unidad de gavión tradicional, consistió básicamente en cantos de roca provenientes del río de oro, más específicamente en el tramo que atraviesa a la cabecera municipal de Girón Santander. Este tiene las características que se aprecian en la tabla 3.

**Tabla 3.** Características de los cantos de roca.

<b>Característica</b>	<b>Según I.N.V.E Art. 681-13 [5]</b>	<b>Usado</b>
<b>Granulometría</b>		
<b>Tamaño máximo (mm)</b>	200	200
<b>Tamaño mínimo (mm)</b>	100	110
<b>Masa Unitaria (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1250	1225
<b>Resistencia Mecánica (KN)</b>		80.8

Fuente: Elaboración propia, utilizando información suministrada por INVIAS.

#### 4. SUELO DE FUNDACIÓN

Para semejar el comportamiento en campo de las unidades de los gaviones en estudio, se construyó una base como suelo de fundación, esta se observa en la figura 7; la cual, tenía como propósito garantizar una superficie que proporcione una buena capacidad de soporte, y que permitiera la fricción entre el suelo y las estructuras.

**Figura 7.** Suelo de fundación.



##### 4.1 CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE FUNDACIÓN

Para el suelo de fundación se utilizó un suelo común, del cual se tomó una muestra y se llevó al laboratorio donde se le realizaron ensayos de: Granulometría (I.N.V.E 123-07) [6], Limite líquido (I.N.V.E 125-07)[7], Limite plástico e Índice de plasticidad (I.N.V.E 126-07)[8], Compactación Próctor modificado (I.N.V.E 142-07)[9], Ensayo de Corte Directo en condición consolidada drenada (CD) (I.N.V.E 154-07)[10]; para la caracterización del material.

**Tabla 4.** Caracterización del suelo.

<b>Granulometría</b>	<b>Gravas %</b>	<b>7.087</b>
	Arenas %	21.860
	Finos %	71.053
<b>Límites de Attemberg</b>	Limite líquido	38.8
	Limite plástico	21.15
	Índice de plasticidad	17.65
<b>Clasificación</b>	AASHTO	A-6
	SUCS	CL
<b>Humedad optima [%]</b>		8.2
<b>Densidad seca máxima [Kg/m<sup>3</sup>]</b>		2111
<b>Cohesión [Kg/m<sup>2</sup>]</b>		420
<b>Angulo de fricción [°]</b>		26

## 5. PROCESO CONSTRUCTIVO UNIDADES DE GAVION

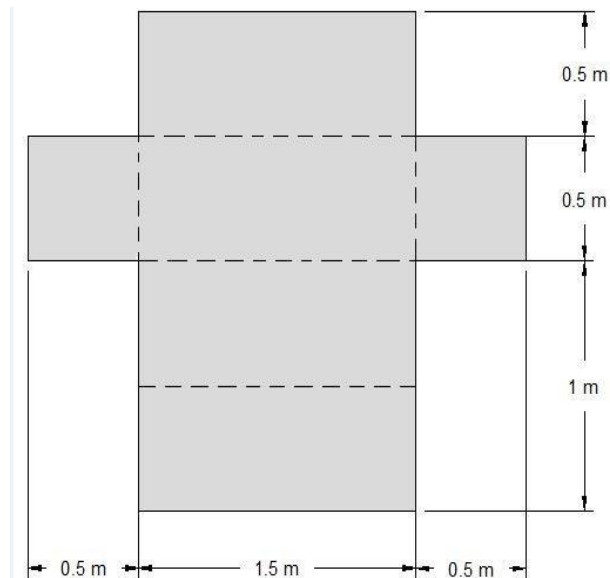
Una vez se adecuó el suelo de fundación, se procedió al respectivo armado de las unidades de gavión en estudio; el armado se realizó en base a las normas y especificaciones técnicas del INVIAS 2012.

### 5.1 UNIDAD DE GAVIÓN RELLENO DE BOTELLAS PET

#### 5.1.1 Adecuación de la malla

La malla hexagonal de triple torsión para gavión; por lo general, se fabrica con dimensiones estándar; 1 m de ancho, 1 m de alto y 2 m de largo; pero debido a que, las unidades de gavión en estudio tenían un fin investigativo, y teniendo en cuenta el tamaño de las botellas y su posicionamiento dentro de la estructura, se redujo en 50% el alto y el ancho y 25 % en el largo, en la figura 8 se observa el tamaño final de la malla.

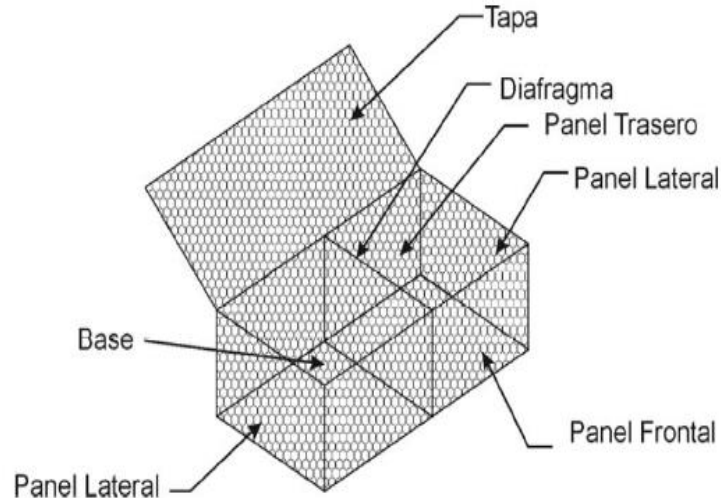
**Figura 8.** Dimensiones de la malla extendida.



### 5.1.2 Armado de la canasta

Una vez adecuada la malla se armó el cajón, que se le dio la forma de paralelepípedo, para esto, se procedió a coser mediante alambre cada una de las aristas de los paneles laterales con las aristas del panel trasero y frontal respectivamente, el proceso de cosido se realizó de tal forma, que el alambre pasara cosiendo todos y cada uno de los espacios de las aristas de los paneles a unir. En la figura 9 se muestra las partes de un gavión.

**Figura 9.** Partes de un gavión



Fuente: Instituto Nacional de Vías

### 5.1.3 Entibado

En el proceso de entibado, se procedió a colocar en los paneles frontal y trasero una especie de formaleta en madera, con el propósito de garantizar la regularidad del gavión y facilitar su proceso de llenado.

**Figura 10.** Entibado del gavión



Una vez armada la canasta y la colocación del entibado, se procedió a llenar la unidad de gavión con las botellas PET, este proceso se realizó manualmente teniendo en cuenta los pasos que se especifican en los siguientes capítulos. El posicionamiento de las botellas dentro de la malla que aquí se especifica es el más óptimo.

