



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

**DISEÑO MURO DE CONTENCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS
DEL MUNICIPIO DE PALÍN, ESCUINTLA**

José Rodrigo Enmanuel Napoleón Guzmán Mejía
Asesorado por el Ing. Julio Napoleón Guzmán Vásquez

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO MURO DE CONTENCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS
DEL MUNICIPIO DE PALÍN, ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ RODRIGO ENMANUEL NAPOLEÓN GUZMÁN MEJÍA
ASESORADO POR EL ING. JULIO NAPOLEÓN GUZMÁN VÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

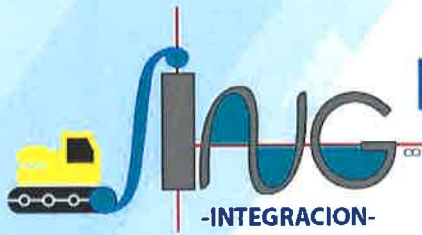
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO MURO DE CONTENCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE PALÍN, ESCUINTLA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 11 de julio del 2021.

José Rodrigo Enmanuel Napoleón Guzmán Mejía




Guatemala, 17 de enero de 2022.

Ingeniero Civil
Armando Fuentes Roca
Coordinador de estructuras
Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Fuentes Roca:

Por medio de la presente le comunico que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación con el tema **“DISEÑO MURO DE CONTENCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE PALÍN, ESCUINTLA”**; elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil **José Rodrigo Enmanuel Napoleón Guzmán Mejía**, quien se identifica con Registro Académico número **200924512** y Documento Personal de Identificación **2398-50491-0101**, considerando que dicho trabajo cumple los requisitos establecidos por la Escuela de Ingeniería Civil. Por lo anterior, doy mi aprobación y recomiendo para su publicación.

Sin otro particular, me suscribo atentamente,


Ingeniero Civil
Julio Napoleón Guzmán Vásquez.
Gerente Integración de ingeniería.
Asesor de trabajo de graduación





ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

El director de la Escuela de Ingeniería Civil y a su vez como coordinador del área de estructuras, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Julio Napoleón Guzmán Vásquez, sobre el trabajo de graduación del estudiante José Rodrigo Enmanuel Napoleón Guzmán Mejía. Quien se identifica con el número de carne 2009-24512, titulado "DISEÑO MURO DE CONTENCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE PALÍN, ESCUINTLA".

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Estructuras
Director de escuela
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, enero 2022/ afr.





LNG.DIRECTOR.053.EIC.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO MURO DE CONTENCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE PALÍN, ESCUINTLA**, presentado por: **José Rodrigo Enmanuel Napoleón Guzmán Mejía**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, marzo de 2022



LNG.DECANATO.OI.131.2022

La Decana 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: **DISEÑO MURO DE CONTENCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE PALÍN, ESCUINTLA**, presentado por: **José Rodrigo Enmanuel Napoleón Guzmán Mejía**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada



Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Señor y Salvador de mi vida.
Mis padres	Ing. Julio Napoleón Guzmán Vásquez y Teresa Zoraida Azucena Mejía Sánchez.
Mi hermano	Ing. Julio José Napoleón Guzmán Mejía.
Mi esposa	Licenciada Virginia Guadalupe Gil Curín.
Mis hijos	Paola Alejandra Mishel, Rodrigo Alexander, Mathías Sebastián, Gianna Victoria del Carmen, Rodrigo Emmanuel Napoleón Guzmán Gil.
Mi familia	En general.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la vida, sabiduría e inteligencia necesaria para culminar mi carrera con éxito.
- Mis padres** Julio Guzmán y Teresa Mejía, por confiar en mí y apoyarme durante todos estos años.
- Mis hermanos** Julio José y Bárbara Guzmán Mejía, por estar a mi lado todo el tiempo y apoyarme.
- Mis maestros** Por compartirme su sabiduría en cada aula que pasé.
- Mis hijos** Paola, Rodrigo, Sebastián, Gianna y Emmanuel Guzmán Gil, por darme la motivación y la energía necesaria para salir adelante.
- Mi esposa** Virginia Gil, por darme dirección y un apoyo en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Residuos sólidos	1
1.2. Propiedades físicas de los residuos sólidos.....	3
1.3. Propiedades químicas de los residuos sólidos.....	5
1.3.1. Lixiviados	5
1.4. Propiedades mecánicas de los residuos sólidos	10
1.5. Compactación de residuos sólidos	12
1.5.1. Selección del equipo de compactación	14
1.5.2. Equipos de monitoreo para residuos sólidos en rellenos sanitarios	15
2. RELLENOS SANITARIOS.....	17
2.1. Tipos de rellenos sanitarios	19
2.1.1. Relleno sanitario mecanizado	19
2.1.2. Relleno sanitario semimecanizado.....	20
2.1.3. Relleno sanitario manual.....	20
2.2. Métodos de construcción de rellenos sanitarios.....	21
2.2.1. Relleno sanitario tipo área	21

2.2.2.	Relleno sanitario tipo zanja o trinchera	22
2.2.3.	Relleno sanitario tipo combinado o rampa	23
2.3.	Principios de funcionamiento del relleno sanitario	23
2.4.	Operación y mantenimiento del relleno sanitario	25
2.5.	Manejo de lixiviados	27
2.6.	Generación de gases	29
2.7.	Instrumentación y control dentro del relleno sanitario.....	30
2.8.	Alertas tempranas en los rellenos sanitarios	35
2.9.	Impacto ambiental de los rellenos sanitarios.	36
2.10.	Posclausura de los rellenos sanitarios.	36
2.11.	Inestabilidad en rellenos sanitarios.....	37
2.12.	Hundimientos y asentamientos en los rellenos sanitarios.....	37
3.	TIPOLOGÍA DE MOVIMIENTO DE TIERRA EN TALUDES	39
3.1.	Causas que provocan fallas en taludes	39
3.2.	Clasificación de las fallas	40
3.3.	Análisis para clasificar los diferentes tipos de falla	43
4.	DISEÑO DE ESTRUCTURAS	47
4.1.	Métodos de diseño	47
4.1.1.	Métodos de obras de contención a gravedad	47
4.1.2.	Métodos de equilibrio límite	48
4.1.3.	Métodos mixtos de equilibrio límite	49
4.1.4.	Métodos de los elementos finitos.....	50
4.1.5.	Método sueco.....	51
4.2.	Verificación de estabilidad de una estructura	51
4.2.1.	Verificación al deslizamiento	51
4.2.2.	Verificación al volcamiento	54

4.2.3.	Verificación de las tensiones transmitidas al terreno	55
4.2.4.	Verificación en secciones intermedias	57
4.2.5.	Seguridad de rotura global	58
5.	PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	61
5.1.	Protección de taludes	61
5.1.1.	Construcción de muros	62
5.2.	Estabilización de taludes	64
5.2.1.	Muros con parámetros externo vertical o escalonado	65
5.2.2.	Muros con escalones a ambos lados	66
5.2.3.	Muros de semigravedad.....	67
5.2.4.	Muros de semigravedad con soleras de anclaje.....	67
5.2.5.	Muros esbeltos de parámetro escalonado anclado	68
5.3.	Generalidades de los gaviones.....	69
5.3.1.	Gavión	69
5.3.2.	Antecedentes de los gaviones en Guatemala	69
5.3.3.	Descripción de los gaviones.....	70
5.3.4.	Características de los gaviones	70
5.3.5.	Tipos de gaviones.....	74
5.3.6.	Características técnicas.....	77
5.3.7.	Análisis estructural de la malla en gaviones.....	77
5.3.8.	Análisis estructural de los materiales para gaviones	79
5.3.9.	Comportamiento en conjunto de una estructura de gaviones en distintos estratos de suelo.....	82
5.3.10.	Geomembrana.....	85

5.3.11.	Geotextil	87
6.	DISEÑO DEL MURO GAVIÓN	89
6.1.	Criterio de cálculo	89
6.2.	Criterios de verificación de estabilidad	90
6.3.	Verificación de deslizamiento	92
6.4.	Verificación de volteo	93
7.	ANÁLISIS DE CUANTIFICACIÓN Y DE COSTOS DE MATERIALES Y MANO DE OBRA.....	95
7.1.	Ejecución	95
7.1.1.	Materiales para la construcción de gaviones	95
7.1.2.	Colocación y armado para la construcción de gaviones	97
7.1.3.	Rendimientos para la colocación de gaviones	101
7.2.	Armado de canastas	103
7.3.	Llenado de canastas	103
7.4.	Drenajes.....	104
7.5.	Colocación del geotextil	105
7.6.	Empleo de geotextil.....	106
7.6.1.	Recolección de lixiviados.....	107
7.6.2.	Recomendaciones en la preparación para le geomembrana	107
7.7.	Herramienta y equipo	108
7.8.	Costos de alquiler de maquinaria	108
7.9.	Relleno posterior	109
7.10.	Supervisión	110
7.11.	Otros costos.....	111
7.11.1.	Costos de depreciación	111

7.11.2.	Costos de operación y oficina en obra	112
7.11.3.	Financiamiento.....	113
7.11.4.	Seguros de la obra.....	114
7.11.5.	Sostenimiento de oferta	115
7.11.6.	Fianza de cumplimiento	115
7.11.7.	Fianza de anticipo.....	115
7.11.8.	Fianza de conservación de obra, calidad o funcionamiento.....	115
7.11.9.	Fianza de saldos deudores	116
7.11.10.	Imprevistos	116
7.11.11.	Utilidad.....	116
7.11.12.	Costos administrativos	117
8.	ESTUDIO DE LA REGIÓN	119
8.1.	Ubicación geográfica	119
8.2.	Precipitación	119
8.3.	Lluvia	120
9.	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO	121
9.1.	Estudio y análisis del proyecto.....	121
9.2.	Diseño de estructura.....	121
9.2.1.	Planos.....	124
9.3.	Trabajo de campo.....	129
9.3.1.	Visita técnica.....	129
9.3.2.	Ejecución del proyecto	130
9.3.3.	Estabilización de taludes.....	131
9.3.4.	Supervisión	132
9.3.5.	Diagrama de GANT	132

10. EJEMPLO DE DISEÑO DE MURO	135
CONCLUSIONES	139
RECOMENDACIONES	141
BIBLIOGRAFÍA	143

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación de los residuos peligrosos y no peligrosos	2
2.	Esquema general de la descomposición de los residuos por causa del contacto con agua	10
3.	Compactación de residuos sólidos	12
4.	Compactación de residuos sólidos (2).....	13
5.	Compactación de residuos sólidos (3).....	13
6.	Relleno sanitario	17
7.	Relleno sanitario en operación	18
8.	Relleno sanitario en operación (2).....	18
9.	Relleno sanitario mecanizado	19
10.	Relleno sanitario semimecanizado	20
11.	Relleno sanitario manual.....	21
12.	Relleno sanitario tipo área.....	22
13.	Relleno sanitario tipo zanja o trinchera.....	22
14.	Relleno sanitario tipo combinado o rampa	23
15.	Principios de funcionamiento de relleno sanitario.....	24
16.	Formación de lixivados.....	28
17.	Soluciones en manejo de lixivados.....	28
18.	Extracción de gas de vertedero y sistema de utilización.....	30
19.	Piezómetro	31
20.	Inclinómetro	32
21.	Extensómetros	32
22.	Equipo topográfico	33

23.	Acelerógrafos	33
24.	Estación meteorológica	34
25.	Báscula.....	35
26.	Proceso de falla de un talud	44
27.	Taludes con posible mecanismo de deslizamiento	45
28.	Diagrama	52
29.	Diagrama de fuerzas	55
30.	Verificación de las tensiones transmitidas al terreno.....	56
31.	Rotura de suelo-muro	59
32.	Protección de taludes	61
33.	Construcción de muros	62
34.	Forma correcta de la costura en cajas de gavión y/o colchón	63
35.	Forma de amarre entre cajas de gaviones.....	64
36.	Muros con parámetros externos verticales o escalonados.....	66
37.	Muro escalonado anclado con paneles de malla	68
38.	Estructuras monolíticas	71
39.	Estructuras permeables.....	72
40.	Estructura resistente	72
41.	Estructuras durables.....	73
42.	Gavión tipo colchón	75
43.	Gavión tipo saco	75
44.	Gavión tipo caja.....	76
45.	Dimensiones de malla hexagonal de doble torsión	78
46.	Permeabilidad en los gaviones permitiendo el drenaje del terreno	80
47.	Principales aplicaciones de los gaviones	84
48.	Malla para canastas.....	85
49.	Esquema de corte de borda.....	86
50.	Ubicación del geotextil.....	88
51.	Tipos de falla	91

52.	Falla por deslizamiento	93
53.	Chequeo de volteo	94
54.	Alambre galvanizado y alambre plastificado con PVC.....	96
55.	Material para llenado de canastas (piedra de cantera)	97
56.	Colocación y armado para la construcción de gaviones	98
57.	Canastas de gavión amarradas entre sí.....	99
58.	Colocación de tirantes en las cajas de gaviones	100
59.	Sistema drenante en muro de gaviones	105
60.	Empleo del geotextil	106
61.	Diagrama fianzas administrativas.....	114
62.	Cálculo del factor de indirectos	118
63.	Sección de carretera dañada por erosión.....	122
64.	Muro con escalones internos formado con gaviones.....	123
65.	Distribución de espigones y muro	123
66.	Construcción de muro con escalones internos a orilla de carretera....	124
67.	Vista en planta de espigones	125
68.	Isométrico de colchón, gavión y espigón	126
69.	Isométrico 2 de espigón	127
70.	Isométrico 3 de espigón	128
71.	Muro con escalones internos.....	129
72.	Extracción y recolección de piedra	131
73.	Ejemplo de diseño de muro.....	136

TABLAS

I.	Tipo de residuos.....	5
II.	Lixiviados	6
III.	La descomposición tanto aeróbica como anaeróbica de los residuos sometidos a diferentes procesos.....	9

IV.	Datos gavión tipo colchón.....	74
V.	Datos de gavión tipo caja.....	76
VI.	Datos de las dimensiones de la malla hexagonal de doble torsión	78
VII.	Diferentes tipos de materiales de relleno para gaviones	80
VIII.	Integración de costo de malla para gavión.....	86
IX.	Datos de corte de borda	87
X.	Peso específico: 2 752,30 kg/m ³	87
XI.	Datos de armado de canasta	103
XII.	Datos de llenado de canastas.....	104
XIII.	Datos de la colocación del geotextil	105
XIV.	Datos de la herramienta y equipo	108
XV.	Datos de los costos del alquiler de la maquinaria	109
XVI.	Cronograma.....	133

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ϕ	Ángulo de fricción interna del terreno
δ	Ángulo de fricción interna muro y terreno
α	Ángulo de inclinación
A	Área
B	Base del muro
F	Coefficiente de fricción
p_n	Compresión del suelo
e	Excentricidad
F.S.	Factor de seguridad
q_{max}	Fuerza de corte máxima
q_{min}	Fuerza de corte mínima
T	Fuerza de deslizamiento
P_aH	Fuerza de presión activa horizontal
P_p	Fuerza de presión pasiva
N	Fuerza normal
F_r	Fuerza resistente
M_v	Momento de volteo
M_e	Momento estabilizante
M_r	Momento resultante
W_m	Peso del muro
W_s	Peso del suelo
τ	Tensión tangencial

GLOSARIO

Biodegradabilidad	Capacidad que tienen las sustancias y los materiales orgánicos de descomponerse en sustancias más simples mediante la actividad (enzimática) de microorganismos.
Coefficiente de fricción	Ángulo de rozamiento de las partículas de suelo sobre sí mismas.
Colchón	Elemento formado por una caja de malla galvanizada o recubierta de PVC, en su superficie tiene un lado más largo que otro y su espesor es pequeño, es flexible, por lo cual su función principal es proteger terrenos de la erosión hidráulica.
Conductividad	Propiedad de todo elemento que tiene la facultad de conducir la electricidad.
Consolidación	Pérdida de volumen que sufren los suelos por el paso del tiempo.
Cuña de ruptura	Parte del suelo que toma la forma de una cuña cuando falla.
Deleznable	Que se quiebra, disgrega o deshace fácilmente.

Diafragma	Pieza estructural rígida que soporta el esfuerzo cortante al estar cargado en una dirección paralela a un plano.
Ductilidad	Propiedad que presentan algunos materiales, los cuales, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse.
Equilibrio plástico	Contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de una muestra.
Estructura de gaviones	Estructuras formadas por gaviones y colchones amarrados entre sí y que juntos forman una estructura monolítica.
Erosión	Proceso mediante el cual la superficie del terreno es arrastrada y las partículas de suelo son desplazadas por la acción del viento o del agua en forma de gotas de lluvia, escurrimientos superficiales y oleaje.
Fisuras capilares	Fractura producida en un estrato de suelo por la pérdida de agua.
Fleje	Pieza de acero alargada y curva que sirve para muelles y resortes.
Fletes	Precio que ha de pagarse por el alquiler de un barco, avión o camión, o por la carga transportada.

Flujo plástico	Suelo con grandes cantidades de agua.
Friable	Que se quiebra fácilmente.
Gavión	Elemento formado por una caja de malla de alambre galvanizado o recubierto de PVC, cerrada por todos lados y reforzada con el mismo alambre. Son estructuras que tienen la finalidad de soportar empujes por medio de su propio peso, por lo cual cumple una función estructural.
Geotécnicos	Aplicación de principios de ingeniería a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre.
Geotextil	También conocido como tela de filtrar, está fabricado por una tela de polipropileno agujado que previene el acarreo de los finos del suelo y es altamente permeable. Disminuye la presión hidrostática en la obra.
Homogéneo	Materiales cuyos elementos son de igual naturaleza o condición.
Intemperismo	Que está expuesto a los fenómenos naturales.
Interface	Se utiliza para nombrar a la conexión física y funcional entre dos sistemas o dispositivos de cualquier tipo dando una comunicación.

Isotrópico	Propiedades de determinados cuerpos que no dependen de la dirección en que se miden.
ISR	Impuesto sobre la renta.
IVA	Impuesto al valor agregado.
Margoso	Suelo compuesto de grano fino que contiene notables proporciones de carbonatos.
Material cementante	Material que tiene partículas con capacidad de atraerse y adherirse entre sí.
Microorganismos	Organismo que solo puede verse bajo un microscopio.
Monolítica	Muy compacto, con una unión tan fuerte entre sus distintas partes como si fuera de una sola pieza.
Muro de gaviones	Estructuras formadas por gaviones y colchones que funcionan monolíticamente para protección de taludes en carreteras, y así contrarrestar todo tipo de falla que pueda ocurrir en el mismo.
Paralelepípedos	Cuerpo geométrico constituido por seis paralelogramos, de los cuales son iguales y paralelos los opuestos entre sí.

Permeable	Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado.
Revestimiento	Protección que se realiza sobre una superficie utilizando cualquier material.
Rotura	Raja, quiebra o desgarradura en un cuerpo sólido.
Segregación	Acción y efecto de segregar (separar, marginar o apartar algo).
SPT	<i>Standard Penetration Test</i> (Resistencia a la penetración) VII.
Sustentable	Capaz de sostenerse por sí solo.
Talud	Inclinación o declive de un muro o de un terreno.
Tracción	Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto y tienden a estirarlo.
Vertedero	instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en superficie.

RESUMEN

Los temas necesarios a considerar para la reacción o intervención de un vertedero a cielo abierto son las definiciones y clasificación de los residuos sólidos, así como sus composiciones químicas físicas y mecánicas, se desarrollan el contenido en el mismo orden lógico en el cual se realizaría el proyecto de un relleno sanitario o un relleno controlado, su implementación y las consideraciones de su mantenimiento; para proponerlo como estabilidad y en parte aislamiento de una sección, por tener colindancia con un río el uso de muro gavión.

Por su rápida implementación, las consideraciones de diseño, es decir, los factores de seguridad, las características de un muro de contención y las técnicas de un gavión, así como su ejecución y los diferentes costos que esta podría incluir.

OBJETIVOS

General

Definir los conceptos necesarios para la creación o intervención de un vertedero a cielo abierto

Específicos

1. Prevenir el esparcimiento de enfermedades provocadas por el mal manejo de residuos sólidos en un área designada.
2. Mitigar el impacto que los residuos sólidos generados por una comunidad pueden tener en el medio ambiente.
3. Definir el proceso de ejecución para un relleno sanitario y crear un área para el desarrollo de proyectos de infraestructura en el lugar.
4. Definir el proceso de implementación de un sistema de muro de gaviones y mostrar sus beneficios.

INTRODUCCIÓN

Un tema tan delicado como el tratamiento de residuos sólidos, hasta cierto punto ha sido ignorado en Guatemala, así como por la población en general; considerando que es un tema importante por los riesgos que conlleva un mal manejo de los residuos sólidos de una comunidad, ya que incluyen, no solo ambientales, sino a la vez riesgos de salud para la población, siendo este el caso del municipio de Palín Escuintla.

En Palín, solamente existen vertederos clandestinos, y con la finalidad de tener un control organizado de los residuos sólidos se proponen en el siguiente trabajo de investigación, la implementación de rellenos sanitarios y muros de contención para el adecuado tratamiento de estos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Residuos sólidos

La basura es el resultado de la actividad humana doméstica, comercial o industrial, la cual se la considera de valor igual a cero por el desechado. No necesariamente debe ser odorífica, repugnante; eso depende del origen y composición de esta; originar basura es ineludible, entre muchas otras razones, porque en la actualidad ha traído consigo el uso incontrolable de ciertos materiales, por ejemplo, para envasar y empacar diversos productos, materiales que muchas veces o no son biodegradables o que resulta difícil reciclar.

Los residuos sólidos son sustancias o productos que resultan de las actividades del hombre o de los animales. Todos estos recursos son susceptibles de reaprovecharse o transformarse con un correcto reciclado y la disposición final; la mayoría de ellos son los rellenos sanitarios, los demás se depositan en tiraderos a cielo abierto, lo que representa riesgo para la salud de los seres humanos, además de impactos ambientales.

Es fundamental el estudio de los residuos sólidos e identificar los riesgos a la salud que puede acarrear el inadecuado manejo de estos. Por lo que es necesario establecer una clasificación convencional en donde se citen las principales fuentes generadoras y mencionen, tanto los residuos peligrosos como los no peligrosos; como se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Clasificación de los residuos peligrosos y no peligrosos**



Fuente: KÖFALUSI, Gábor Kiss; AGUILAR Guillermo Encarnación. *Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2877246>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

El manejo de los residuos sólidos conforma un ciclo en donde se encuentran estrechamente vinculadas las diversas etapas. A partir de la misma producción de los artículos de consumo se inicia la generación, para pasar al almacenamiento, barrido, recolección, transporte, tratamiento y disposición final; por lo tanto, cualquier esfuerzo que se realice en algunas de sus etapas tendrá un efecto directo en los demás.

Durante este ciclo mencionado, los residuos sólidos presentan diferentes características como las físicas, químicas y biológicas; es importante reconocer cada una de ellas porque son el punto de partida para el reúso que se les

pretende dar a los residuos, especificando los productos que pueden ser clasificados o utilizados en aprovechamiento de su energía.

1.2. Propiedades físicas de los residuos sólidos

Es necesario conocer algunas de las propiedades de los residuos para organizar los sistemas de recogida y tratamiento final de recuperación o eliminación, y para decidir sistemas de segregación en el caso de los residuos que generen riesgos especiales para el medio ambiente, las propiedades físicas que resaltan en los residuos sólidos urbanos son su humedad, peso específico y su granulometría.

- **Peso específico:** definido como el peso de un material por unidad de volumen (ejemplo, kg/m^3). Para gestionar los residuos es necesario identificar tanto el peso como el volumen, generalmente esta propiedad está dada para los residuos sueltos (no compactos); y dependiendo de factores tales como: localización geográfica, clima, y tiempo de almacenamiento se puede estimar una densidad desde 178 kg/m^3 hasta 415 kg/m^3 , siendo el valor típico de 300 kg/m^3 .

El peso específico unitario de cada producto no indica que su mezcla tenga un valor global proporcional al de sus componentes. En el hogar, estos valores son habitualmente muy superiores debido a los espacios inutilizados del recipiente de basura: cajas sin plegar, residuos de formas irregulares, etc. Sin embargo, conforme vayan agrupándose de forma más homogénea, se acercarán más al estricto cálculo matemático, que da unos valores medios teóricos para residuos sin compactar de 80 kg/m^3 con variaciones importantes de acuerdo a la composición concreta de los residuos en cada localidad. Sobre estos valores teóricos de peso específico del conjunto de los residuos sólidos urbanos, se

deberán tener en cuenta importantes reducciones o aumentos, según el estado de presentación o de manipulación de estos.

- Contenido de humedad: puede expresarse de dos formas; con el método de medición de peso-húmedo frecuentemente utilizado, en el que la humedad se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo; y con el método de medición de peso-seco, referido a un porcentaje del peso del material seco
- Permeabilidad de los residuos compactados: este tipo de permeabilidad se refiere a la conductividad hidrológica con que se da el movimiento de líquidos y gases en los residuos en el sitio de disposición final.
- Granulometría: el grado de segregación de los materiales y el tamaño físico de los componentes elementales de los residuos urbanos, constituyen un valor imprescindible para el dimensionado de los procesos mecánicos de separación y, en concreto, para definir cribas, trómeles y elementos similares que basan su separación exclusivamente en el tamaño. Estos valores también deben tomarse con cautela, ya que las operaciones de recogida afectan al tamaño por efecto de la compresión o de mecanismos trituradores. En cada caso concreto es preciso efectuar los análisis pertinentes para adecuar la realidad de cada circunstancia al objetivo propuesto.

Tabla I. **Tipo de residuos**

TIPO DE RESIDUOS	% H2O	Densidad (KG/m3)
Orgánicos	70	291
papel	6	89
cartón	5	50
plásticos	2	65
Textiles	10	65
Vidrio	2	196
aluminio	2	1 600
Metales ferrosos	3	320
Residuos sólidos urbanos	15	130
Residuos sólidos urbanos compactados	20	297
Residuos en el relleno sanitarios	25	600-900

Fuente: Residuos Sólidos. *Gestión integral de residuos sólidos.*

<http://gestionintegralresiduos.blogspot.com.co/2010/02/propiedad-fisicas-y-quimicas-de-los.html>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

1.3. Propiedades químicas de los residuos sólidos

En los siguientes incisos se describen las propiedades químicas de los residuos sólidos.

1.3.1. Lixiviados

Los lixiviados son líquidos generados a partir de la degradación de la materia orgánica existente en los residuos y desechos sólidos y se da como el producto de la infiltración de agua de lluvia que atraviesa la masa o capa de desechos dispuestos. Al atravesar dicha capa se disuelve, extrae y transporta con ellos distintas sustancias contaminantes al suelo y a las aguas superficiales y subterráneas.

La composición química de los lixiviados es muy variable debido a que dependerá de la antigüedad del vertedero, así como de la composición de los desechos dispuestos en él. Esta composición química en su fase ácida de descomposición presenta bajos índices de pH y altas concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), nutrientes y metales pesados.

De acuerdo al MARN¹, los lixiviados se consideran también, aguas residuales. La caracterización de aguas residuales es la determinación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales para reúso o lodos.

Dentro de estas propiedades, es importante tener en cuenta que mediante la biodegradabilidad de los residuos sólidos se generan los lixiviados y los gases, altamente contaminantes para el medio ambiente y el ser humano, la siguiente tabla muestra fuente de producción, tratamiento y los efectos que pueden generar.

Tabla II. **Lixiviados**

Lixiviados	gases
Que los genera: la generación de lixiviados ocurre, principalmente, por: a) El agua de lluvia infiltrada en el relleno mientras se está colocando la basura. b) El agua que se produce al compactar la basura húmeda. c) Por la descomposición biológica que se inicia una vez se va conformando el relleno.	Qué los genera: la descomposición biodegradable de los residuos sólidos, que se da por las condiciones climáticas y por su alto contenido de humedad. Su composición depende de la naturaleza de los residuos dispuestos en el relleno y del equilibrio fisicoquímico alcanzado y la fase sólida.

¹ Acuerdo Gubernativo 66-2005. *Reglamento de las descargas y uso de aguas residuales y de la disposición de los lodos.* p. 1-25.

Continuación de la tabla II

<p>Efectos: los componentes tóxicos derivados de la lixiviación de los residuos constituyen un riesgo potencial de contaminación de cuerpos de agua y suelo con su afectación a la salud humana.</p>	<p>Efectos: los gases dan como resultado una potencial contaminación del medio ambiente, por lo que debe tenerse conciencia de los aspectos ambientales, ecológicos y sanitarios que esto implica.</p>
<p>Tratamiento</p> <p>a) Existen algunas prácticas que consiste en recircular el lixiviado a la parte superior del relleno, con el objeto de acelerar los procesos de degradación en el cuerpo de los residuos y con el mayor aprovechamiento de la evaporación.</p> <p>b) El lixiviado se acumula en el fondo del relleno, de donde es bombeado o conducido por gravedad a un tanque o vaso recolector para darle un adecuado tratamiento.</p>	<p>El biogás generado en rellenos sanitarios puede ser capturado, utilizando un sistema de recolección de biogás (chimeneas) construidas en gaviones que faciliten su salida en forma controlada.</p> <p>Además de los beneficios energéticos en el uso del biogás, la recolección y control de este ayuda a reducir emisiones atmosféricas contaminantes.</p>

Fuente: DIOSA VELÁSQUEZ, Diana Carolina. *Comportamiento geotécnico de los taludes conformados por residuos sólidos en rellenos sanitarios*. https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5151/Comportamiento_geot%C3%A9cnico_taludes_residuos_s%C3%B3lidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consulta: 15 de octubre de 2021.

La composición de un lixiviado es altamente variable y heterogénea. Los componentes que, generalmente se encuentran en un lixiviado son los siguientes:

- Alta concentración en materia orgánica: demanda química de oxígeno (DQO), ácidos grasos volátiles (AGV) y materia orgánica refractaria tales como ácidos húmicos y fúlvicos

- Compuestos inorgánicos: nitrógeno amoniacal (NH_4^+) resultante de la hidrólisis y fermentación del nitrógeno de la fracción biodegradable del residuo sólido, sodio (Na^+), potasio (K^+), cloro (Cl), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), sulfatos (SO_4^{2-}) y carbonatos (HCO_3^-)
- Metales pesados: cadmio (Cd^{2+}), níquel (Ni^{2+}), cromo (Cr^{3+}), cobalto (Co^{2+}), plomo (Pb^{2+}), cobre (Cu^{2+}), mercurio (Hg^{2+} o Hg^+) y zinc (Zn^{2+}). Se hallan en concentraciones entre microgramos y miligramos por litro y presentan estados de oxidación que los hacen estables disueltos en agua.
- Compuestos orgánicos xenobióticos: hidrocarburos aromáticos, fenoles, pesticidas, antibióticos y antivirales, medicamentos en general, microcontaminantes provenientes de productos de higiene y de belleza (maquillaje, jabones, champú, acondicionadores de cabello), productos de limpieza doméstica (detergentes, lavavajillas, friegasuelos) y otros productos similares.

Aunque el abanico de contaminantes de un lixiviado es amplio, existen dos puntos cruciales a la hora de diseñar el tratamiento: la alta concentración de compuestos orgánicos recalcitrantes, por la gran dificultad que presentan para ser eliminados, y los altos niveles de nitrógeno amoniacal NH_4^+ , especialmente en lixiviados de masas de residuos jóvenes, por el peligro que suponen para el medio ambiente y su toxicidad de cara a un tratamiento biológico. Altas concentraciones de NH_4^+ conducen al agotamiento del oxígeno disuelto en las masas de agua naturales (fenómeno conocido como eutrofización) si el lixiviado llega a ellas, con la consecuente muerte de los seres vivos que la habitan y expansión de la contaminación a otros puntos de la red acuática y suelos del ecosistema.

La edad del vertedero es un factor determinante, ya que gran parte de los compuestos y características de los residuos cambian a lo largo del proceso de maduración de una masa de residuos.

Según su edad, las masas de residuos de un vertedero puede clasificarse en tres categorías:

- Jóvenes: menos de cinco años, también denominados ácido génicos.
- Intermedios: entre cinco y diez años.
- Maduros: más de diez años, también denominados metalogénicos.

Los residuos sólidos presentan biodegradabilidad por agentes químicos en los sitios de disposición final.

Tabla III. **La descomposición tanto aeróbica como anaeróbica de los residuos sometidos a diferentes procesos**

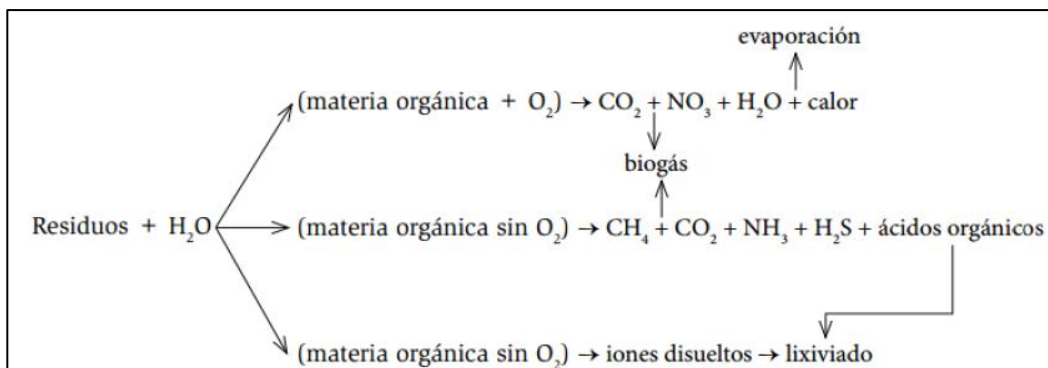
Procesos	Descomposición aerobia	Descomposición anaerobia	Lixiviación
Requisitos	Oxígeno disponible, menos humedad	Falta de oxígeno, más humedad	Grandes volúmenes de agua pluvial, cubierta permeable
Temperatura	50-70 °C	35-50 °C	
Reacciones	Oxidación, nitrificación	Reducción, desnitrificación	Disolución, hidrolisis

Continuación de la tabla III.