#### **5.1.4 Posicionamiento de las botellas**

En el proceso de llenado, las botellas se colocaron acostadas; de tal forma que, quedaran paralelas al panel frontal y trasero de la unidad del gavión, esta posición se fijó en base a los resultados realizados a compresión de los envases llenos; en los cuales, se puede evidenciar que las botellas ubicadas en esta forma presentan un mejor comportamiento mecánico. Una vez se definió su ubicación, se colocaron en el fondo de la malla las botellas hasta obtener la primera hilada, las botellas de la segunda hilada se colocaron en el espacio medio de las botellas de la primera hilada, con el propósito de garantizar la menor cantidad de espacios vacíos, así como también tratar que las botellas quedaran trabadas; este proceso se repitió hasta completar la 9 hilada, como se nota en la figura 11.

**Figura 11.** Hiladas de las botellas



En la figura 12 y 13, se puede evidenciar el cambio de dirección de las botellas; esto debido a que, el diámetro inferior del envase es mayor a su diámetro superior, lo que hace que la botella no sea horizontalmente estable.

**Figura 12.** Posicionamiento de las botellas



**Figura 13.** Cambio de dirección botellas acostada



### 5.1.5 Tirantes o conectores

Con el propósito de darle rigidez y evitar la deformación de la unidad del gavión, ejercida por el material de relleno, se colocaron tirantes de alambre de forma horizontal; los cuales unían los paneles opuestos de la malla, así como, conectores diagonales en las esquinas de la estructura. El posicionamiento de los tirantes se hacía una vez se rellenaba la malla con tres hiladas de envases; las figuras 14, 15 y 16 se puede evidenciar el distanciamiento de los conectores.

**Figura 14.** Tirantes entre panel frontal y trasero, espaciamiento cada 25 cm.



**Figura 15.** Tirantes entre paneles laterales, espaciamiento cada 10 cm.



**Figura 16.** Conectores diagonales.



### 5.1.6 Costura y cierre

Teniendo la canasta llena hasta al tope de botellas PET, se cosió de forma continua la tapa a los bordes superiores de los paneles, garantizando así que la estructura se comporte de forma monolítica y pueda resistir grandes cargas. Este cierre de la tapa y la finalización de la construcción del gavión se observa en las figuras 17 y 18.

**Figura 17.** Costura y Cierre de la tapa de la canasta.



**Figura 18.** Gavión con Botellas PET terminado.



## 5.2 UNIDAD DE GAVIÓN RELLENO CON CANTOS DE ROCA

Para la construcción de esta unidad de gavión, se siguió el mismo proceso constructivo hasta el entibado de la unidad de gavión relleno con botellas PET, seguidamente se llenó con una primera capa de roca, de aproximadamente de 17 cm de altura, teniendo en cuenta que, al acomodar los cantos se obtuviese el menor porcentaje de vacíos, una buena trabazón entre las piedras y que las partículas más pequeñas quedaran hacia el centro y las más grandes junto a la malla.

Una vez rellena la canasta con la primera capa de roca, se empezó a colocar los tirantes horizontales con espaciamiento de 30 cm, entre el panel frontal y trasero y de 17 cm, entre los paneles laterales; así como, los tirantes diagonales en las 4 esquinas, todo esto con el propósito de controlar la deformación por el empuje del material de relleno. Este proceso se continuó hasta completar el volumen de la unidad de gavión, una vez lleno se procedió a cerrar la unidad de gavión.

## 6. PESO DE LAS UNIDADES DE GAVIÓN

Sabiendo que el peso es un factor importante en un gavión, pues es este, el que le otorga en gran parte la estabilidad; su cálculo para cada unidad en estudio, se trató de hacer de forma precisa, para esto se pesó cada una de las botellas y rocas que componían el material de relleno de cada estructura. En la tabla 5 se evidencian los resultados.

**Tabla 5.** Calculo peso de las unidades de gavión  
 (Alto=0,5, ancho=0,5, largo=1,5)

<b>Gavión Tradicional</b>	<b>No de Rocas</b>	<b>257</b>
	Peso promedio roca (kg)	2.508
	Desviación Estándar (kg)	0.946
	<b>Peso Gavión (Kg)</b>	<b>644.4</b>
	<b>Peso Específico (T/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,72</b>
<b>Gavión (Botellas PET)</b>	No de Botellas	468
	Peso promedio botella (Kg)	1.178
	Desviación estándar (Kg)	0.015
	<b>Peso Gavión (Kg)</b>	<b>551.3</b>
	<b>Peso Específico (T/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,47</b>

## 7. ESTABILIDAD EN LABORATORIO DE LAS UNIDADES DE GAVION

Los gaviones se diseñan básicamente, para que resistan al deslizamiento y volcamiento; producto del empuje activo del suelo. En este caso, se simuló en el laboratorio la fuerza que produce el suelo, mediante un gato hidráulico; al cual, se le adaptó un manómetro y unas placas, para transmitir las fuerzas a la unidad de gavión relleno de botellas PET y de roca. A continuación se muestra más detalladamente los ensayos realizados a las estructuras en estudio.

### 7.1 ENSAYO AL DESLIZAMIENTO

Para determinar la resistencia al deslizamiento de las unidades de gavión en estudio, se les aplicó una carga horizontal mediante un gato hidráulico. Dicha carga fue distribuida uniformemente; por medio, de una placa de madera, que se le colocó al panel trasero de cada estructura. La fuerza aplicada por el gato hidráulico, se ubicó aproximadamente a  $H/3$  de la base de cada estructura; la cual, equivale aproximadamente 17 cm de altura. En las figuras 19, 20 y 21, se pueden apreciar algunas imágenes de los ensayos al deslizamiento realizados.

**Figura 19.** Simulación empuje activo del suelo al gavión con cantos de roca



**Figura 20.** Desplazamiento de la unidad de gavión relleno de botellas PET.



**Figura 21.** Presión máxima (16 bar) a la cual se desplazó el gavión relleno de botellas PET.



## 7.2 ENSAYO AL VOLCAMIENTO

Para simular el volcamiento de las estructuras; debido al empuje del suelo, se colocó un apoyo en el punto de giro de las unidades del gavión; con el propósito de evitar que se deslizaran. Una vez apoyado, se le aplicó la fuerza; por medio del gato hidráulico, como se hizo en el ensayo al deslizamiento a una altura de  $H/3$  de la base de cada estructura. En las figuras 22, 23, 24 y 25; se puede evidenciar imágenes del ensayo.

**Figura 22.** Apoyo para evitar el deslizamiento de la estructura



**Figura 23.** Levantamiento, ensayo al volcamiento



**Figura 24.** Volcamiento de la estructura



**Figura 25.** Presión máxima (36 bar) a la cual se volcó el gavión relleno de botellas PET.



### 7.3 ENSAYO CARGA VERTICAL

Con el propósito de establecer, cuántas unidades de gavión se pueden poner verticalmente; se le suministro a las estructuras en estudio una carga en la parte superior de aproximadamente 3 toneladas, como se aprecia en la figura 26; y a su vez, se determinó el asentamiento producto de dicha carga; por medio, de una regleta como se muestra en la figura 27 y 28.

**Figura 26.** Carga Vertical



**Figura 27.** Regleta para medir deformación (se tomó 96 cm como punto de referencia)



**Figura 28.** Deformación vertical de la unidad de gavión de botellas PET, aprox. 2.8 cm.



En el **ANEXO C** de este artículo, se presentan unas imágenes que ilustran con más claridad los procesos constructivos y ensayos que se realizaron.