Consecuencias	Mineralización, esponjamiento	Consolidación, solidificación	Aumento de permeabilidad, acumulación de contaminantes
productos	CO ₂ , H ₂ O, productos de oxidación	Ácidos orgánicos, CH ₄ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, lixiviado	lixiviado

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Esquema general de la descomposición de los residuos por causa del contacto con agua**



Fuente: KÖFALUSI, Gábor Kiss; AGUILAR Guillermo Encarnación. *Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2877246>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

1.4. Propiedades mecánicas de los residuos sólidos

Aunque los residuos sólidos tienen un comportamiento mecánico similar al de los suelos de origen mineral, difieren de estos en dos aspectos:

- Los sólidos de las basuras son en un alto porcentaje biodegradables, lo cual hace que, en especial en un ambiente confinado, como el del relleno, estos sólidos biodegradables se descompongan por acción bacteria, dando lugar a gases y lixiviados
- La humedad que traen las basuras en su estado de colocación inicialmente no está en su gran mayoría en estado libre, sino que se libera, en primer lugar, por compresión en la medida en la que progresa el apilamiento y luego por la acción de descomposición de los componentes biodegradables.
- Es conveniente recordar que en estos materiales, como en los suelos, tanto la resistencia (a la tracción o al esfuerzo cortante, que son los dos modos de falla posibles) como la rigidez, proviene de la componente sólida y del esfuerzo efectivo que actúa en ella y que, por tanto, al ir reduciéndose la proporción de esta, con el tiempo y transformándose bioquímicamente en líquido y gas (los cuales a su vez reducen los esfuerzos efectivos en la fase sólida remanente), también se irán reduciendo resistencia y rigidez.

La resistencia al corte de los residuos sólidos, aunque heterogéneos, anisotrópicos y aleatorio, puede describirse con la relación de Mohr-Coulomb

$$s = c + \sigma \tan \varphi$$

s = resistencia al esfuerzo cortante

c = cohesión efectiva

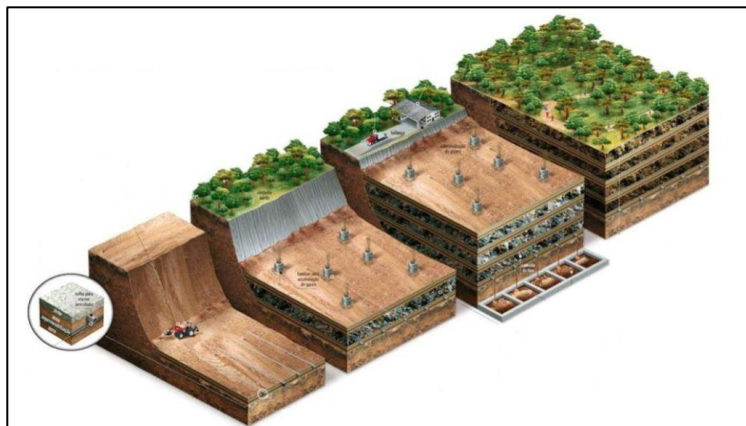
σ = esfuerzo normal efectivo

φ = ángulo efectivo de fricción interna

1.5. Compactación de residuos sólidos

La compactación de los residuos sólidos ayuda a disminuir los espacios vacíos entre los residuos, incrementa su densidad y reduce el volumen que ocupan. Este tratamiento permite el desarrollo y operación eficaz de otras actividades de manejo integral de residuos sólidos, como el almacenamiento y el transporte.

Figura 3. Compactación de residuos sólidos



Fuente: VISE. ¿Qué es un relleno sanitario? <https://blog.vise.com.mx/que-es-un-relleno-sanitario-y-como-funciona>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

La compactación se realiza, principalmente *in situ*, este tipo de operación, generalmente se utiliza para compactar los residuos dispuestos en rellenos sanitarios y pueden ser equipos con ruedas o con orugas.

Figura 4. **Compactación de residuos sólidos (2)**



Fuente: LCC. *Compactación de residuos sólidos*
<https://www.google.com.co/search?q=compactacion>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

Figura 5. **Compactación de residuos sólidos (3)**



Fuente: LCC. *Compactación de residuos sólidos*.
<https://www.google.com.co/search?q=compactacion+de+los+residuos+solidos&espv=2&biw>.
Consulta: 15 de octubre de 2021.

El peso de los residuos compactados depende del peso específico inicial y de la humedad. La densificación, además de ahorrar espacio, evita la propagación de organismos vectores, disminuye costos de recolección y transporte, incrementa la vida útil de rellenos sanitarios y reduce costos en la incineración; sin embargo, implica altos costos en energía y mantenimiento, produce ruidos, olores, lixiviados y emisiones atmosféricas.

1.5.1. Selección del equipo de compactación

Los factores a considerar en la selección del equipo de compactación incluyen:

- Características de los desechos a ser compactados, incluyendo tamaño, contenido de humedad y densidad. Método de transferencia y alimentación de los desechos al compactador.
- Métodos de manejo y usos de los materiales compactados.
- Características de diseño del compactador.
- Características operacionales incluyendo necesidades de energía, mantenimiento de rutina y especializado, simplicidad de la operación, eficiencia comprobada y contabilidad, nivel de ruido, exigencias de control de polución de aire y agua.
- Consideraciones del sitio incluyendo espacio y altura, acceso, ruido y limitaciones ambientales relacionadas.

1.5.2. Equipos de monitoreo para residuos sólidos en rellenos sanitarios

Durante las etapas de operación, cierre y clausura, deben funcionar permanentemente equipos de instrumentación que permitan verificar la estabilidad y secuencia del relleno de acuerdo a la topografía, generación de gases y lixiviados, control de potencial contaminación de acuíferos, entre otros eventos; para los que se utiliza la siguiente instrumentación:

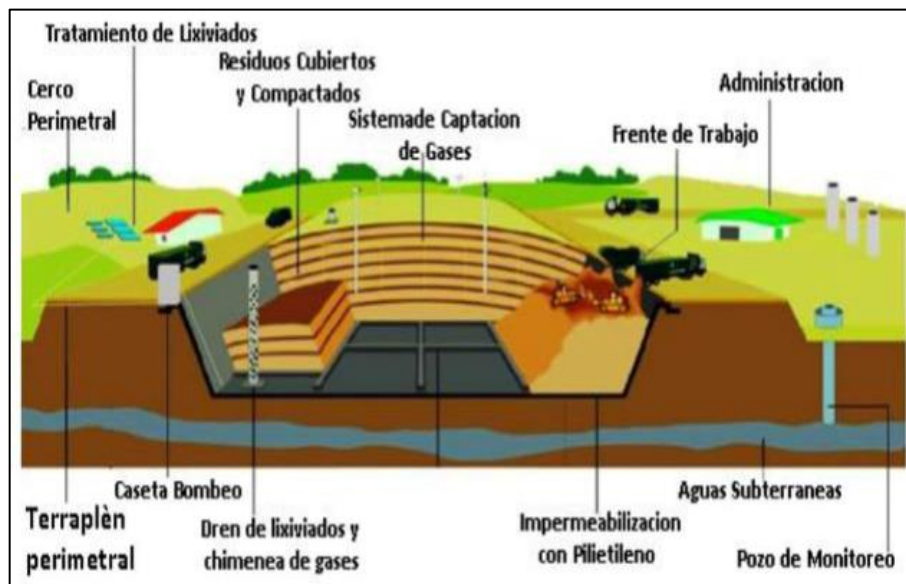
- Concentración y venteo de gases: mediante el sistema de drenaje vertical (pozos de captación o chimeneas verticales) que crecen con la disposición de residuos, se utiliza tubería, perforada y protegida con grava la que permitirá la migración del gas del interior del relleno; la red de captación vertical surgirá superficialmente a tubos que conectados realizarán la evacuación del gas.
- Control y estabilidad de taludes: durante la etapa de operación hay que instalar una sistema de inclinómetros, cuya finalidad es mostrar cambios en el perfil cuando se presentan movimientos del terreno, midiendo inclinaciones longitudinales del revestimiento e inclinación en el plano perpendicular, medidas que son convertidas en desviaciones laterales, estos cambios determinados por comparación de los datos iniciales con los de control indican los movimientos del terreno; los inclinómetros conjuntamente con acelerógrafos, determinan estabilidad estática y sísmica.
- Control de aguas freáticas: se instala para determinar la migración de contaminantes a los acuíferos subterráneos y se miden a través de sistema de piezómetros, regularmente tipo casa grande.

- Presión de poros: el sistema de piezómetros de hilo vibrátil determina la presión que ejercen los líquidos y gases sobre la masa de relleno.
- Fallas geológicas: los movimientos del terreno se detectan con el sistema de extensómetros.
- Detección olores: utilizados especialmente, para gases contaminantes y están directamente asociados con sistema de aspersores.

2. RELLENOS SANITARIOS

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población².

Figura 6. Relleno sanitario



Fuente: MENDOZA, Javier. Rellenos sanitarios. *comportamiento geotécnico de los taludes conformados por residuos sólidos en rellenos sanitarios*. <https://es.slideshare.net/javiermn1095/rellenos-sanitarios-javier-mendoza-nuez>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

² CERRATO LICONA, Edilfredo. *Gestión integral de residuos sólidos*. <https://www.aiu.edu/spanish/publications/student/spanish/Integrated-Management-of-Residual-Solids.htm#:~:text=Un%20relleno%20sanitario%20es%20una,la%20salud%20de%20la%20poblaci%C3%B3n>. Consulta: 6 de enero de 2022.

Figura 7. **Relleno sanitario en operación**



Fuente: BINASSS. *Relleno sanitario en operación.*

<https://www.google.com.co/search?q=rellenos+sanitarios&espv=2&biw=1280&bih=879>.

Consulta: 6 de noviembre de 2021.

La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, colocar los residuos, extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado.

Figura 8. **Relleno sanitario en operación (2)**



Fuente: BINASSS. *Relleno sanitario en operación.*

<https://www.google.com.co/search?q=rellenos+sanitarios&espv=2&biw=1280&bih=879>.

Consulta: 6 de noviembre de 2021.

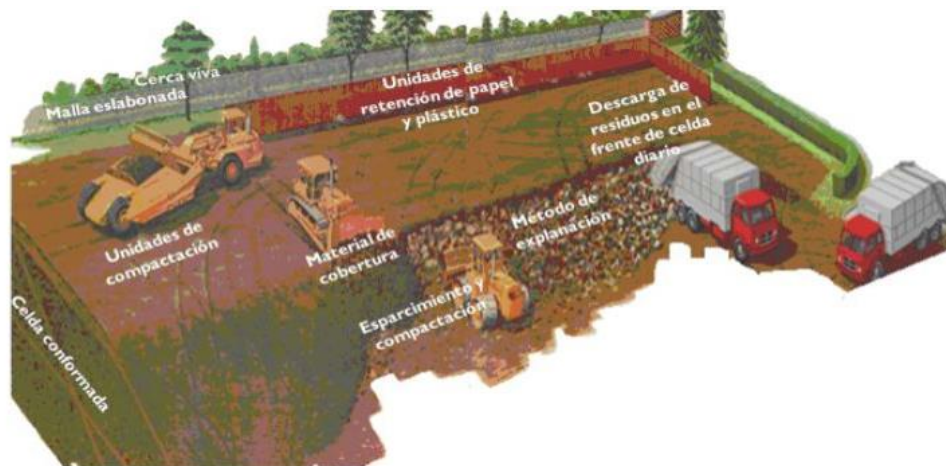
2.1. Tipos de rellenos sanitarios

En relación con la disposición final de los residuos sólidos y teniendo en cuenta la población, se proponen tres tipos de rellenos sanitarios.

2.1.1. Relleno sanitario mecanizado

Los rellenos sanitarios mecanizados son para poblaciones que generan más de 40 Tn/día de residuos sólidos y utilizan maquinaria especializada para el manejo de la disposición final y métodos constructivos.

Figura 9. Relleno sanitario mecanizado



Fuente: BINASSS. *Relleno sanitario mecanizado*.

<https://www.google.com.co/search?q=rellenos+sanitarios&espv=2&biw=1280&bih=879>.

Consulta: 6 de noviembre de 2021.

2.1.2. Relleno sanitario semimecanizado

Los rellenos sanitarios semimecanizados son construidos para poblaciones que generan hasta 40 Tn/días y utilizan maquinaria y herramientas adaptadas para el trabajo.

Figura 10. Relleno sanitario semimecanizado



Fuente: Guía para la implementación. *Relleno sanitario mecanizado*.

<https://www.google.com.co/search?q=relleno+sanitario+mecanizado+m=isch>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

2.1.3. Relleno sanitario manual

Los rellenos sanitarios manuales son destinados para poblaciones que generan menos de 15 ton/día de residuos sólidos y no utilizan maquinaria de ningún tipo, únicamente herramientas.

Figura 11. **Relleno sanitario manual**



Fuente: Guía para la implementación. *Relleno sanitario manual*.

<https://www.google.com.co/search?q=relleno+sanitario+mecanizado+isch>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

2.2. **Métodos de construcción de rellenos sanitarios**

El método constructivo y la operación de un relleno sanitario están determinados, principalmente por la topografía del terreno, aunque dependen también del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. Existen tres maneras básicas de construir un relleno sanitario.

2.2.1. **Relleno sanitario tipo área**

Normalmente se emplea cuando se dispone de terrenos con depresiones naturales y artificiales, canteras, pozos pantanosos.

Figura 12. **Relleno sanitario tipo área**



Fuente: MENDOZA, Javier. Rellenos sanitarios. *comportamiento geotécnico de los taludes conformados por residuos sólidos en rellenos sanitarios*. <https://es.slideshare.net/javiermn1095/rellenos-sanitarios-javier-mendoza-nuez>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

2.2.2. **Relleno sanitario tipo zanja o trinchera**

Es uno de lo más prácticos y apropiados, ya que su operación es sencilla y el mismo material excavado sirve de recubrimiento.

Figura 13. **Relleno sanitario tipo zanja o trinchera**

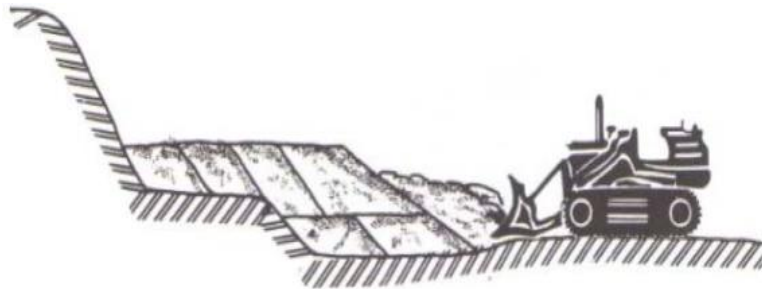


Fuente: MENDOZA, Javier. Rellenos sanitarios. *comportamiento geotécnico de los taludes conformados por residuos sólidos en rellenos sanitarios*. <https://es.slideshare.net/javiermn1095/rellenos-sanitarios-javier-mendoza-nuez>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

2.2.3. Relleno sanitario tipo combinado o rampa

Se opera de forma similar a los rellenos de área y zanja, los desperdicios descargados se extienden sobre una rampa y se cubren con una capa de material de 0,15 m de espesor.

Figura 14. Relleno sanitario tipo combinado o rampa



Fuente: MENDOZA, Javier. Rellenos sanitarios. *comportamiento geotécnico de los taludes conformados por residuos sólidos en rellenos sanitarios*. <https://es.slideshare.net/javiermn1095/rellenos-sanitarios-javier-mendoza-nuez>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

2.3. Principios de funcionamiento del relleno sanitario

En la figura 15 se describen las prácticas básicas para la construcción, operación y mantenimiento de un relleno sanitario.

Figura 15. Principios de funcionamiento de relleno sanitario



Fuente: MENDOZA, Javier. Rellenos sanitarios. *comportamiento geotécnico de los taludes conformados por residuos sólidos en rellenos sanitarios*. <https://es.slideshare.net/javiermn1095/rellenos-sanitarios-javier-mendoza-nuez>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

El relleno debe contar con:

- Una buena compactación de los desechos sólidos, antes y después de cubrirlos con tierra.
- Cubrimiento diario de la basura con una capa de tierra o material similar.
- Controlar con drenajes y otras técnicas los líquidos o percolados y los gases que produce el relleno, para mantener las mejores condiciones de operación y proteger el ambiente.
- Evitar por medio de canales y drenajes que el agua de lluvia ingrese al relleno sanitario.
- Una supervisión constante, tanto de los administradores como de las organizaciones comunales.

2.4. Operación y mantenimiento del relleno sanitario

El relleno sanitario se debe llevar a cabo siguiendo un plan general de operaciones preestablecidas o bajo la guía de un manual de operación, el cual debe ser flexible para que las personas encargadas puedan actuar según su criterio cuando se generen situaciones inesperadas, como cambios de clima o emergencias. La basura y el material de cubrimiento deben ser descargados solo en el frente de trabajo autorizado, se recomienda que los residuos no se depositen en la parte inferior del talud, sino desde la parte superior de la celda ya terminada, a fin de facilitar el trabajo y así conformar la nueva celda.

El horario de operación del relleno sanitario será impuesto por el programa de recolección. Es posible, sin embargo, que las prácticas de la recolección se acomoden a la operación del sitio, generalmente los sitios de disposición final son abiertos de las 6 a. m. a las 6 p. m., las horas de operación deben tomar en consideración las condiciones de tráfico local³.

Dar mantenimiento a una obra es efectuar acciones para conservar la funcionalidad de sus equipos e instalaciones, y en un relleno sanitario es muy importante realizarlo adecuadamente, pues de no ser así ocasionaría graves daños al medio ambiente y con ello el rechazo a la obra por parte de la población. Así como:

- Incumplimiento de los planes y programas de trabajo.
- Fallas en el equipo o en las instalaciones y con ello encarecimiento de la obra.