## 8. RESULTADOS

Al realizar los ensayos al deslizamiento y volcamiento; se tomaron los valores de presión que marcaba el manómetro, justo en el momento, en que las estructuras se deslizaban y volcaban respectivamente. Para obtener el valor de la fuerza, se múltiplo esta presión por el área del pistón del gato hidráulico, dicha área se le conoce como área eficaz y es la que está en contacto con el fluido. Con las ecuaciones (1), (2), y (3) se determinó la fuerza ante las cuales las estructuras resisten las condiciones de carga. Los resultados obtenidos de los ensayos se encuentran en las tabla 6.

$$\text{perimetro del piston} = 19 \text{ cm}$$

$$\text{Area eficaz} = \pi \left( \frac{\text{perimetro}}{2\pi} \right)^2 \quad (1)$$

$$\text{Area eficaz} = \pi \left( \frac{19 \text{ cm}}{2\pi} \right)^2 = 28.72 \text{ cm}^2$$

$$F (\text{Ton}) = A (\text{cm}^2) * \frac{P (\text{bar})}{981} \quad (2)$$

$$F = (28.72 \text{ cm}^2) * \frac{(20)}{981} = 0.586 \text{ Ton}$$

$$Mv = F(\text{Ton}) * \left( \frac{H}{3} \right) (\text{m}) \quad (3)$$

$$Mv = 1.157 * (0.17 \text{ cm}) = 0.197 \text{ Ton} - \text{m}$$

**Tabla 6.** Resultados ensayos al deslizamiento y volcamiento

		<b>Deslizamiento</b>	<b>Volcamiento</b>
<b>Gavión Tradicional</b>	Presión (bar)	<b>20</b>	<b>39.5</b>
	Fuerza (Ton)	<b>0.586</b>	<b>1.157</b>
	Momento(Ton-m)		<b>0.197</b>
<b>Gavión (Botellas PET)</b>	Presión (bar)	<b>16</b>	<b>36.0</b>
	Fuerza (Ton)	<b>0.469</b>	<b>1.055</b>
	Momento (Ton-m)		<b>0.179</b>

Según Jaime Suárez Díaz; la altura máxima prudente para las estructuras de gavión en roca es de 8m [11]; en la tabla 7 se puede observar los resultados de las unidades de gavión en roca y botellas sometidos a una carga vertical de 3 toneladas, siendo esta la máxima carga que soporta la unidad de gavión de PET y bajo la cual se pudo observar que las botellas se desacomodan, lo que hacía que la estructura, perdiera su forma original.

Con la ecuación (4) se determinó la Hmax de un muro de gavión con botellas PET

$$H_{max} = H_u \left( 1 + \frac{W_{max}}{W_u} \right) \quad (4)$$

H<sub>u</sub>= altura de la unidad de gavión

W<sub>max</sub>= carga máxima soportada por la unidad de gavión

W<sub>u</sub>= peso de la unidad de gavión

$$H_{max} = 0.5m \left( 1 + \frac{3 \text{ Ton}}{0.551 \text{ Ton}} \right)$$

$$H_{max} = 3.22 \text{ m}$$

**Tabla 7.** Resultados del ensayo de carga vertical

	<b>Carga</b>	<b>Deformación</b>	<b>Hmax* del muro</b>
<b>Gavión en roca</b>	3 Ton	1.1 cm	8 m
<b>Gavión (Botellas PET)</b>	3 Ton	2.8 cm	3.22 m

\* Hmax quiere decir altura máxima del muro

## 9. FRICCIÓN ENTRE EL SUELO Y UN GAVIÓN LLENO CON BOTELLAS PET

- a) Cálculo de coeficiente de fricción experimental entre la unidad de gavión de botellas PET y el suelo de fundación, Según resultados obtenidos en laboratorio

$\mu_{eb}$  = Coeficiente de fricción experimental unidad de gavión botellas PET

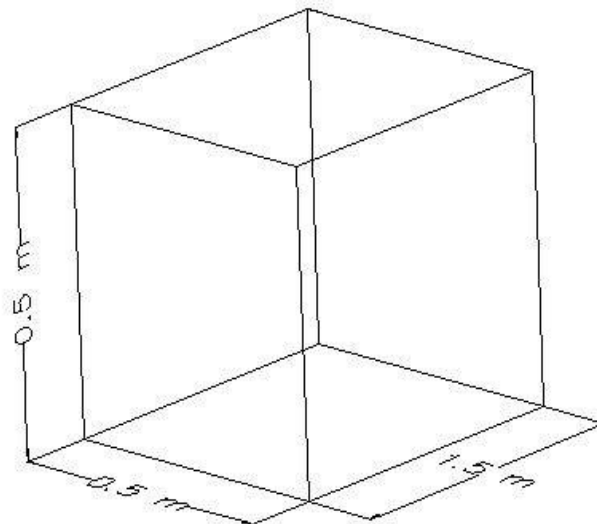
$F_b$  = fuerza máxima a la cual se deslizo la unidad de gavión de botellas

$F_f$  = fuerza fricción

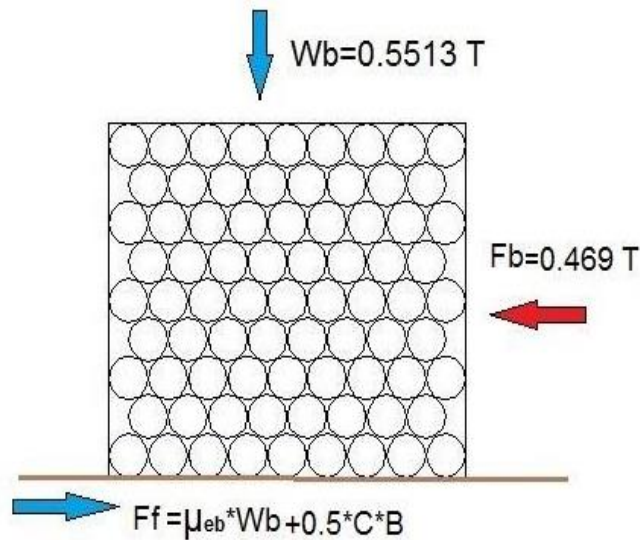
$C$  = cohesión suelo de fundación

$B$  = base de la unidad de gavión

**Figura 29.** Dimensiones de la unidad de gavión en estudio



**Figura 30.** Diagrama de cuerpo libre del gavión de botellas PET



$$\sum F_x = 0 = F_b - F_f$$

$$F_f = \mu_{eb} * W_b + 0.5 C * B$$

$$\mu_{eb} = \frac{F_f - 0.5 C * B}{W_b}$$

$$\mu_{eb} = \frac{0.469 T - 0.5 * \left(0.42 \frac{T}{m^2}\right) * 0.5 m}{0.5513 T}$$

$$\mu_{eb} = 0.660$$

- b) Cálculo de coeficiente de fricción experimental entre la unidad de gavión de roca y el suelo de fundación, Según resultados obtenidos en laboratorio