³ RODRÍGUEZ SORDÍA, Doraida Socorro. *Características e importancia de los rellenos sanitarios*. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/16306/1/decd_5173.pdf. Consulta: 6 de enero de 2022.

Por todo lo anterior, hay que seguir recomendaciones para el mantenimiento de los equipos, los espacios de trabajo, los vehículos, los caminos, la báscula, la cerca perimetral, las oficinas, área de servicio, áreas verdes, sistema de monitoreo y cobertura final.

El costo de mantenimiento de la vía de acceso y el camino interno en el relleno sanitario es menor que el de la reparación por daño de los ejes y resortes o que el deterioro del vehículo recolector ocasionado por el mal estado de la carretera o un volcamiento. El frente de trabajo se debe mantener ordenado y sin material disperso, la vía de acceso y el camino interno al frente de trabajo, a las redes de drenaje pluvial y a la superficie terminada del relleno, también mantenerse en adecuadas condiciones de operación, una vez concluidas las labores diarias, las herramientas deberán dejarse limpias y, en caso de daños, repararlas o sustituirlas a la mayor brevedad.

La operación y el mantenimiento adecuado de un relleno sanitario es necesario para:

- Evitar que el relleno sanitario se convierta en un tiradero a cielo abierto
- Reducir los impactos negativos potenciales en aire, agua y suelo
- Minimizar o eliminar los impactos hacia las propiedades vecinas
- Reducir los costos de operación (a largo plazo)
- Incrementar la capacidad volumétrica y ampliar al máximo la vida útil
- Establecer y mantener buenas relaciones públicas
- Reducir los conflictos con las instancias reguladoras o normativas
- Reducir accidentes, demandas e indemnizaciones
- Demostrar la capacidad operativa

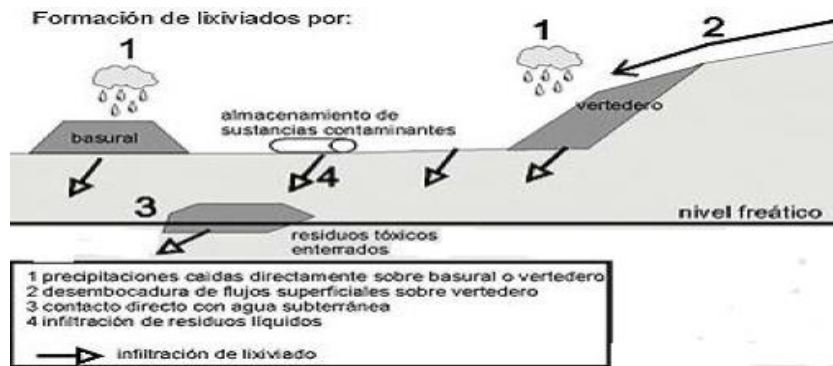
2.5. Manejo de lixiviados

Uno de los grandes problemas que generan los rellenos sanitarios son los líquidos que discurren a través de los residuos depositados y que están contenido en ellos, es decir, los lixiviados, los cuales son líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua; provocando su deterioro y representan un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.

Los lixiviados producidos en los vertederos se recogen y almacenan en balsas hasta su tratamiento final. Ver figura 16. “Los lixiviados del vertedero se almacenan en una balsa cubierta de hormigón, mientras que los de los vertederos residuos peligrosos y de inertes se recogen en sendas balsas impermeabilizadas con polietileno de alta densidad”⁴.

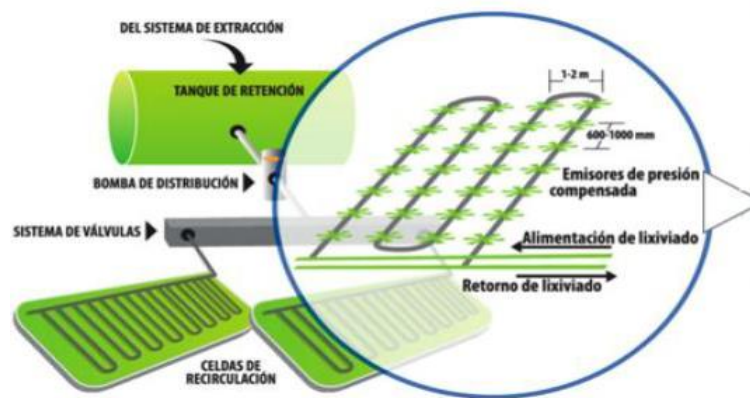
⁴ RODRÍGUEZ SORDÍA, Doraida Socorro. *Características e importancia de los rellenos sanitarios*. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/16306/1/decd_5173.pdf. Consulta: 6 de enero de 2022.

Figura 16. **Formación de lixiviados**



Fuente: UCSG. *Formación de lixivandos*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8406/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-210.pdf>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

Figura 17. **Soluciones en manejo de lixiviados**



Fuente: VIRIDIAN, Colombia. *Recirculación de lixivandos*.
http://www.viridiancolombia.com/soluciones/manejo_lixivandos/recirculacion_lixivandos/.
 Consulta: 6 de noviembre de 2021.

2.6. Generación de gases

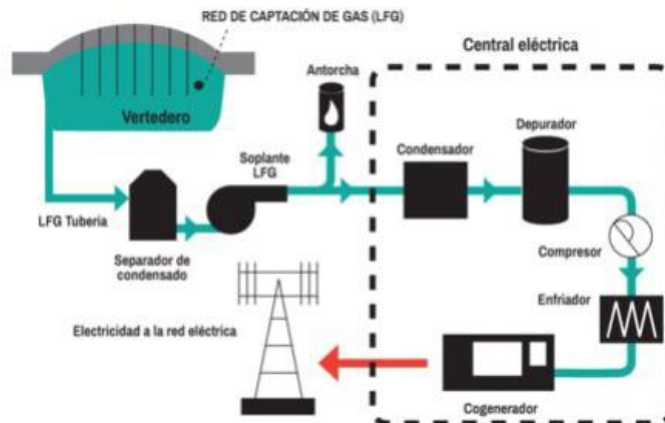
Casi todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero es la fracción orgánica la que presenta los mayores cambios. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos. Debido a la descomposición o putrefacción natural de los residuos sólidos, no solo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia.

- La aerobia es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados y consumido rápidamente.
- La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H₂S), amoníaco (NH₃) y mercaptanos⁵.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro e incoloro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15 % en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir. Cuando el gas metano se acumula en el interior del relleno y migra a las áreas vecinas, puede generar riesgos de explosión. Por lo tanto, se recomienda una adecuada ventilación de este gas, aunque en los pequeños rellenos este no es un problema muy significativo.

⁵ RODRÍGUEZ SORDÍA, Doraida Socorro. *Características e importancia de los rellenos sanitarios*. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/16306/1/decd_5173.pdf. Consulta: 6 de enero de 2022.

Figura 18. **Extracción de gas de vertedero y sistema de utilización**



Fuente: UCSG. *Extracción de gases*. <https://www.google.com.co/search?q=imagen+manejo+de+lixiviados&biw=1024&bih>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

2.7. Instrumentación y control dentro del relleno sanitario

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería muy compleja, son vehículos que entran cargados de basura, dejan su carga y salen vacíos, hay buldóceres, compactadores, palas, cargadores, equipos de perforación, vehículos de transporte de personal, obreros, técnicos, ingenieros y administradores; en general son personas que necesitan comunicarse con frecuencia y medir constantemente una serie de parámetros para manejar con seguridad la compactación de los residuos sólidos.

Las técnicas utilizadas en el manejo de los residuos sólidos requieren equipos especializados para medir la compactación.

- Los pesos volumétricos de la basura.
- La calidad de las aguas que pasan por el relleno sanitario y las que salen.

- La calidad del aire.
- Una estación meteorológica: conocer los fenómenos de la atmósfera, con una historia verdadera, para tener elemento y capacidad para pronosticar el tiempo y conocer cuándo pueden dejar destapada la basura, para que aumente la evaporación o cuándo deben iniciar trabajos de restauración en alguna parte, para evitar los daños por la inclemencia de las lluvias.

Tanto en el diseño como en la operación de los rellenos sanitarios es conveniente asesorarse de un geotecnista para que analice la estabilidad de la obra, y es fundamental la implementación de equipos para el control de estabilidad del talud, para tal fin se debe contar con los siguientes elementos.

- Piezómetros: instrumento utilizado para medir la presión de poros o el nivel del agua en perforaciones, terraplenes, cañerías y estanques a presión.

Figura 19. **Piezómetro**



Fuente: HIGH TECH. *Piezómetros*. <https://www.htsperu.com.pe/solinst/piezometro-de-punto-de-impulsion-615-solinst> Consulta: 6 de noviembre de 2021.

- Inclínómetros: es un sistema de instrumentación que permite medir los desplazamientos horizontales en taludes y terrenos inestables.

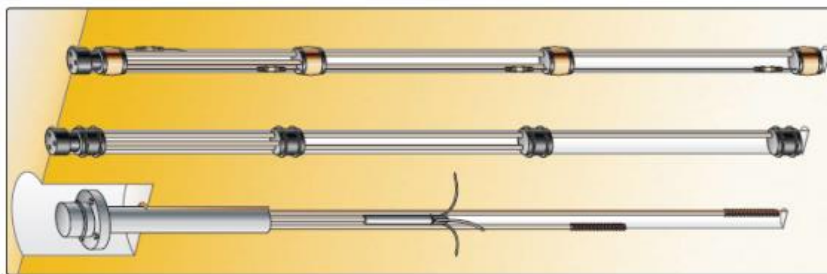
Figura 20. **Inclinómetro**



Extensómetros Es un instrumento utilizado para el monitoreo constante para prevenir cualquier tipo de falla.

Fuente: COTECNO. *Inclinómetro*. <https://www.cotecno.cl/inclinometro-vertical-de-sistema-digital-5481/>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

Figura 21. **Extensómetros**



Fuente: HIGH TECH. *Instrumentación de la estación*.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/502/A6.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

- Equipo topográfico: mide ángulos, distancias y pendientes, en este caso, en los rellenos sanitarios.

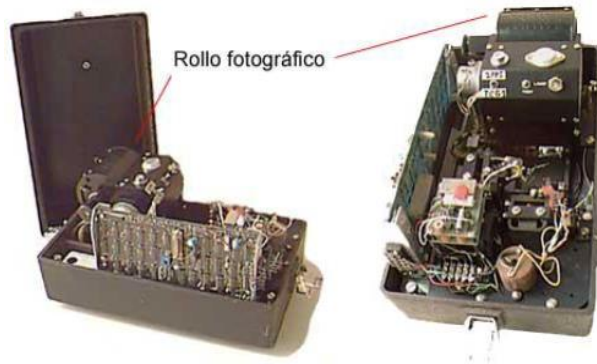
Figura 22. **Equipo topográfico**



Fuente: GEO BAX. *Equipos de topografía*. <https://geobax.com/topografia/equipos-de-topografia/>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

- Acelerógrafos: instrumento que monitorea constantemente la actividad sísmica.

Figura 23. **Acelerógrafos**



Fuente: LIS. *Instrumentación sísmica*. <http://www.lis.ucr.ac.cr/10>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

- Estación meteorológica: lugar escogido adecuadamente para colocar los diferentes instrumentos que permiten medir las distintas variables que afectan al estado de la atmósfera.

Figura 24. **Estación meteorológica**



Fuente: Meteocultura. *Estación meteorológica*. <https://estaciondemeteorologia.com/guia-consejos-la-compra-una-estacion-meteorologica/>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

- Báscula tipo camionera sin fosa con capacidad de 40 toneladas: efectúa el pesaje de los desechos que ingresan al relleno sanitario.

Figura 25. **Báscula**



Fuente: Automatización y Control. *Básculas camioneras*. <http://www.scale.com.mx/equipos-de-pesaje-industrial/basculas-camioneras-pesaje-industrial/>. Consulta: 6 de noviembre de 2021.

2.8. Alertas tempranas en los rellenos sanitarios

Dentro de un relleno sanitario es importante tener presente ciertos estados de alarma, entre estos la contaminación en caso de ocurrencia, amenaza evidente de episodios de proliferación que requieran medidas inmediatas de mitigación; de igual manera, alerta amarilla correspondiente a situaciones o tendencias que amenacen la calidad ambiental causando efectos adversos en la salud humana donde es necesario tomar medidas especiales de prevención y control. El decreto 401 del 2015, hace referencia a lo anterior y promueve la presentación de alternativas orientadas a la menor producción de residuos sólidos en domicilios y en el espacio público para reducir impactos ambientales y en la salud.

2.9. Impacto ambiental de los rellenos sanitarios

En la operación y construcción de los rellenos sanitarios, se deben considerar los impactos asociados a los olores y los ruidos generados por el tráfico debido a la operación del relleno e igualmente las medidas para manejar estas situaciones. Las afectaciones que un sitio de disposición final de residuos sólidos puede provocar hacia la atmósfera, dependen en gran medida de la buena o mala operación del relleno sanitario; sin embargo, desde la ubicación del sitio para localizar el relleno se pueden tomar medidas para prevenir la migración de contaminantes hasta las zonas pobladas. La principal afectación que un depósito de residuos sólidos puede generar en las aguas superficiales y subterráneas, son por el lixiviado, producto del paso del agua de lluvia a través de los paquetes de basuras; estos lixiviados pueden llegar a contaminar los cuerpos superficiales de aguas por escurrimientos no controlados, o bien infiltrarse a través de formaciones permeables y contaminar los mantos acuíferos.

2.10. Posclausura de los rellenos sanitarios

El uso futuro de un relleno sanitario depende del clima, su localización respecto al área urbana, distancia de las zonas habitadas, extensión o área superficial y de las características constructivas.

Estas últimas tienen que ver con la configuración final del relleno, la altura y el grado de compactación y, por supuesto, la capacidad económica de la población.

El terreno de un relleno sanitario clausurado se presta para desarrollar programas de recuperación paisajística y social como un parque, un campo deportivo o una zona verde.

No se recomienda la construcción de edificaciones, viviendas, escuelas tampoco infraestructura pesada sobre la superficie del relleno, debido a su poca capacidad para soportar estructuras pesadas, además de los problemas que pueden ocasionar los hundimientos y la generación de gases. Para la recuperación del paisaje es conveniente la siembra de plantas de raíces cortas y césped o grama. En muchos casos, después de la cobertura final, el pasto crece en forma espontánea.

2.11. Inestabilidad en rellenos sanitarios

En la etapa de operación de un relleno sanitario, se debe asegurar la correcta construcción y seguridad del mismo, para lo cual hay que integrar diferentes aspectos geotécnicos como: la estabilidad del suelo de fundación y la de los taludes, las características del material para el recubrimiento de los residuos, determinación de la resistencia del relleno, así como la evolución de los parámetros resistentes con el tiempo, análisis de la compresibilidad y tiempos de la estabilización de las deformaciones en los rellenos.

La validez y calidad de los análisis de estabilidad global de un relleno sanitario dependen de la información obtenida relativa a las deformaciones, parámetros resistentes, presión intersticial, densidad, geometría, tipos de residuos, método de disposición, sistemas de drenaje de biogás y lixiviados, entre otros datos relevantes⁶.

2.12. Hundimientos y asentamientos en los rellenos sanitarios

En el relleno sanitario se producen, también hundimientos (asentamientos uniformes o fallas), que son el problema más obvio y fácil de controlar con una buena compactación; además, asentamientos diferenciales en la superficie, que

⁶ RODRÍGUEZ SORDÍA, Doraida Socorro. *Características e importancia de los rellenos sanitarios*. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/16306/1/decd_5173.pdf. Consulta: 6 de enero de 2022.

con el tiempo originan depresiones y grietas de diversos tamaños, lo que causa encharcamientos de agua y un incremento de lixiviados y gases. Estos problemas dependen de la configuración y altura del relleno, del tipo de desechos enterrados, del grado de compactación y de la precipitación pluvial en la zona.

3. TIPOLOGÍA DE MOVIMIENTO DE TIERRA EN TALUDES

3.1. 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. 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:

- Expansión de arcillas por absorción de agua.
- Presión de agua intersticial.
- Destrucción de la estructura por choque, vibración o actividad sísmica.
- Fisuras capilares producidas por las alteraciones de expansión y retracción o por tracción.
- Deformación y falla progresiva en suelos sensibles.
- Deshielo en suelos.
- Deterioro de material cementante.
- Pérdida de la tensión capilar por secamiento.

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

Siguiendo con el estudio de las causas, hay que 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, al querer utilizar los recursos naturales de forma no sustentable.

3.2. Clasificación de las fallas

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

- Por deslizamiento superficial: 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 se toma como referencia la clasificación de Varnes⁷, la cual se centra en los tipos de movimientos y su relación con el tipo de terreno.

- Desprendimientos
- Vuelcos
- Deslizamientos rotacionales y traslacionales

⁷ VARNES, David. *Slope movement types and processes*. http://www.geology.cz/projekt681900/vyukove-materialy/2_Varnes_landslide_classification.pdf. Consulta: 10 de diciembre de 2021.

- Corrimientos laterales
- Flujos
- 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

3.3. Análisis para clasificar los diferentes tipos de falla

Para 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. El suelo, cuando 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.

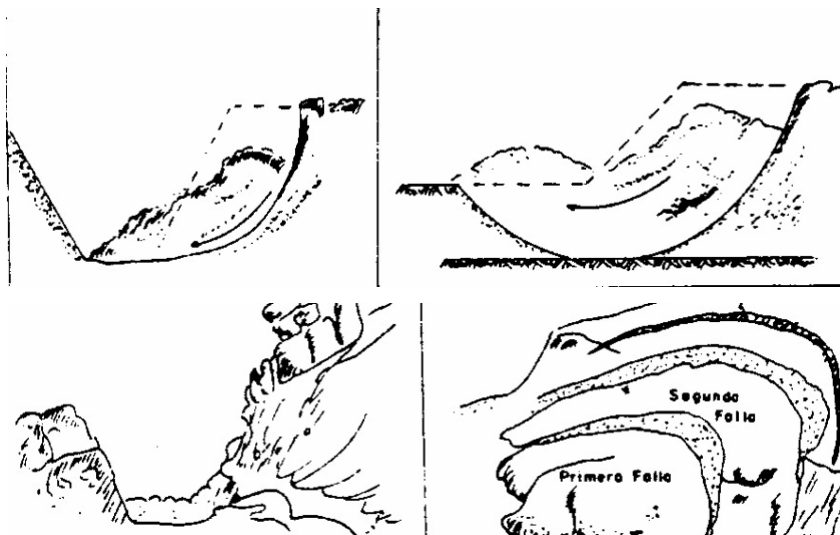
En otras palabras, el análisis para clasificar los diferentes tipos de falla se encuentra en las características del material que forman el suelo, pero también pueden clasificarse de acuerdo con el tiempo en que se presentan.

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.

Es común ver que cuando se produce la falla en un talud a lo largo de una superficie conchoidal, se defina una nueva superficie de deslizamiento mucho más grande que la primera falla. Ver figura 26.

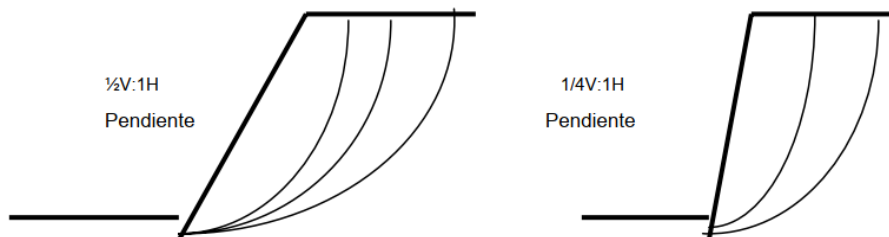
Figura 26. **Proceso de falla de un talud**



Fuente: CRESPO Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. p. 218.

También es necesario destacar que no siempre la estabilidad de un talud se obtiene a medida que se reduce su pendiente. 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 $\frac{1}{2}:1$ es más inestable que uno de $\frac{1}{4}:1$, o bien que el vertical.

Figura 27. Taludes con posible mecanismo de deslizamiento



Fuente: OSEGUEDA, Félix. *Análisis de estabilidad de taludes mediante el método orgenstern – Price*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13966/1/Jes%C3%BAs%20Alfredo%20Qui%C3%B1ez%20Montejo.pdf>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

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

- 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.
- Investigar la localización del estrato húmedo que contribuya a originar el derrumbe.
- 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.
- Tener información total del suelo: peso unitario, contenido de humedad, granulometría y características de plasticidad, resistencia al corte, entre otros.

4. DISEÑO DE ESTRUCTURAS

4.1. Métodos de diseño

A continuación, en los siguientes incisos se describen los diferentes métodos constructivos para la elaboración de muros de contención.

4.1.1. Métodos de obras de contención a gravedad

Este método se basa en las teorías de Coulomb y Rankine. La experiencia de obras realizadas y las pruebas efectuadas demuestran que los resultados obtenidos, adaptando estas teorías a proyectos en suelos reforzados, conducen a resultados (dimensionamientos) a favor de la seguridad y muy conservadores.

Existen límites de validez de tales teorías debido a la esquematización de los cálculos que son relativamente simples (terreno en una única camada, sin la presencia del nivel freático, suelo no cohesivo, terreno a contener con superficie constante, entre otros).

Estas teorías tratan de determinar los diferentes empujes que se producen en la tierra, tanto en caso pasivo como en activo:

Coulomb supone en su teoría las siguientes premisas:

- El suelo es isotrópico y homogéneo.
- La superficie de ruptura es un plano. (Coulomb reconoció que esto no es cierto, pero facilita enormemente los cálculos sin alejarse mucho de la realidad).
- Las fuerzas de fricción están distribuidas uniformemente a lo largo del plano de ruptura y supone un coeficiente de fricción.
- La cuña de ruptura es un cuerpo rígido.

- Existen las fuerzas de fricción entre suelo y muro.
- La falla es un problema tridimensional.

Rankine propone que la estabilidad de una masa granular sea tratada por medio de la teoría matemática de la estabilidad fraccional sin recurrir a suposiciones ni artificios, tomando en cuenta las siguientes condiciones.

- Suelo isotrópico y homogéneo
- La superficie de falla es un plano
- No hay fricción entre suelo y muro
- La masa que falla actúa como un cuerpo rígido
- La dirección del empuje es paralela al talud del terreno
- El talud se prolonga indefinidamente
- Considera al suelo sin cohesión $C = 0$
- Considera al suelo en un estado de equilibrio plástico

En ocasiones, los diseñadores utilizan la presión hidrostática que producirá un fluido imaginario llamado peso específico equivalente.

A esta forma de hallar los empujes se le llama equivalente líquido o equivalente fluido. Esto no es más que la modificación de la fórmula de Rankine⁸.

4.1.2. Métodos de equilibrio límite

Este tipo de métodos puede conducir a factores de seguridad ligeramente conservadores si se comparan con las características reales de los suelos. No obstante, su ventaja con respecto al método anterior se encuentra en el hecho que simulan los posibles mecanismos de deslizamiento (superficie circular, espiral logarítmica, entre otros) de forma más realista y permiten la consideración de situaciones de carga y geometría de terrenos más complejas.

El límite de dichas teorías consiste en que las superficies son examinadas en la situación de eminente colapso que, por hipótesis se asume que ocurra teóricamente en el campo elástico. Tal hipótesis, en realidad, no considera el fenómeno de plastificación del suelo y la congruencia de las deformaciones entre

⁸ CHANQUÍN GÓMEZ, Edy Rolando. *Diversas aplicaciones de gaviones para la protección y estabilización de taludes*. p. 11-12.

el terreno y refuerzo que continúa verificándose en el campo plástico hasta la rotura del refuerzo.

4.1.3. Métodos mixtos de equilibrio límite

Estos tienen muchas limitaciones en sus hipótesis fundamentales (definición de la superficie de deslizamiento, características del suelo, entre otros). Dichos métodos presuponen que exista una zona crítica en el interior de la posible superficie de rotura que se plastifica, por lo que solicita los refuerzos en virtud de su capacidad de anclaje. En tal zona crítica viene impuesta la congruencia de las deformaciones entresuelo y refuerzo. Los algoritmos de cálculo son, en general, relativamente simples por cuanto se basan en principios ya conocidos del equilibrio límite.

En el caso de los taludes, el análisis se realiza de la siguiente manera.

Se utiliza para determinar la magnitud del factor de seguridad. Cuando un talud ha fallado, el factor de seguridad es la unidad y en tal caso se puede usar el análisis para estimar la resistencia cortante promedio a lo largo de la superficie de falla, o a lo largo de una porción de la superficie de falla, si es que se conoce la resistencia a lo largo del resto de la superficie.

A continuación, se mencionan varios principios que son utilizados en este tipo de método.

- Se postula un mecanismo de deslizamiento. En las configuraciones sencillas se supone que el talud falla a lo largo de planos o superficies circulares.

- Usando estática se calcula la resistencia a la corte requerida para equilibrar el mecanismo de deslizamiento supuesto. Lo que significa que la masa potencial deslizante está en un estado de equilibrio límite y que el criterio de falla del suelo o de la roca se satisface en todo el mecanismo de falla propuesto.
- La resistencia al corte requerido para que haya equilibrio se compara con la resistencia al corte disponible. Esta comparación se realiza en función del factor de seguridad.
- Por iteración: se encuentra el mecanismo de falla con el menor factor de seguridad.

4.1.4. Métodos de los elementos finitos

Desde un punto de vista analítico, simula el comportamiento de la estructura de manera más realista si se le compara con los métodos anteriores. El único límite está en el hecho de que es necesario, para la obtención de resultados aceptables y esperados, describir el problema a ser analizado de la forma más completa posible (datos sobre el suelo, su homogeneidad, eventuales anisotropías, entre otros).

La falta frecuente de datos precisos y completos, durante la fase de proyecto y la relativa complejidad de los algoritmos de cálculo desarrollados por el método, hacen que, por ahora, estos métodos sean poco difundidos y generalmente empleados en análisis numéricos específicos.

4.1.5. Método sueco

Se le da este nombre a aquellos procedimientos de cálculo de estabilidad de taludes en que son utilizadas las hipótesis de falla circular.

Existen varios procedimientos para aplicar este método a los distintos tipos de suelos, a fin de ver si un talud tiene garantizada su estabilidad. Este método considera el equilibrio de la porción deslizante como el equilibrio de un cuerpo rígido.

4.2. Verificación de estabilidad de una estructura

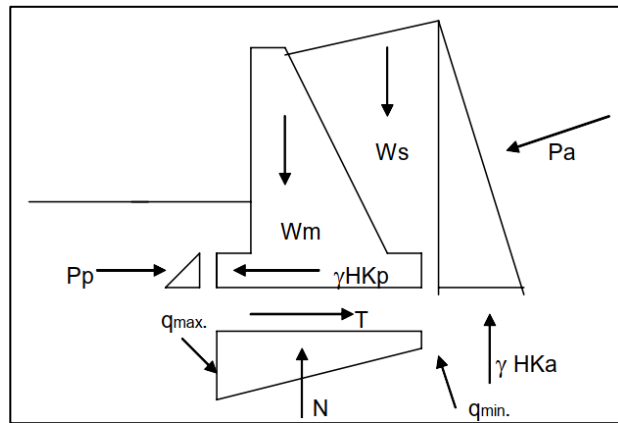
En los siguientes incisos se describe la verificación de estabilidad de una estructura.

4.2.1. Verificación al deslizamiento

Es necesario realizar pruebas de verificación de estabilidad luego de haber realizado el diseño de cualquier estructura, y entre estas pruebas está la llamada verificación al deslizamiento.

Es necesario tomar en cuenta en la práctica, el suelo del frente del muro, solamente hasta la altura de la base del muro en el análisis de estabilidad contra deslizamiento. El suelo en esta parte provee una presión pasiva resistente cuando el muro tiende a deslizarse dentro de esta. Por lo tanto, si el suelo fuera excavado por alguna razón, después de que el muro sea construido, esta presión pasiva dejaría de ser efectiva y se tendría una falla por deslizamiento en potencia.

Figura 28. Diagrama



Fuente: MACCAFERRI. *Obras de contención*. p. 29.

Donde:

W_s = peso del suelo

W_m = peso del muro

P_a = empuje activo

P_p = empuje pasivo

Q_{max} = presión máxima

Q_{min} = presión mínima

T = fuerza de tensión

$\gamma H K_p$ = empuje pasivo resultante

$\gamma H K_a$ = empuje activo resultante

N = fuerza normal

La fuerza sustentante es igual a la suma de fuerzas verticales, incluyendo la componente vertical del empuje.

$$N = \sum F_r$$

La resistencia al deslizamiento no es más que el coeficiente de fricción multiplicado por la fuerza sustentante:

$$T = fN$$

Donde:

F = factor de deslizamiento

N = fuerza sustentante

f = coeficiente de fricción

T = fuerza de tensión

El coeficiente de fricción, f se toma como la tangente del ángulo (φ) de fricción externa: ($2/3 \varphi$).

$$f = \text{tg}(2/3\varphi)$$

El factor de seguridad contra deslizamiento es usual tomarlo como 1,5, aunque podrá tomarse un valor mayor, según sea el caso.

Por consiguiente, para el análisis de estabilidad contra deslizamiento, la fuerza resistente dividida por el empuje activo horizontal es igual al factor de seguridad:

$$\text{F.S.} = Fr/PaH$$

Donde:

F.S = factor de seguridad

Fr = fuerza resistente

PaH = empuje activo horizontal

4.2.2. Verificación al volcamiento

El empuje sobre un muro tiende a volcarlo alrededor de su pie o base. Este momento de volteo es equilibrado por el momento que desarrolla el peso del muro.

Cualquier muro debe ser estable contra volteo alrededor del pie o base. Para realizar este análisis de estabilidad contra volcamiento, se tiene que:

- El momento estabilizante dividido el momento de volteo es igual al factor de seguridad contra volteo.

$$F.S. = ME / Mv$$

Donde:

FS = factor de seguridad contra volteo

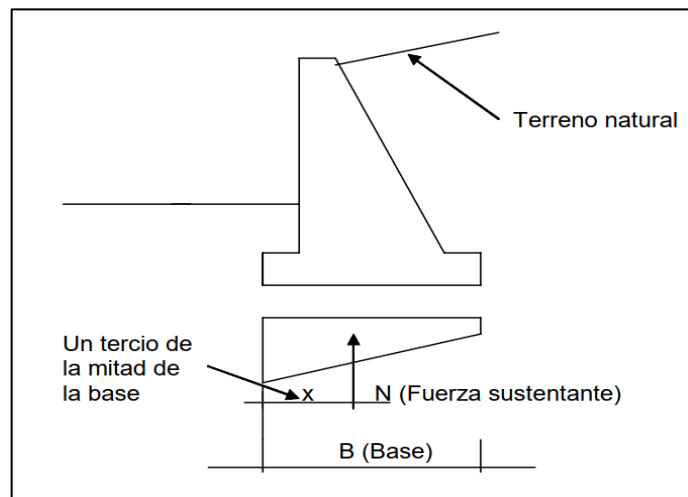
ME = momento estabilizante

Mv = momento de volteo

- El momento estabilizante está dado por el peso de la estructura, el peso de suelo, la componente vertical del empuje y el empuje pasivo del frente del muro.
- El momento de volteo está dado por el empuje horizontal que actúa sobre el muro.
- El factor de seguridad contra el volcamiento generalmente se toma como 1,5, aunque puede ser mayor.

Por lo general, si la resultante N cae en el tercio de la mitad de la base, la estabilidad contra volteo es adecuado.

Figura 29. **Diagrama de fuerzas**

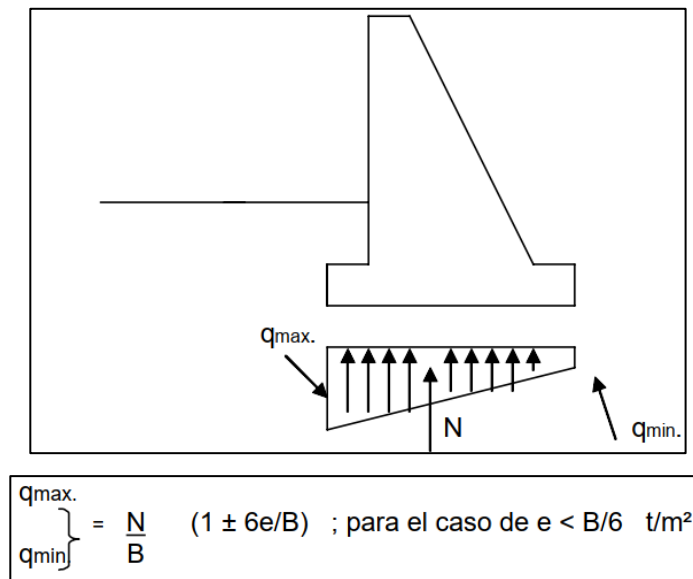


Fuente: MACCAFERRI. *Obras de contención*. p. 32.

4.2.3. **Verificación de las tensiones transmitidas al terreno**

Es importante no sobrepasar la capacidad del suelo para absorber carga, o sea su capacidad soporte. Se puede asumir que existe una distribución lineal de tensiones sobre el terreno cuando sucede que la resultante cae dentro del núcleo central de las tensiones resultantes, como se muestra en la figura 30.

Figura 30. Verificación de las tensiones transmitidas al terreno



Fuente: MACCAFERRI. *Obras de contención*. p. 33.

Donde:

qmax = presión máxima

qmin = presión mínima

N = fuerza sustentante

B = base del muro

E = $B/2 - (Mr - Mv) / N$, es la excentricidad de la resultante

El valor de la tensión resultante debe mantenerse debajo de la tensión permisible del terreno. Este valor puede obtenerse por diferentes métodos como las expresiones de Terzaghi, Hansen, Meyerhoff, entre otros.

También puede usarse tablas que dan la resistencia en función del tipo de suelo y para arenas y arcillas, en función del SPT.

Debido a la flexibilidad de los gaviones, es posible que la resultante caiga fuera del núcleo central de inercia, sin llegar a valores elevados en la tensión de tracción, ya que se reduce la sección de trabajo de la base.

La excentricidad real será:

$$e' = B / 2 - e ; \text{ para } e > B / 6$$

$$q_{\max} = 2 N / 3 e' ; t / m^2$$

$$q_{\min} = q_{\max} (B - 3e') / 3e' ; t / m^2$$

Se considera conveniente que q_{\min} sea $\leq 2t / m^2$ en tracción y q_{\max} no deba sobrepasar la tensión admisible del terreno.