$\mu_{er}$  = Coeficiente de fricción experimental unidad de gavión de roca

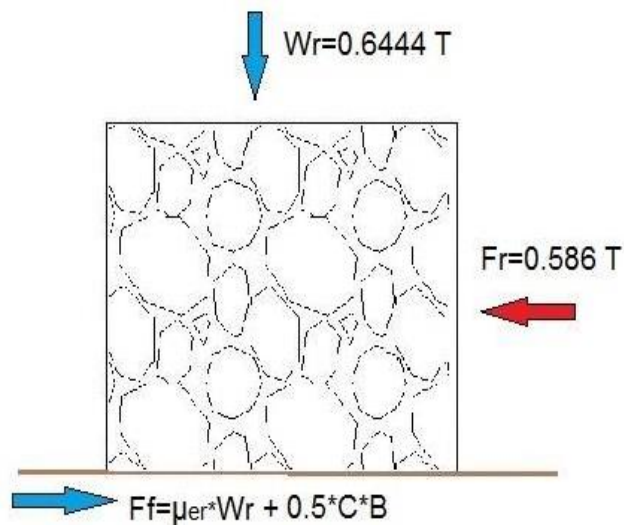
$F_r$  = fuerza máxima a la cual se deslizo la unidad de gavión de roca en el laboratorio.

$F_f$  = fuerza fricción

$C$  = cohesión suelo de fundación.

$B$  = base de la unidad de gavión

**Figura 31.** Diagrama de cuerpo libre del gavión con cantos de roca



$$\sum F_x = 0 = F_r - F_f$$

$$F_f = \mu_{er} * W_r + 0.5 C * B$$

$$\mu_{er} = \frac{F_f - 0.5 C * B}{W_r}$$

$$\mu_{er} = \frac{0.586 T - 0.5 * \left(0.42 \frac{T}{m^2}\right) * 0.5m}{0.6444 T}$$

$$\mu_{er} = 0.746$$

c) Calculo del coeficiente de fricción teórico del gavión con botellas PET.

R (%)= Reducción porcentual del coeficiente de fricción experimental, entre la unidad de gavión de botellas y la unidad de gavión de roca

$$R(\%) = \frac{\mu_{er} - \mu_{eb}}{\mu_{er}} * 100\%$$

$$R(\%) = \frac{0.746 - 0.660}{0.746} * 100\%$$

$$R(\%) = 11.5\%$$

Según, Jaime Suárez Díaz para la fricción entre el suelo y un gavión en roca, es prudente emplear un coeficiente de fricción aproximado igual a la  $Tan \frac{3}{4} \phi$  [12]; sin embargo para un gavión lleno de botellas PET la fricción disminuye debido a la superficie lisa de las botellas, por lo que el coeficiente de fricción suelo- gavión de botellas PET está dado por la correlación (5):

Coeficiente de fricción suelo-gavión de botellas PET

$$\mu = Tan\left(\frac{3}{4} \phi\right) * (1 - 0.115)$$

$$\mu = 0.885 * Tan\left(\frac{3}{4} \phi\right) \quad (5)$$

## 10. ANÁLISIS COMPARATIVO

El objetivo principal de este proyecto es estimar, cuál de las unidades de gavión en estudio presenta mejores características en cuanto a factores económicos, mecánicos, ambientales, estéticos, técnicos y durabilidad; para esto, se hizo necesario realizar un análisis comparativo; el cual, está basado en los procesos constructivos, costo de los materiales, transporte y resultados obtenidos en el laboratorio.

### 10.1 ECONÓMICO

El costo de cada una de las unidades de gavión, se sacó en base a un análisis de precios unitarios, realizado a cada una de las estructuras y los cuales se encuentran en el **ANEXO B**. En la tabla 8 se pueden evidenciar el costo de cada una de las unidades de gavión.

**Tabla 8.** Costo de unidad de gavión  
 (Alto=0,5, ancho=0,5, largo=1,5)

TIPO DE UNIDAD	COSTO
<b>Gavión tradicional</b>	\$ 173.305
<b>Gavión con botella PET llena de mezcla optima</b>	\$ 207.238
<b>Gavión con botella PET llena de suelo común.</b>	\$ 153.010

Cabe resaltar, que para la unidad de gavión con botellas PET, en el presente trabajo estas se llenaron con la mezcla óptima; la cual, hace que la estructura sea un 16.4 % más costosa en relación a la unidad de gavión tradicional con cantos de

roca, sin embargo, si las botellas se llenaran con un suelo común, la unidad de gavión con botellas PET sería 11.7 % más económica.

## 10.2 MECÁNICO

La estructura que mejor comportamiento mecánico tiene y que ofrece una mayor estabilidad, con respecto al empuje simulado del suelo, es la unidad de gavión tradicional con cantos de roca, debido a que, esta estructura es 14.45% más pesada que de las botellas PET; lo que se ve reflejado en los resultados de los ensayos realizados al deslizamiento y volcamiento.

## 10.3 ECOLÓGICO

Ambas estructuras se pueden considerar ecológicas; pero es claro, que solo por el hecho, de que las botellas PET, actualmente representan un gran problema ambiental; que puede ser subsanado por el uso alternativo que se le está dando a este material en el presente trabajo después de desechado, hace que el gavión de botellas PET sea una estructura ecológicamente más sobresaliente con respecto a la unidad de gavión tradicional.

## 10.4 ESTÉTICOS

En cuanto a este factor, ambas estructuras son estéticamente agradables; aunque no se puede asegurar que en campo, la unidad de gavión con botellas PET pueda integrarse a la naturaleza, como si ocurre con el gavión tradicional con cantos de roca, sin embargo, debido a la simetría y la forma única de las botellas, esta estructura presenta una mayor regularidad y forma.

## 10.5 TÉCNICOS

Las principales falencias que presenta la unidad de gavión con botellas PET, es que no cuenta con una reglamentación técnica, ni estudios de caracterización, que permitan determinar el comportamiento de la estructura, como si lo tiene la unidad de gavión de roca. Asimismo, su proceso constructivo es mucho más demorado, debido al llenado de las botellas; aunque una vez se tengan estas listas, el tiempo de armar el gavión es mucho más rápido y cómodo en relación al gavión con material granular.

## 10.6 DURABILIDAD

Debido a que a que las botellas PET en el medio ambiente tienen un periodo de degradación que calculado oscila entre 200 a 300 años, se puede garantizar, con base a estos periodos la durabilidad del material de relleno del gavión.

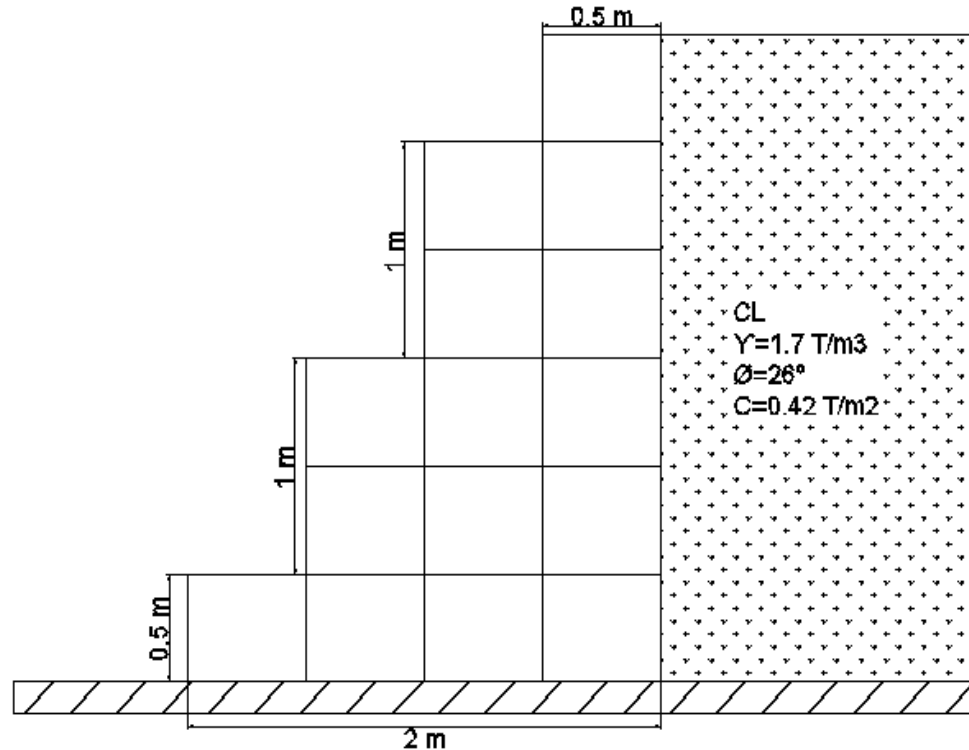
## 11. APLICACIONES

Las siguientes aplicaciones de la estructura de gavión llena con botellas PET; la cual fue objeto de estudio en este trabajo de investigación, se basan principalmente en el comportamiento de la estructura en el laboratorio. Cabe resaltar, que no se puede afirmar que en campo la estructura se comporte de la misma forma, pero es claro que esta estructura con base al análisis comparativo realizado anteriormente puede ser de gran utilidad, por lo que es válido estimular sus usos para:

- Protección y estabilización de taludes de alturas no superior a 3.22 m.
- Para contención de rellenos y terraplenes de alturas no superiores a 3.22 m.
- Evitar la erosión y socavación de un cauce de agua en las riveras del mismo, teniendo en cuenta, que las botellas son poco resistentes a la abrasión, por lo que, se recomienda utilizar un recubrimiento en concreto de la estructura en contacto con el agua.
- Lugares de difícil acceso en donde el material granular es bastante escaso o el transporte de este sea tedioso.
- Usos estéticos en obras urbanísticas y arquitectónicas

### 11.1 EJERCICIOS DE APLICACIÓN

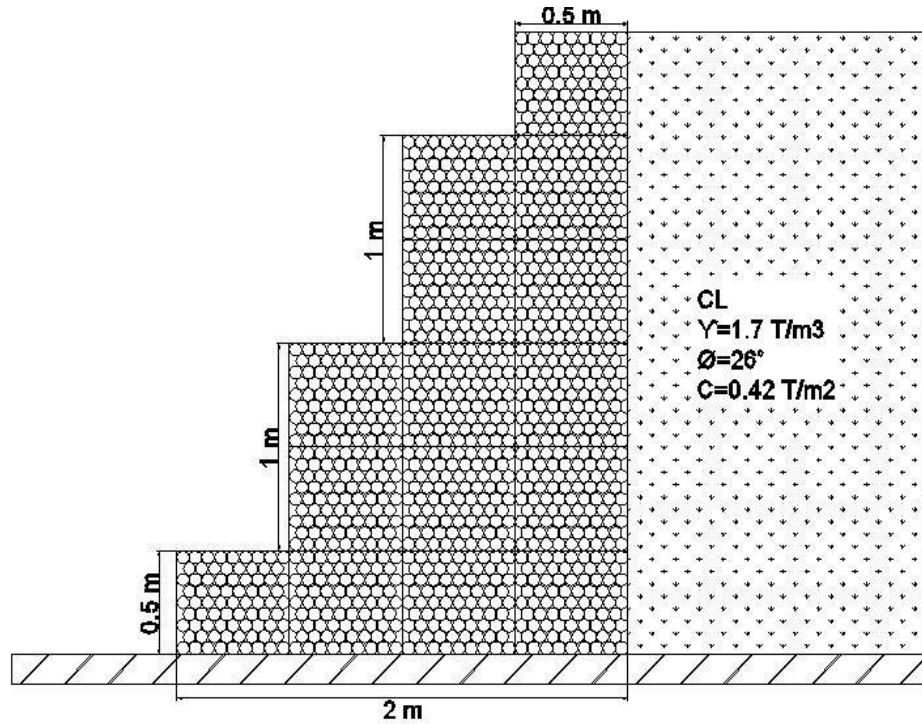
Con el propósito de hacer un análisis comparativo de estabilidad de dos estructuras de contención, se realizaron dos ejercicios, el primero con un muro de gaviones rellenos de botellas PET y el segundo con un muro de gaviones rellenos con cantos de roca. Las dimensiones de ambos muros y las propiedades del relleno a contener se pueden apreciar en la Figura 29.

**Figura 32.** Propiedades del suelo y dimensiones del muro de contención.

### 11.1.1 Ejercicio de contención de un relleno con un muro en gavión lleno de botellas PET

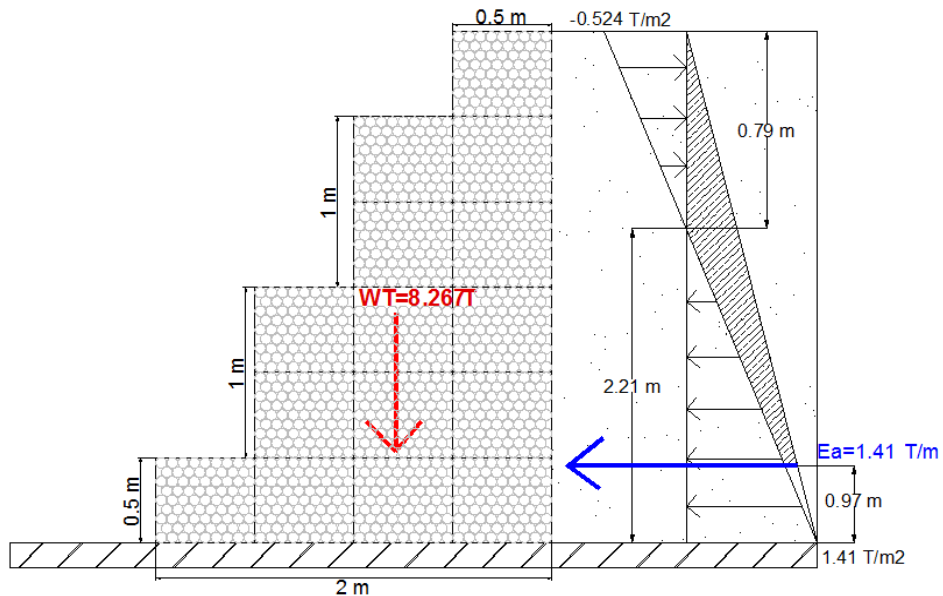
En el siguiente ejercicio de aplicación, se quiere utilizar un muro de gavión con botellas PET para contener un relleno de un suelo que presenta las mismas características del suelo utilizado como plataforma de fundación de las unidades de gaviones ensayadas en el presente artículo y el cual tiene como objetivo estimar los factores de seguridad para determinar qué tan estable es la estructura.