4.2.4. Verificación en secciones intermedias

También es necesario verificar las secciones intermedias del muro, en las cuales se tiene:

Momento actuante $M = M_r - M_v$, tensión de corte T y esfuerzo normal N . Dadas las características de resistencia a la tracción de los gaviones, la tensión máxima actuante cuando hay una excentricidad.

$$e = B / 2 - M / N, \text{ vale}$$

$$q_{\max} = N / 0,8x;$$

$$\text{En la cual } X = (B/2 - e)/0.4$$

Este valor representa la parte de la sección que está trabajando a la compresión. Los valores de M , N , y T , deben ser analizados como se indicó al tratar la verificación del muro completo.

El valor de q_{max} no debe superar al admisible:

$$q_{adm} = 50 \gamma_m - 30 \text{ (t / m}^2\text{)}$$

La tensión tangencial vale $\tau = T/B$ (t / m²) y deberá ser menor a:

$$\tau_{adm} = N / B \operatorname{tg} \phi + C_g \text{ (t / m}^2\text{)}$$

En la cual $\phi = 25\gamma_m - 10$, con γ_m (peso específico del muro) expresado en t / m³ y $C_g = (0,003 P_u - 0,005) 10$ (t / m²), siendo P_u el peso de la red metálica (kg/m³). Para gaviones estándar de $h = 1,00$ m vale 8,60 kg/m³ y para gaviones de $h=0,50$ m es 12 kg/m³.

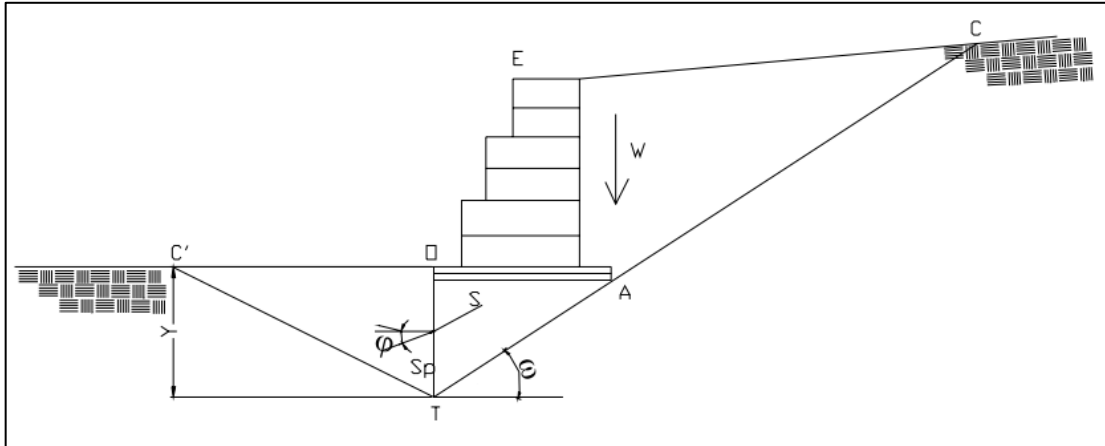
Esto confirma la conveniencia de colocar gaviones de $h=0,50$ m en el tercio inferior de los muros de altura mayor a 3,00 metros. Debido a la resistencia de la malla, las secciones intermedias, casi siempre dan valores favorables con respecto a la sección completa.

4.2.5. Seguridad de rotura global

La inestabilidad de una obra en gaviones puede darse para una rotura del conjunto suelo-muro a lo largo de una superficie cualquiera. El análisis se realiza para diversas superficies y se determina aquella de rotura crítica. El coeficiente de seguridad debe dar entre 1,2 y 1,3.

La superficie de rotura es normalmente una espiral logarítmica, pudiendo por simplificación ser admitida circular y calculada por el método de las fajas. Otro método significativo aproxima la superficie de rotura a una recta y el esquema de fuerzas se muestra en la figura 31.

Figura 31. **Rotura de suelo-muro**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 12.

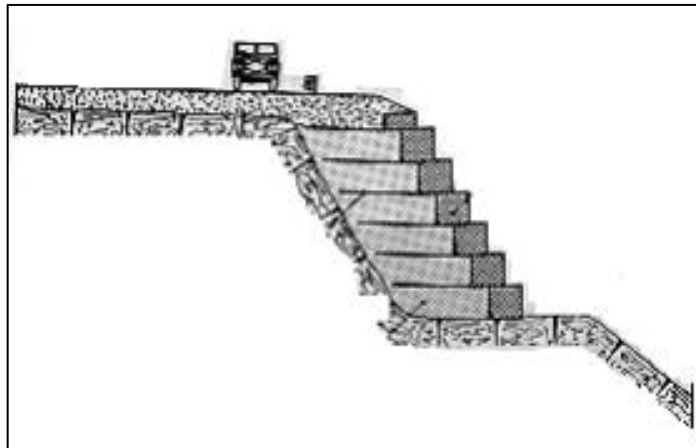
5. PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

5.1. Protección de taludes

Debido a las cualidades como flexibilidad, economía y eficacia, el uso de los gaviones se extiende cada día más hacia diferentes tipos de obras de construcción.

Son muy utilizados en la consolidación de los movimientos de los taludes, ya que por la propiedad que poseen de deformarse sin perder su eficacia y, por su alto grado de capacidad de drenaje se adaptan de una manera particular a muchos casos en que deba operarse en terrenos inseguros.

Figura 32. **Protección de taludes**



Fuente: MACCAFERRI. *Sistema terramesh*. p. 3.

5.1.1. Construcción de muros

Los gaviones representan una solución extremadamente válida, desde el punto de vista técnico y económico, para la construcción de obras de contención, para cualquier ambiente, condición climática y aún en zonas de muy difícil acceso.

Figura 33. Construcción de muros

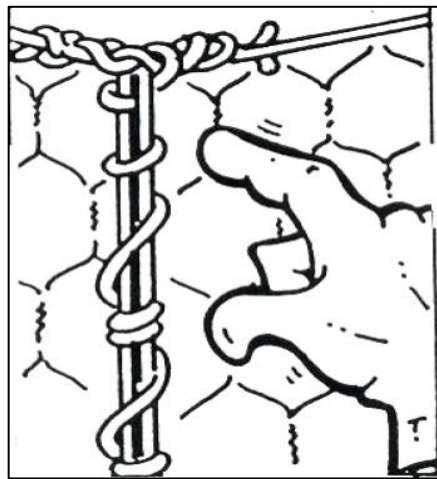


Fuente: MACCAFERRI. *Construcción de muros*. p. 1.

La malla metálica posee elevada resistencia mecánica y la doble torsión impide que esta se desarme ante el cortado de un alambre, asegurando que en cada cruce se tenga un punto fijo manteniendo la flexibilidad de la malla y evitando las deformaciones posibles. La permanencia en el tiempo se asegura a través de la fuerte galvanización de los alambres y, en el caso de condiciones particularmente agresivas para el zinc, se dispone de alambres fuertemente galvanizados revestidos de PVC.

En la obra, los gaviones son montados en forma individual por medio de costuras continuas con alambre de las mismas características de la red de los gaviones. Las costuras son muy simples, pero es necesario que sean realizadas con cuidado para garantizar el perfecto funcionamiento de la estructura.

Figura 34. **Forma correcta de la costura en cajas de gavión y/o colchón**



Fuente: MACCAFERRI. *Colocación de gaviones caja*. p. 1.

Las mismas costuras son utilizadas a lo largo de las aristas en contacto para la unión de los diferentes módulos, ya sea lado a lado o sobrepuestos. En el primer caso, el amarre es más simple si es realizado antes del llenado, en el segundo, con los gaviones superiores vacíos.

El contacto entre los paños de la red, así asegurado, garantiza que una vez llenados los gaviones se produzca el roce en toda la superficie de la malla. De esta manera, la estructura se comporta en forma monolítica manteniéndose constante la fricción interna de la piedra.

El alambre utilizado en las costuras y suministrado con los gaviones es en general de diámetro menor, lo cual lo vuelve más manejable, pero con resistencia suficiente para absorber las sollicitaciones de la estructura.

Figura 35. **Forma de amarre entre cajas de gaviones**



Fuente: MACCAFERRI. *Colocación de gaviones caja*. p. 1.

Las piedras para el relleno deben tener un elevado peso específico, no ser friables, poseer un tamaño mínimo superior a la mayor medida de la malla y uno máximo que se encuentre en el orden del doble del mínimo.

5.2. Estabilización de taludes

A continuación, en el inciso 5.2.1 al inciso 5.2.5 se describen los diferentes tipos de estabilización de taludes.

5.2.1. Muros con parámetros externo vertical o escalonado

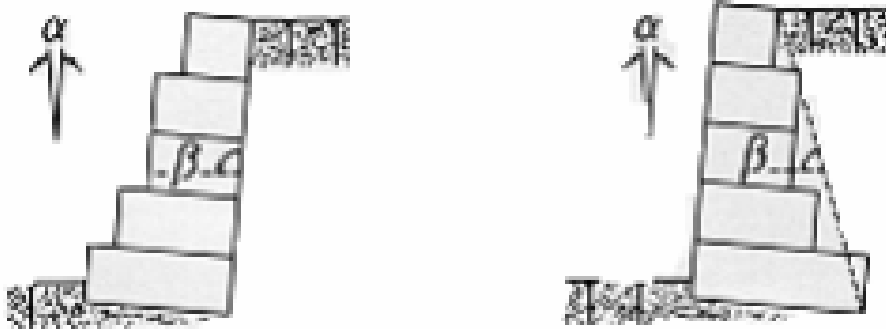
El muro con escalones externos a igualdad de volumen posee una mayor estabilidad. Es conveniente inclinar el muro contra el terreno en un ángulo α generalmente de 6° pudiéndose alcanzar los 10° , de esta forma disminuye el valor del coeficiente de empuje activo.

El coeficiente de empuje activo se adopta en el cálculo del estado límite activo de terreno. El método de Coulomb se basa en el estudio del equilibrio de una cuña de suelo indeformable, sobre la que actúa el peso propio, la fuerza de rozamiento y eventualmente la cohesión.

La cuña activa se produce cuando hay un desplazamiento de la estructura de contención, lo cual sucede solo si la misma es deformable, como en el caso de los gaviones. En el caso de muros muy rígidos se desarrollan empujes mayores que los correspondientes al empuje activo.

En el caso de muro con parámetro vertical interno, la superficie de empuje es el propio parámetro interno del muro. En este caso se considera la superficie que une los extremos internos superior e interior del muro.

Figura 36. **Muros con parámetros externos verticales o escalonados**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 4.

5.2.2. Muros con escalones a ambos lados

Para el cálculo de diseño de este tipo de muro son utilizados los pasos mencionados anteriormente. Para los muros con parámetros externo vertical o escalonados, es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La deformabilidad
- Capacidad de soporte del suelo
- Estabilidad
- Construcción de la base antisocavante

Este tipo de muro puede ser utilizado en sustitución del muro con parámetro interno o escalonado.

Entonces se puede decir que para terraplenes compactados, también puede utilizarse un valor de $\phi = 30^\circ$.

Tras el muro se admite, también una distribución uniformemente variada de presiones, con lo cual el empuje toma una configuración triangular.

En los muros en gaviones se puede asumir $\delta = \phi$., si tras el muro hay un geotextil $\phi = 0,90 \delta$.

Estos valores favorables se deben a la alta rugosidad de la estructura en gaviones que aumentan sensiblemente la fricción.

5.2.3. Muros de semigravedad

Este tipo de muro es muy poco utilizado en las obras de protección de taludes, por lo que no se entrará en detalles. En lo que se refiere a diseño, es necesario realizar un chequeo contra volteo, deslizamiento y presiones sobre el terreno. Estos muros resisten los empujes mediante su propio peso, y son económicos para alturas menores de 4,5 m.

La estabilidad de este tipo de muro se logra solo con su peso propio, por lo que se requiere de grandes dimensiones dependiendo de los empujes. La dimensión de la base de estos muros oscila alrededor de 0,43 de su altura.

5.2.4. Muros de semigravedad con soleras de anclaje

Estos muros, al igual que los de semigravedad, no son muy utilizados, pero también prestan una solución práctica y rápida para protección de taludes. El método de diseño es el mismo que los muros anteriores.

A diferencia de los muros anteriores, este cuenta con una solera que se coloca debajo del muro, la cual sirve para anclarlo en la superficie del terreno.

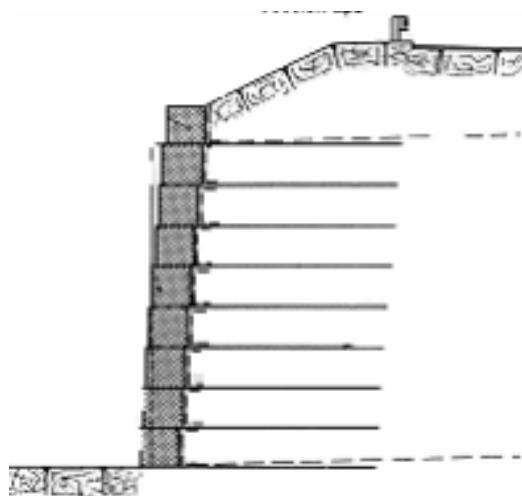
Dicha estructura puede ser construida con material ciclópeo, concreto o los mismos colchones para gaviones, lo cual se realiza con el fin de proporcionar una mejor solución al problema, ya que funciona como un solo bloque.

5.2.5. Muros esbeltos de parámetro escalonado anclado

Este sistema de muro consiste en la colocación de gaviones en forma escalonada, pero con la diferencia de que van anclados al talud por medio de colchones de gaviones o paneles de malla galvanizada. Esto se hace con el fin de tener un anclaje con las paredes del muro para contrarrestar los empujes ocasionados por el mismo material del muro.

Lo anterior dará una mejor resistencia a la protección del talud, su forma de diseño es igual a la de los muros con parámetros escalonados por colchones o paneles de malla.

Figura 37. Muro escalonado anclado con paneles de malla



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 22.

5.3. Generalidades de los gaviones

A continuación, del inciso 5.3.1 al 5.3.11 se describen las generalidades de los gaviones.

5.3.1. Gavión

En ingeniería, los gaviones consisten en una caja o cesta de forma prismática rectangular, rellena de piedra o tierra de tamaño adecuado, de mallas metálicas de acero inoxidable o hierro galvanizado con bajo contenido de carbono.

Estos funcionan de forma monolítica y para lograr estos los gaviones se unen entre si a través de costuras con el mismo tipo de malla utilizada para su armado, dando como resultado un bloque homogéneo conformado por todos los gaviones unidos y que presenta por ende las mismas características mecánicas a lo largo de toda la estructura.

Estos son estructuras utilizadas muy comúnmente con las características físicas y mecánicas para controlar los problemas de deslizamiento y erosión de suelos ante diferentes condiciones.

5.3.2. Antecedentes de los gaviones en Guatemala

En Guatemala fueron de las primeras estructuras utilizadas para estabilizar taludes muchas avenidas importantes, también se utilizaron mucho para proteger edificaciones en zonas con riesgo de deslizamientos, sobre todo en la ciudad capital y el departamento de Chimaltenango.

Actualmente, los gaviones rellenos de piedra representan una gran solución a diversos problemas como la erosión, protección a taludes y muros de contención, su uso se ha ampliado y perfeccionado en el territorio nacional.

5.3.3. Descripción de los gaviones

Los muros de gaviones están diseñados para mantener una diferencia en los niveles de suelo en sus dos lados constituyendo un grupo importante de elementos de soporte y protección cuando se localiza en lechos de ríos.

La erosión hídrica acelerada es considerada sumamente perjudicial para los suelos, pues debido a este fenómeno, grandes superficies de suelos fértiles se pierden; ya que el material sólido que se desprende en las partes media y alta de la cuenca provoca el azolvamiento de la infraestructura hidráulica, eléctrica, agrícola y de comunicaciones que existe en la parte baja.

5.3.4. Características de los gaviones

Los gaviones son estructuras muy utilizadas con las características físicas y mecánicas necesarias para controlar los problemas de deslizamiento y erosión de suelos ante diferentes condiciones.

Monolíticas: todos los elementos que forman las estructuras en gaviones son unidos entre sí a través de amarres ejecutado a lo largo de todas las aristas en contacto. El resultado es un bloque homogéneo que tiene las mismas características de resistencia en cualquier punto de la estructura.

Figura 38. **Estructuras monolíticas**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 26.

- Flexible: el gavión una vez relleno con piedra sufre deformaciones, y aun así continúa sin perder eficiencia en el caso de presentarse una falla en el suelo. Esta propiedad es esencial para soportar empujes de terreno cuando se trabaja sobre suelos inestables o con riesgo de erosión, resultando en que el colapso no es inmediato lo que permite detectar con anticipación el problema y dar la posibilidad de una respuesta acorde a lo que la situación presente minimizando gastos y accidentes.
- Permeable, el gavión relleno, no contiene aglutinantes ni cementantes, por lo que quedan huecos o intersticios. Permite tener saneados los terrenos aledaños a las estructuras. Se pueden constituir como sistema de drenado para anular la posibilidad de presión en el caso de gases y en otros casos disipa la energía del agua, disminuyendo así los empujes hidrostáticos.

Figura 39. **Estructuras permeables**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 27.

- Resistencia: la malla proporciona dominio en todos los esfuerzos dando una distribución uniforme de estos y tiene resistencia nominal a la tensión.