**Figura 33.** Muro de gavión con botellas PET



1. Calculo empuje activo del suelo

**Figura 34.** Diagrama de cuerpo libre del muro de gavión con botellas PET



$K_a$  = coeficiente de empuje activo

$$K_a = \frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi}$$

$$K_a = \frac{1 - \text{sen } 26^\circ}{1 + \text{sen } 26^\circ} = 0.39$$

$E_a$  = empuje activo que produce el suelo

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2 C H \sqrt{K_a}$$

$$E_a = \frac{1}{2} * 1.7 * 3^2 * 0.39 - 2 * 0.42 * 3 * \sqrt{0.39}$$

$$E_a = 1.41 \frac{T}{m}$$

2. Cálculo del momento por volcamiento producto del empuje activo.

$$M_a = E_a * Y_c$$

$$Y_c = \frac{\sum A * y}{\sum A}$$

$$Y_c = \frac{0.52 * 0.79 * 2.74 + 2.22 * 1.41 * 0.74}{(0.52 * 0.79 + 2.22 * 1.41)}$$

$$Y_c = 0.971 \text{ m}$$

$$M_a = 1.41 T * 0.971 \text{ m} = 1.37 T * \text{m}$$

### 3. Calculo del peso del muro de gavión en botellas PET

Wb= peso de una unidad de gavión

$$Wb = 0.5513 T$$

WT= peso Total del muro

$$WT = 0.5513 T * 15 = 8.27 T$$

### 4. Calculo de la fricción suelo- muro

$$\mu = 0.885 * \tan\left(\frac{3}{4} \phi\right)$$

$$\mu = 0.885 * \tan\left(\frac{3}{4} * 26\right) = 0.313$$

### 5. Calculo de la fuerza estabilizante o fuerza de fricción del muro

$$Ff = \mu * WT + 0.5 C * B$$

$$Ff = 0.313 * 8.27 T + 0.5 * 0.42 \frac{T}{m^2} * 2m$$

$$Ff = 3.01 \frac{T}{m}$$

### 6. Calculo del momento estabilizante para el muro de gavión con botellas PET

$$Me = WT * Xc$$

$$X_c = \frac{0.25(0.25 + 2.25 + 6.25 + 10.5)}{3.75}$$

$$X_c = 1.28 \text{ m}$$

$$Mr = 8.27 T * 1.28 \text{ m}$$

$$Mr = 10.58 T - m$$

## 7. Calculo de los factores de seguridad

Al deslizamiento

$$FS = \frac{Ff}{Ea}$$

$$FS = \frac{3.01}{1.41} = 2.13$$

Al volcamiento

$$FS = \frac{Mr}{Ma}$$

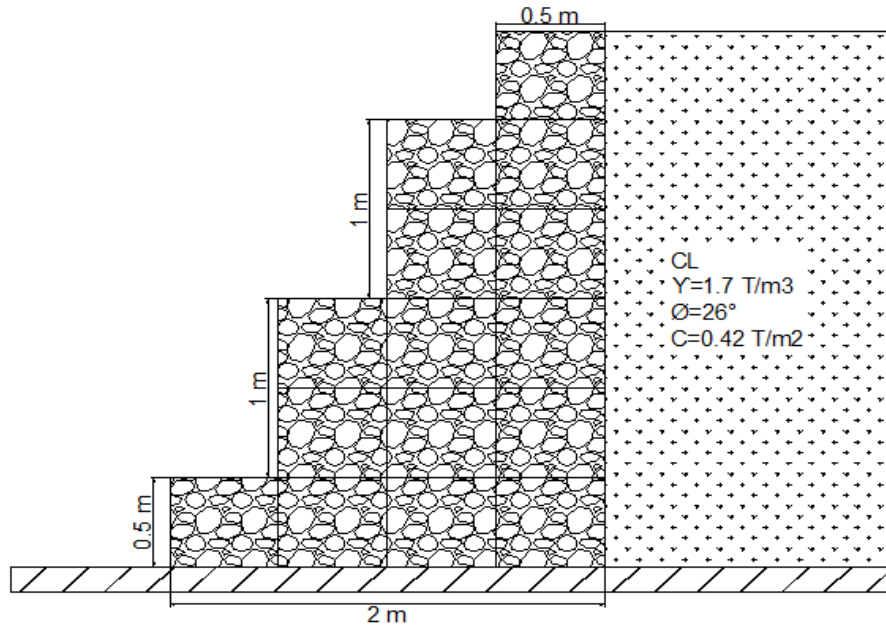
$$FS = \frac{10.58}{1.37} = 7.72$$

### 11.1.2 Ejercicio de contención de un relleno con un muro en gavión tradicional lleno con cantos de roca

Este ejercicio es similar al anterior, en lo que difieren es que los gaviones están lleno con cantos de roca; como se hace comúnmente. El fin del ejercicio es

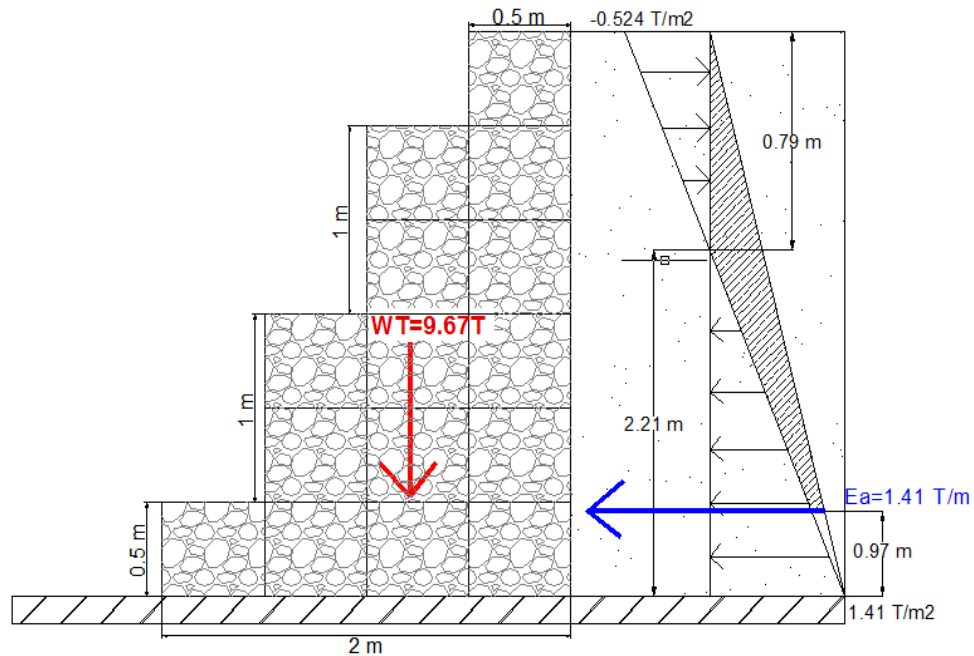
obtener los factores de seguridad, para luego compararlos con los hallados anteriormente y basado en esto analizar la estabilidad de los dos tipos de muros.

**Figura 35.** Muro de gavión con cantos de roca



1. Cálculo empuje activo del suelo

**Figura 36.** Diagrama de cuerpo libre del muro de gavión con cantos de roca



$K_a$  = coeficiente de empuje activo

$$K_a = \frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi}$$

$$K_a = \frac{1 - \text{sen } 26^\circ}{1 + \text{sen } 26^\circ} = 0.39$$

$E_a$  = empuje activo que produce el suelo

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2 C H \sqrt{K_a}$$

$$E_a = \frac{1}{2} * 1.7 * 3^2 * 0.39 - 2 * 0.42 * 3 * \sqrt{0.39}$$

$$E_a = 1.41 \frac{T}{m}$$

2. Cálculo del momento por volcamiento producto del empuje activo.

$$M_a = E_a * Y_c$$

$$Y_c = \frac{\sum A * y}{\sum A}$$

$$Y_c = \frac{0.52 * 0.79 * 2.74 + 2.22 * 1.41 * 0.74}{(0.52 * 0.79 + 2.22 * 1.41)}$$

$$Y_c = 0.971 \text{ m}$$

$$M_a = 1.41 T * 0.971 \text{ m} = 1.37 T * m$$

### 3. Calculo del peso del muro de gavión en botellas PET

$Wb$  = peso de una unidad de gavión

$$Wb = 0.6444 T$$

$WT$  = peso Total del muro

$$WT = 0.6444 T * 15 = 9.67 T$$

### 4. Calculo de la fricción suelo- muro

$$\mu = \text{Tan}\left(\frac{3}{4} \emptyset\right)$$

$$\mu = \text{Tan}\left(\frac{3}{4} * 26\right) = 0.354$$

### 5. Calculo de la fuerza estabilizante o fuerza de fricción del muro

$$Ff = \mu * WT + 0.5 C * B$$

$$Ff = 0.354 * 9.67 T + 0.5 * 0.42 \frac{T}{m^2} * 2m$$

$$Ff = 3.84 \frac{T}{m}$$

### 6. Calculo del momento estabilizante para el muro de gavión con botellas PET

$$Me = WT * Xc$$

$$X_c = \frac{0.25(0.25 + 2.25 + 6.25 + 10.5)}{3.75}$$

$$X_c = 1.28 \text{ m}$$

$$Mr = 9.67 T * 1.28 \text{ m}$$

$$Mr = 12.37 T - m$$

## 7. Calculo de los factores de seguridad

Al deslizamiento

$$FS = \frac{Ff}{Ea}$$

$$FS = \frac{3.84}{1.41} = 2.72$$

Al volcamiento

$$FS = \frac{Mr}{Ma}$$

$$FS = \frac{12.37}{1.37} = 9.03$$

**Tabla 9.** Factores de seguridad al deslizamiento

Deslizamiento	Muro (Botellas PET)	Muro (Cantos de Roca)
Fuerza resistente (T)	3.01	3.84
Fuerza actuante (T)	1.41	1.41
Factor de Seguridad	<b>2.13</b>	<b>2.72</b>

**Tabla 10.** Factores de seguridad al volcamiento

<b>Volcamiento</b>	<b>Muro (Botellas PET)</b>	<b>Muro (Cantos de Roca)</b>
Momento resistente (T-m)	10.58	12.37
Momento actuante (T-m)	1.37	1.37
Factor de Seguridad	<b>7.72</b>	<b>9.03</b>

## 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Según los resultados obtenidos para las estructuras analizadas, se puede afirmar que la unidad de gavión tradicional con cantos de roca resiste 20% y 8,9% más al deslizamiento y volcamiento respectivamente, con relación a la unidad de gavión llena con botellas PET.
- Si las botellas se llenaran con la mezcla óptima el costo de la unidad de gavión con botellas PET es 16.4 % mayor, en comparación a la unidad de gavión lleno con material granular.
- Si las botellas se llenaran con un suelo común el costo de la unidad de gavión con botellas PET es 11.7 % más económica que la unidad de gavión lleno con material granular; sin embargo, no es aconsejable porque la resistencia a la compresión de una botella llena con suelo común disminuye un 57% con respecto a otra llena con la mezcla óptima, lo que afecta en gran proporción el comportamiento mecánico de la unidad de gavión.
- La cantidad de botellas necesarias para una unidad de gavión (Alto=0,5, ancho=0,5, largo=1,5) es 468 botellas.
- Para la fricción entre el suelo y un gavión en botellas PET, es prudente emplear un coeficiente de fricción aproximado igual a  $0.885 \tan \frac{3}{4} \phi$ .
- Se recomienda continuar con el estudio de esta estructura con equipos más especializados, con el fin de medir la carga y la deformación de la unidad de gavión en cualquier dirección con más precisión.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Suárez J, Control de Erosión en Zonas Tropicales, primera edición, Ingeniería de suelos Ltda., Bucaramanga, Noviembre de 2001, Cap. 7, p.227.
- [2] Suárez J, Control de Erosión en Zonas Tropicales, primera edición, Ingeniería de suelos Ltda., Bucaramanga, Noviembre de 2001, Cap. 7, p.242.
- [3] sociedad colombiana de geotecnia, diseño de estructuras de gaviones: muros y recubrimientos, Bogotá D.C, agosto del 2000, pág. 9.
- [4] INVIAS, Cap. 6 Estructuras y Drenajes. Art. 681 Gaviones de Malla de alambre de acero entrelazado, pág. 3.
- [5] INVIAS, Cap. 6 Estructuras y Drenajes. Art. 681 Gaviones de Malla de alambre de acero entrelazado, pág. 8.
- [6] I.N.V.E – 123- 0.7. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
- [7] I.N.V.E – 125- 0.7. Determinación del límite líquido de los suelos.
- [8] I.N.V.E – 126- 0.7. Límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- [9] I.N.V.E – 142- 0.7. Relación de humedad- masa unitaria seca en los suelos (ensayo modificado de compactación).
- [10] I.N.V.E – 154- 0.7. Determinación de la resistencia al corte, Método de corte directo Consolidado drenado (CD).

[11] Suárez J; Deslizamientos: Técnicas de Remediación; primera edición; UIS Escuela de Filosofía; Bucaramanga, 2009, Cap. 3, p.110.