Figura 40. **Estructura resistente**

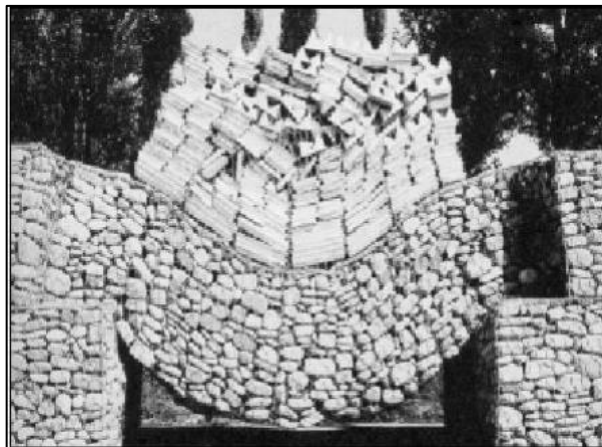


Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 28.

- Durabilidad: para poder dar garantía de la durabilidad de los alambres del gavión, están provistos de un recubrimiento que logra retrasar y disminuir la gravedad de los efectos del medio ambiente sobre el acero, esto le da una vida útil al revestimiento mayor a 50 años.

Por su triple torsión no se desarma en caso de ruptura accidental o intencional. Resiste la corrosión y los vacíos entre el relleno del gavión va siendo ocupado con el tiempo por vegetación y suelo dando una mejor consolidación a esta y mejorando su estabilidad a lo largo del tiempo en lugar de disminuirla.

Figura 41. **Estructuras durables**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 28.

- Instalación fácil y económica: tienen como característica una facilidad constructiva notable siendo necesarios solo la malla, piedra y tablas para el encofrado. No requiere mano de obra especializada, solo para el montaje y el llenado de los elementos y pueden ser construidas en cualquier condición con equipo simple incluso en lugares con accesibilidad mala.

Cuando son comparadas a otros tipos de soluciones, con las mismas resistencias estructurales, presentan costos directos e indirectos más económicos. Pudiéndose construir en etapas.

De estas características se puede tomar como una ventaja mayor la permeabilidad y la instalación simple que este brinda en el caso de utilizarlo para un vertedero a cielo abierto, ya que permite modificaciones como respuesta a un imprevisto.

Como las operaciones de armado y relleno de piedras no requieren ninguna pericia, con los gaviones se pueden ejecutar obras que de otro modo requerirían mucho más tiempo y operarios especializados.

5.3.5. Tipos de gaviones

Los gaviones pueden ser clasificados, según su geometría y cada uno posee características a utilizar de acuerdo a el tipo de proyecto a ejecutar.

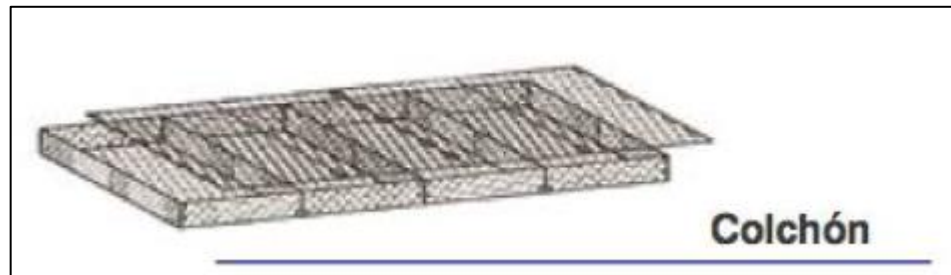
- Gavión tipo colchón: son paralelepípedos regulares de gran área y pequeño espesor con dimensiones variables. Formados por 2 secciones, la base y tapa conformada por la red de malla metálica tejida y el relleno de tamaño y peso apropiados al diseño.

Tabla IV. Datos gavión tipo colchón

Largo(m)	Ancho(m)	Alto(m)
3	2	1
4	2	0,5
5	2	0,5
6	2	0,5

Fuente: elaboración propia.

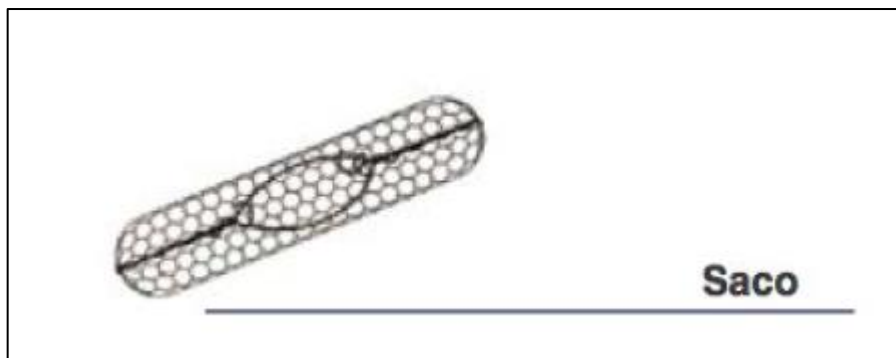
Figura 42. **Gavión tipo colchón**



Fuente: PRODAC. *Soluciones para el control de erosión*. p. 3.

- Gavión tipo saco: su uso, comúnmente es en obras de emergencia o donde la colocación no es posible en condiciones óptimas, a diferencia de los gaviones tipo colchón o los gaviones tipo caja estos son armados en un punto diferente a la obra y se colocan por medio de maquinaria.

Figura 43. **Gavión tipo saco**



Fuente: PRODAC. *Soluciones para el control de erosión*. p. 3.

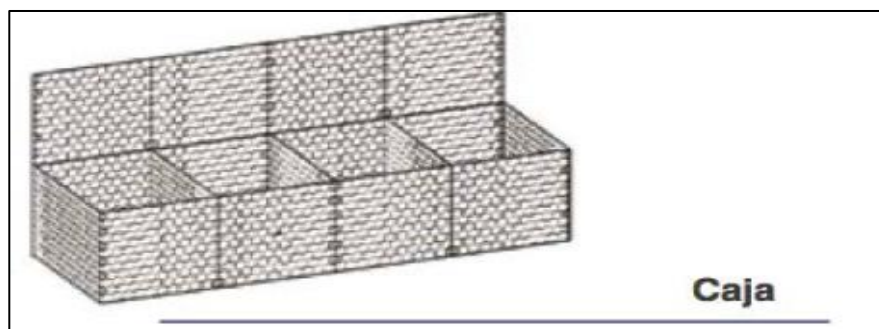
- Gavión tipo caja: son paralelepípedos regulares de diferentes dimensiones constituidos por una red de malla metálica tejida que forma la base la tapa y las paredes frontales y traseras de la canasta del gavión las cuales son rellenas con material pétreo (piedra bola), con diámetro nunca inferior a la dimensión de la malla hexagonal. Las dimensiones de los gaviones tipo caja son estandarizadas:
 - El largo, siempre múltiplo de 1 metro, varía de 1 a 4 metros, con excepción del gavión de 1,5 metros.
 - El ancho es siempre 1 metro.
 - El alto puede ser de 0,5 o 1 metro.

Tabla V. **Datos de gavión tipo caja**

Largo(m)	Ancho(m)	Alto(m)
2	1	1
3	1,5	1
4	2	0,5

Fuente: elaboración propia

Figura 44. **Gavión tipo caja**



Fuente: PRODAC. *Soluciones para el control de erosión*. p. 2.

5.3.6. Características técnicas

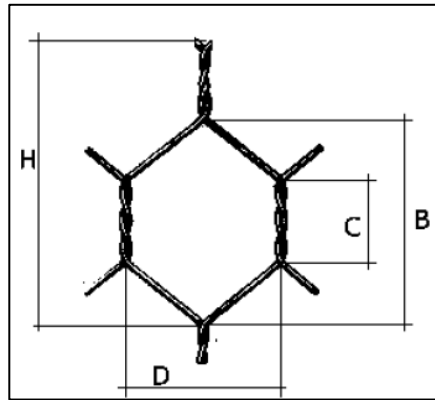
Las características técnicas determinarán el uso, capacidad y durabilidad de los gaviones. Para que estos trabajen de manera adecuada, se deberá cumplir al menos con estos criterios.

- La malla estará constituida por una red tejida de forma hexagonal obtenida por el resultante de entrecruzar dos hilos de alambre por tres medios giros. El tipo de malla conforme a la Norma ASTM A 975 97.
- La tolerancia en las dimensiones de la abertura de la malla será de $\pm 5\%$. Los diámetros de los alambres usados en la fabricación de los gaviones.
- Los alambres que se usan para la fabricación, armado e instalación de los gaviones deben ser de acero de calidad SAE 1008, de acuerdo a las siguientes especificaciones:
- La resistencia a la tracción debe cumplir con la Norma ASTM A 641.
- El recubrimiento utilizado es del tipo galvanización pesada o triple galvanizado, el cual proporciona protección contra la abrasión y corrosión, cumpliendo las especificaciones de la Norma ASTM A 641 clase 3.

5.3.7. Análisis estructural de la malla en gaviones

La malla con que están contruidos estos elementos es capaz de satisfacer todas las exigencias requeridas. Además, soportan esfuerzos altos al ser utilizados para anclaje y resisten las fuerzas de los materiales del lugar.

Figura 45. Dimensiones de malla hexagonal de doble torsión



Fuente: MACCAFERRI. *Análisis de malla para gaviones*. p.1.

Tabla VI. Datos de las dimensiones de la malla hexagonal de doble torsión

Tipo de malla	D	B promedio	C	H promedio
6x8	6,65	9,55	3,00	12,55
8x10	8,25	12,25	4,00	16,25
10x12	9,90	13,45	4,30	17,75

Fuente: MACCAFERRI. *Análisis de malla para gaviones*. p. 2.

El máximo esfuerzo que el anclaje garantiza:

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

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 a ser utilizado en el relleno, 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.

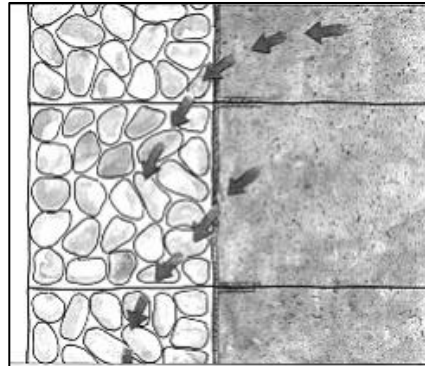
El recubrimiento del alambre por el PVC impide la conductibilidad eléctrica, proveyendo la seguridad necesaria contra los fenómenos de corrosión provocados por las corrientes galvánicas.

5.3.8. Análisis estructural de los materiales para gaviones

Es necesario tomar en cuenta las siguientes características de los materiales para la construcción de gaviones.

Si se usa solo piedra grande, el peso del gavión es menor que si se usa piedra más pequeña, pero drena más fácilmente el agua que le llegue. Esta es una de las funciones fundamentales de los muros hechos de gaviones.

Figura 46. **Permeabilidad en los gaviones permitiendo el drenaje del terreno**



Fuente: MACCAFERRI. *Sistema terramesh*. p. 4.

Lo mejor será usar piedra de diferentes tamaños, para que su estabilidad por peso y facilidad de drenaje sean satisfactorios a las condiciones de un problema específico.

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

Tabla VII. **Diferentes tipos de materiales de relleno para gaviones**

Material de relleno	Pesos	
	Lb/p3	Kg/m3
Basalto	103,00	1 650,00
Ladrillo	78,00	1 240,00
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

Continuación de la tabla VII.

Ripio	94,00	1 500,00
escoria	94,00	1 500,00

Fuente: elaboración propia.

El relleno estructural deberá ser constituido por suelo de buena calidad (granular y bien seleccionado), con ángulo de fricción y permeabilidad elevados, y sobre todo que mantenga sus características a lo largo del tiempo.

Los valores de granulometría examinados van desde los materiales más finos, igual a 0,02 mm (porcentaje no superior al 10 %), a piedras de mayores dimensiones (hasta 200 mm).

Pruebas realizadas muestran que una granulometría variable de 0,02 mm hasta 6 mm (porcentaje que pasa = 100 %) representa, en general, valores óptimos para el material de relleno.

Son todavía admisibles granulometrías mayores (próximas a los 200 mm), en estos casos se hace oportuno introducir un factor adicional de seguridad para la malla previendo y considerando posibles daños en el revestimiento de PVC.

El empleo de materiales con elevados porcentajes de piedras superiores a los 100 mm (10 a 15 % como máximo) es de cualquier manera desaconsejable, también debido a que necesitan cuidados especiales que tornan a los servicios de compactación, muy trabajosos y costosos.

La utilización de materiales granulares seleccionados con las especificaciones mencionadas al principio, garantizan las características de anclaje de la malla, incluso en los casos de variación de la humedad del suelo.

En esta hipótesis es posible, de una forma general, obtener después de la compactación valores de ángulo de fricción para el relleno estructural, por lo menos de 36°. De cualquier manera son admisibles los materiales que no correspondan a la clasificación descrita anteriormente, pero que garanticen las características de anclaje y durabilidad de los esfuerzos.

5.3.9. Comportamiento en conjunto de una estructura de gaviones en distintos estratos de suelo

La primera estructura documentada que presenta una combinación de gaviones y suelo armado fue construida en Sabah, Malasia, en 1979. Un revestimiento vertical de gaviones fue anclado al suelo por medio de tirantes de acero. La estructura, con una altura de 14 metros, soporta un tramo de la autopista que une Kota Kinabalu y Sinsuran. Debido al éxito, esta solución fue utilizada en los siguientes tres años en otras contenciones en esa misma autopista.

Buscando garantizar un refuerzo continuo sobre el plano horizontal, se consideró oportuna la utilización de redes de doble torsión fabricadas con alambres de acero sustituyendo los flejes. De esta manera se crean armaduras longitudinales, continuas y alcanza el desarrollo no solo de la fricción contra la sección del alambre, sino sobre todo de las propiedades mecánicas de trabazón entre las partículas de material del suelo.

Esto se debe a la gran dimensión del hueco de la malla en relación al diámetro del alambre que se traduce en un aumento general de la resistencia del refuerzo, lo cual no ocurre con materiales que aportan resistencia solamente por fricción.

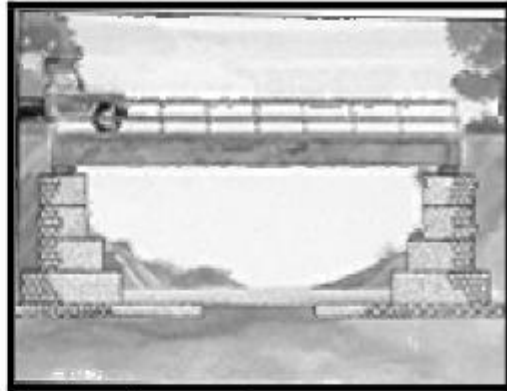
Las características más destacadas de las obras en gaviones se resumen en las siguientes:

- Gran flexibilidad que permite que la estructura se adapte a las deformaciones del terreno manteniendo su estabilidad y eficiencia.
- Elevada resistencia debido al gran peso de la obra, la fricción entre las piedras, su resistencia a la compresión y la elevada tensión de tracción que es soportada por la malla (con baja deformación).
- Permeabilidad adecuada que permite el drenaje de las aguas de infiltración eliminando el empuje hidrostático.
- La puesta en obra es extremadamente sencilla y económica y no requiere de equipos sofisticados ni mano de obra especializada. Para el relleno se puede usar piedra de canto rodado o piedra partida. El llenado se puede realizar manualmente o con el auxilio de equipo normal de obra.
- Se integra armónicamente con el paisaje, permitiendo el desarrollo de vegetación sin que esto traiga inconvenientes, asegurándose por el avance de la naturaleza la estructura construida.

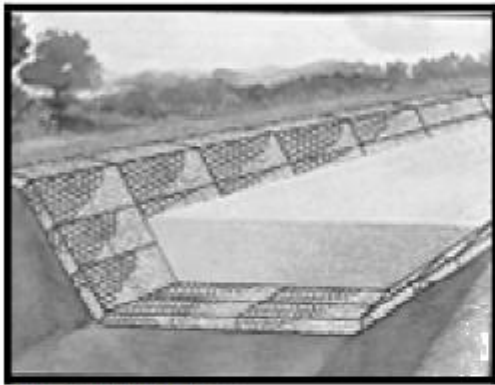
Figura 47. Principales aplicaciones de los gaviones



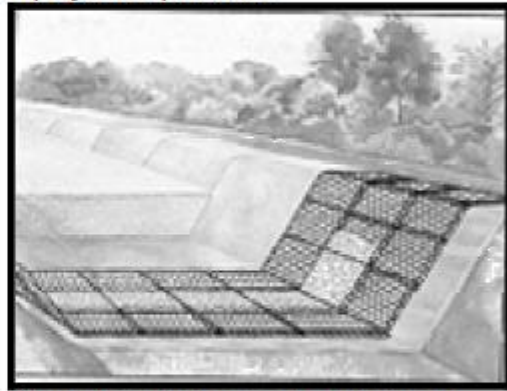
Muro de contención



Apoyo de puentes



Canalizaciones



Canalizaciones con argamasa



Diques



Protección de alcantarillas

Fuente: MACCAFERRI. *Sistema terramesh*. p. 1.