[12] Suárez J, Control de Erosión en Zonas Tropicales, primera edición, Ingeniería de suelos Ltda., Bucaramanga, Noviembre de 2001, Cap. 7, p.246

## BIBLIOGRAFÍA

INVIAS. Estructuras y Drenajes. Art. 681 Gaviones de Malla de alambre de acero entrelazado. 3 p.

LEISTER DE ALMEIDA BARROS, Persio. Manual Técnico: Obras de contención. Maccaferri.

RUIZ VALENCIA, Daniel. Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra. Julio-Diciembre, 2012, vol. 25.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA. Diseño de estructuras de gaviones: muros y recubrimientos. Bogotá D.C, 2000.9 p.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Primera edición, Ingeniería de suelos Ltda. Bucaramanga, 2001.227 p.

SUÁREZ DIAZ, Jaime. Deslizamientos: Técnicas de Remediación. Primera edición; UIS Escuela de Filosofía. Bucaramanga, 2009.110p.

## ANEXOS

### ANEXO A. Ensayo a compresión de las botellas PET

**Tabla 1.** Resistencia a la compresión Mezcla 1 (Solo Arena)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.165	53	C. Transversal
2	1.157	61.9	
3	1.155	57	
4	1.153	8.5	Carga Axial
5	1.163	8.4	
6	1.170	7	

**Tabla 2.** Resistencia a la compresión Mezcla 3 (1:4 Mojada)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.050	80.1	C. Transversal
2	1.122	53.5	
3	1.102	44.4	
4	1.068	60.7	C. Axial
5	1.056	7.2	
6	1.108	7.8	

**Tabla 3.** Resistencia a la compresión Mezcla 4 (1:5 Seca)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.230	76.6	C. Transversal
2	1.234	79.3	
3	1.200	71.1	
4	1.208	8.1	Carga Axial
5	1.201	7.4	
6	1.206	7.2	

**Tabla 4.** Resistencia a la compresión Mezcla 5 (1:5 Húmeda)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.102	44.2	C. Transversal
2	1.104	51.9	
3	1.110	49.6	
4	1.116	7.4	Carga Axial
5	1.020	7	
6	1.112	8.1	

**Tabla 5.** Resistencia a la compresión Mezcla 6 (1:6 Seca)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.234	68.6	C. Transversal
2	1.206	69.7	
3	1.246	70.2	
4	1.238	8.2	Carga Axial
5	1.196	7.5	
6	1.198	7.2	

**Tabla 6.** Resistencia a la compresión Mezcla 7 (1:6 Húmeda)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.078	46.6	C. Transversal
2	1.078	51	
3	1.120	38.2	
4	1.102	7.8	Carga Axial
5	1.082	7	
6	1.054	7.4	

**Tabla 7.** Resistencia a la compresión  
 Mezcla 8 (Solo suelo común)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	0.908	59.6	c. Transversal
2	0.902	62.4	
3	0.896	65.3	
4	0.868	6.1	C. A

**Tabla 8.** Resistencia a la compresión  
 Mezcla 9 (1:4 Seca)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.158	118.5	c. Transversal
2	1.168	124.3	
3	1.166	123.2	
4	1.174	6.4	C. A

**Tabla 9.** Resistencia a la compresión  
 Mezcla 10 (1:5 Seca)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.166	110.3	c. Transversal
2	1.156	107.6	
3	1.146	102.8	
4	1.168	6.7	C. A

**Tabla 10.** Resistencia a la compresión  
 Mezcla 11 (1:6 Seca)

No	Peso (Kg)	Resistencia (KN)	
1	1.164	105.4	c. Transversal
2	1.142	107.3	
3	1.136	102.4	
4	1.146	7	C. A

## ANEXO B. Análisis de costos de las unidades de gavión

**Tabla 11.** Presupuesto Gavión Tradicional

Ítem	Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Parcial
1	Malla hexagonal	m <sup>2</sup>	\$ 75.000	1	\$ 75.000
2	Alambre Galvanizado	kg	\$ 4.200	2.5	\$ 10.500
3	Canto Rodado	m <sup>3</sup>	\$ 70.000	0.375	\$ 26.250
4	Herramienta menor	Globa l	\$ 25.000	1	\$ 25.000
5	Mano de obra (2)	h	\$ 2.600	8	\$ 20.800
Subtotal					\$ 157.550
Imprevistos (10%)					\$ 15.755
<b>Total</b>					<b>\$ 173.305</b>

**Tabla 12.** Presupuesto Gavión con Botellas PET (Lleno de Mezcla optima)

Ítem	Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Parcial
1	Malla hexagonal	m <sup>2</sup>	\$ 75.000	1	\$ 75.000
2	Alambre Galvanizado	kg	\$ 4.200	2.5	\$ 10.500
3	Cemento	bulto	\$ 21.000	2	\$ 42.000
4	Arena	m <sup>3</sup>	\$ 30.000	0.211	\$ 6.330
5	Botellas PET	Kg	\$ 812	14	\$ 11.368
6	Llenado arena-cemento Botellas PET	h	\$ 2.600	5	\$ 13.000
8	Mano de obra de llenado del Gavión	h	\$ 2.600	2	\$ 5.200
7	Herramienta menor	Globa l	\$ 25.000	1	\$ 25.000
Subtotal					\$ 188.398
Imprevistos (10%)					\$ 18.840
<b>Total</b>					<b>\$ 207.238</b>

**Tabla 13.** Presupuesto Gavión con Botellas PET (Suelo común)

Ítem	Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Parcial
1	Malla hexagonal	m <sup>2</sup>	\$ 75.000	1	\$ 75.000
2	Alambre Galvanizado	kg	\$ 4.200	2.5	\$ 10.500
3	Llenado Botellas PET	h	\$ 2.600	7	\$ 18.200
4	Mano de obra de llenado del Gavión	h	\$ 2.600	4	\$ 10.400
5	Herramienta menor	Globa l	\$ 25.000	1	\$ 25.000
Subtotal					\$ 139.100
Imprevistos (10%)					\$ 13.910
<b>Total</b>					<b>\$ 153.010</b>

**ANEXO C Imágenes**

**Figura 1.** Prensa Hidraulica de la Universidad Industrial de Santander



**Figura 4.** Estructura en madera que simula el empuje del suelo



**Figura 2.** Rompimiento de una botella PET que se ensayó con C. Transversal



**Figura 5.** Tirantes horizontales del gavión tradicional



**Figura 3.** Fractura de una roca ensayada a compresión.



**Figura 6.** Cierre y amarre de la tapa del gavión.



**Figura 7.** Carga vertical del Gavión tradicional



**Figura 10.** Tirantes sobre las hiladas de botellas PET



**Figura 8.** Marca de desplazamiento del gavión tradicional



**Figura 11.** Tirantes horizontales del gavión con botellas PET



**Figura 9.** Volcamiento del gavión tradicional



**Figura 12.** Vista lateral del gavión con botellas PET



**Figura 13.** Vista frontal del gavión con botellas PET



**Figura 14.** Deslizamiento del gavión con botellas PET



**Figura 15.** Volcamiento del gavión con botellas PET