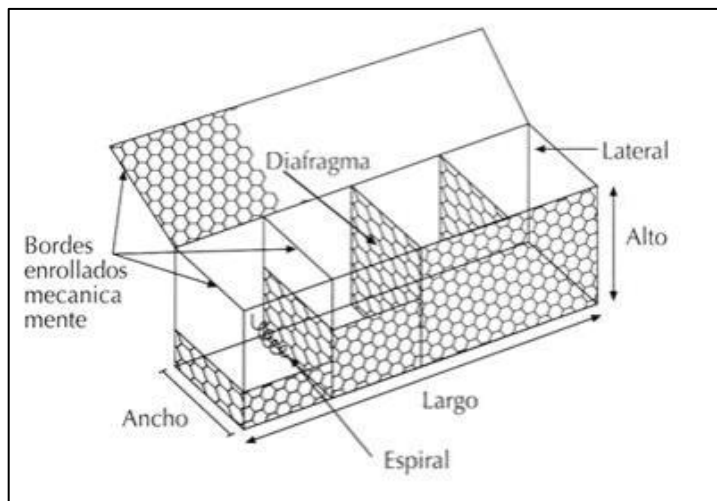
5.3.10. Geomembrana

Según ASTM D 4833: lámina sintética que actúa como barrera de bajísima permeabilidad, usada con cualquier material geotécnico para controlar la migración de fluidos en un proyecto, estructura o sistema realizado por el hombre.

Estos materiales son láminas delgadas impermeables de caucho o material plástico usados principalmente para recubrir y tapar las instalaciones de almacenaje de sólidos o líquidos.

La principal función es siempre como barrera de líquido o vapor. Las geomembranas poliméricas no son totalmente impermeables (ningún material lo es), pero son relativamente impermeables comparada con geotextiles o suelos, aún los suelos arcillosos. funciona como barrera para los gases y se pueden exponer al sol.

Figura 48. **Malla para canastas**



Fuente: MACCAFERRI. *Cálculo de muro de gaviones*. p. 52.

Tabla VIII. Integración de costo de malla para gavión

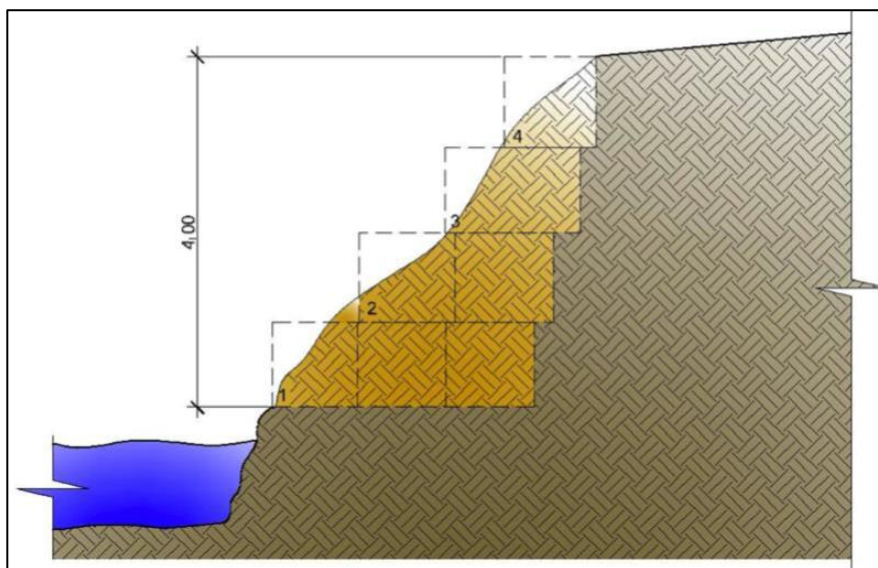
renglón	unidad	cantidad	P. U	TOTAL
MALLA PARA 1 GAVIÓN TIPO 1	U	12	Q25,50	Q306,00
MALLA PARA 1 GAVIÓN TIPO 2	U	15,5	Q25,50	Q395,25

Fuente: elaboración propia.

- Material de relleno

Se llama así al movimiento de tierras que se debe realizar, ya sea material de corte o relleno. El cual hay que hacer a la sección antes de que sean colocados los gaviones.

Figura 49. Esquema de corte de borda



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla IX. **Datos de corte de borda**

renglón	unidad	cantidad	P. U	TOTAL
corte para colocar gavión en borda	m3	58	Q68,00	Q3 944,00

Fuente: elaboración propia.

- Piedra bola

En el lugar a orillas del río se encontró piedra bola con las características y tamaño adecuados para llenar las canastas, lo que es beneficiosos para este proyecto, ya que este renglón no tendrá ningún costo de fabricación ni traslado.

- Tipo de piedra: gabro

Tabla X. **Peso específico: 2 752,30 kg/m³**

renglón	unidad	cantidad	P. U	TOTAL
piedra para 1 gavión tipo 1	m3	2	Q -	Q -
piedra para 1 gavión tipo 1	m3	3	Q -	Q -

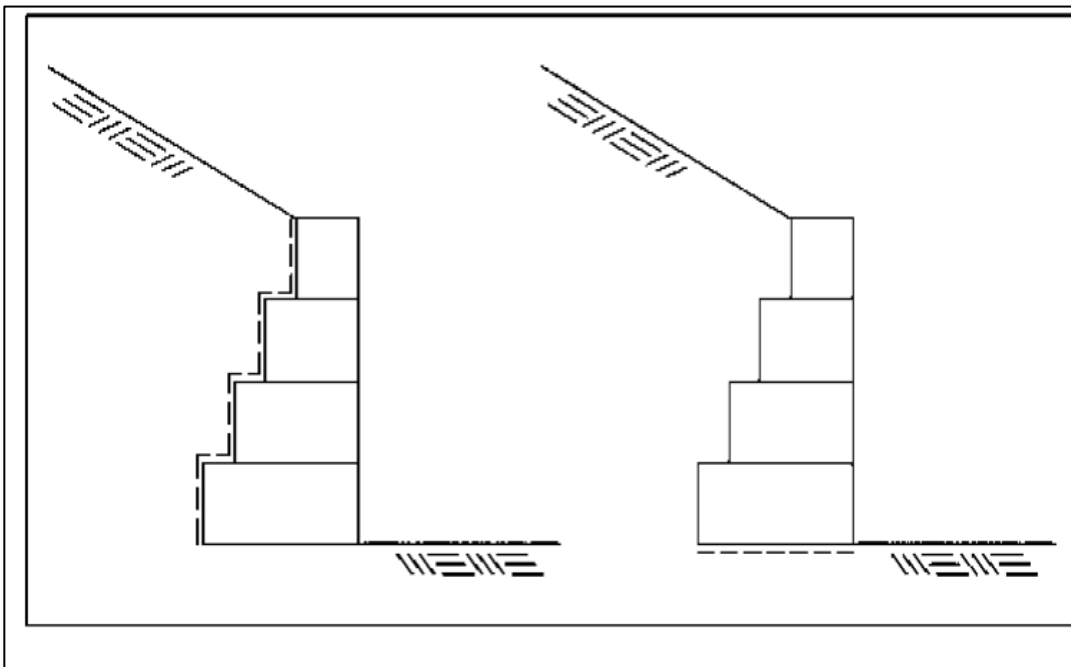
Fuente: elaboración propia.

5.3.11. Geotextil

El geotextil es empleado detrás de las estructuras en la interface ente los gaviones y el material de relleno, especialmente cuando estas estructuras también tienen la función de defensa hidráulica.

Para mantener la continuidad del filtro se debe prever un traslape mínimo de 30 centímetros, al final de cada paño o con equipamiento adecuado proceder a la costura entre los paños de geotextil.

Figura 50. **Ubicación del geotextil**



Fuente: MACCAFERRI. *Cálculo de muro de gaviones*. p. 55.

6. DISEÑO DEL MURO GAVIÓN

6.1. Criterio de cálculo

Los muros de gaviones son estructuras de gravedad y como tal pueden ser dimensionados.

De esta manera las teorías clásicas de Rankine desarrollada en 1837 prediciendo las presiones activas y pasivas del terreno, haciendo referencia a las variaciones de tensiones que se producen en una masa de suelos, cuando se provoca un relajamiento o un aumento de la tensión horizontal. Coulomb se realiza para definir resistencia al corte de suelos y rocas en diferentes casos de tensión efectiva, llamado criterio de falla de Mohr-Coulomb, y así también el método del equilibrio límite, puede ser utilizado en la determinación de los empujes actuantes.

Las características del suelo contenido deben ser analizadas cuidadosamente, ya que de ellas dependen los resultados del análisis, se debe tratar de que el suelo sea lo menos cohesivo posible.

Para el ángulo de fricción δ entre el suelo y la estructura, se puede adoptar el mismo valor del ángulo interno ϕ del suelo, pues la superficie de los gaviones es bastante rugosa. En caso de haber un filtro de geotextil entre el suelo contenido y el muro de gaviones el valor de δ debe ser disminuido, adoptándose normalmente $\delta=0,9\phi$ a $0,95\phi$.

En caso de que las condiciones específicas del problema analizado sean más complejas, no permitiendo la utilización directa de la teoría de coulomb, se recurre generalmente al método de equilibrio límite. En este caso, el trabajo requerido para determinar el empuje actuante es considerablemente mayor. Los programas de computadora ayudan al proyectista con esta tarea.

Como norma general, la base del muro se determinará utilizando la siguiente fórmula:

$$B = \frac{1}{12} (1 + H)$$

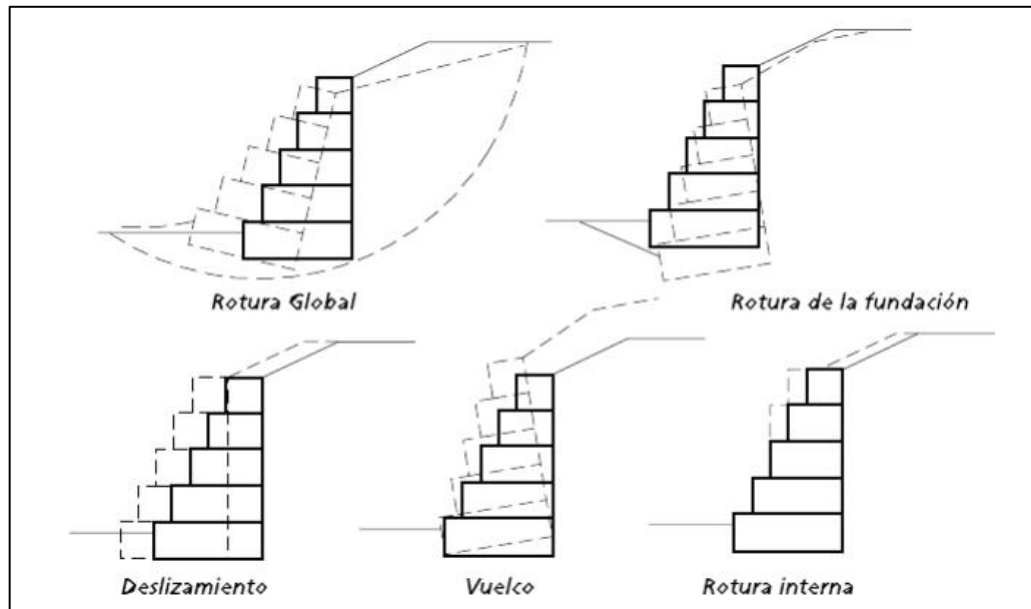
Donde:

H = altura total del muro

6.2. Criterios de verificación de estabilidad

Es necesario la verificación de seguridad de la estructura de contención a los diferentes tipos de rotura. En caso de muros de contención de gaviones, los tipos principales de rotura que pueden ocurrir están mostrados en la figura 51.

Figura 51. Tipos de falla



Fuente: MACCAFERRI. *Cálculo de muro de gaviones*. p. 56.

Deslizamiento sobre la base: ocurre cuando la resistencia al deslizamiento a lo largo de la base del muro, sumada al empuje pasivo disponible al frente de la estructura, es insuficiente para neutralizar el efecto del empuje activo actuante.

- Vuelco: ocurre cuando el momento estabilizante del peso propio del muro en relación al punto de vuelco es insuficiente para neutralizar el momento del empuje activo.
- Rotura de la capacidad soporte del suelo: ocurre cuando las presiones aplicadas por la estructura sobre el suelo de fundación son superiores a su capacidad de carga.

- Rotura global del macizo: deslizamiento a lo largo de una superficie de rotura que envuelve la estructura de contención.
- Rotura interna de la estructura: rotura de las secciones intermedias entre gaviones, que puede ocurrir tanto por deslizamiento como por exceso de presión normal.

6.3. Verificación de deslizamiento

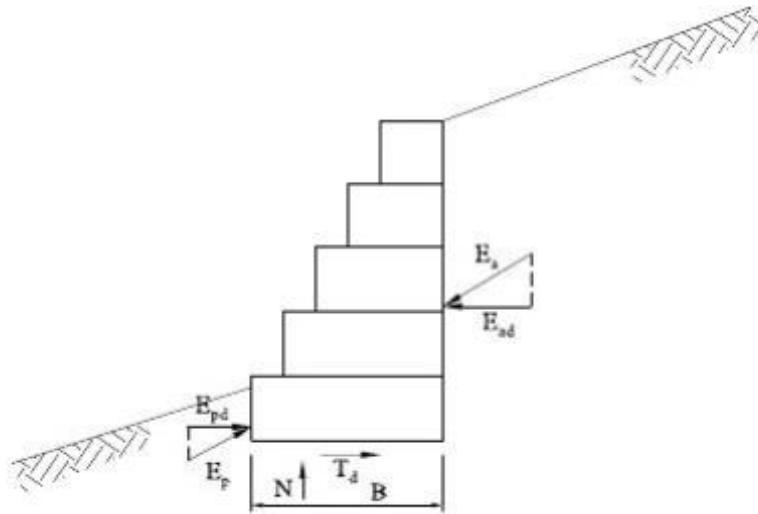
El deslizamiento de la estructura ocurre cuando la resistencia contra el deslizamiento a lo largo de la base del muro de contención, sumado al empuje pasivo disponible en el frente, no es suficiente para contraponer el empuje activo. Se puede definir un coeficiente de seguridad contra el deslizamiento.

$$F_d = \frac{T_d + E_{pd}}{E_{ad}}$$

Donde E_{ad} y E_{pd} son las componentes de los empujes activo y pasivo en dirección al desplazamiento, y la fuerza T_d es la resistencia disponible a lo largo de la base de la estructura.

Se sugiere también que el valor de $F_d \geq 1,5$ sea para suelos no cohesivos y $F_d \geq 2,0$ para suelos cohesivos.

Figura 52. **Falla por deslizamiento**



Fuente: MACCAFERRI. *Cálculo de muro de gaviones*. p. 57.

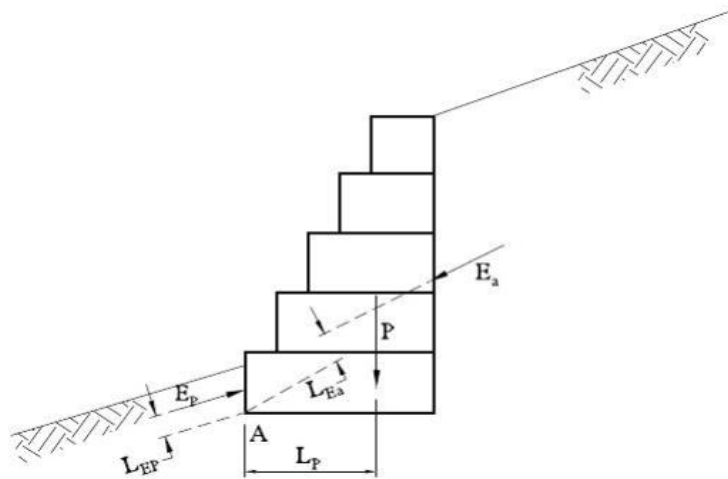
6.4. Verificación de vuelco

El vuelco de la estructura de contención puede ocurrir cuando el valor del momento del empuje activo en relación a un punto A situado en el pie del muro supera el valor del momento del peso propio de la estructura sumado al momento del empuje pasivo. El punto A es denominado punto de giro.

El coeficiente de seguridad contra el vuelco está dado por:

$$F_t = \frac{M_p + M_{E_p}}{M_{E_a}}$$

Figura 53. **Chequeo de volteo**



Fuente: MACCAFERRI. *Cálculo de muro de gaviones*. p. 57.

Otra forma de definirse el coeficiente de seguridad contra el vuelco es considerar que sólo la componente horizontal del empuje activo de E_a contribuye con el momento de vuelco, mientras que su componente vertical E_a contribuye con el momento resistente (figura 24). Así el coeficiente de seguridad F_t sería:

$$F_t = \frac{M_p + ME_p + ME_{av}}{ME_a}$$

Esta última forma de F_t es más utilizada porque evita que el coeficiente de seguridad contra el vuelco resulte negativo cuando la recta soporte del vector que representa la fuerza E_a pasa por debajo del punto de giro.

Como valor mínimo para el coeficiente de seguridad contra el vuelco se sugiere que $F_t \geq 1,5$.

7. ANÁLISIS DE CUANTIFICACIÓN Y DE COSTOS DE MATERIALES Y MANO DE OBRA

7.1. Ejecución

A continuación, se demuestra el análisis de cuantificación y de costos de materiales y mano de obra.

7.1.1. Materiales para la construcción de gaviones

Los materiales para la construcción de gaviones deben ser de muy buena resistencia, durabilidad y seguridad.

Tales materiales tienen que ofrecer garantías especiales y protección contra la corrosión debido a:

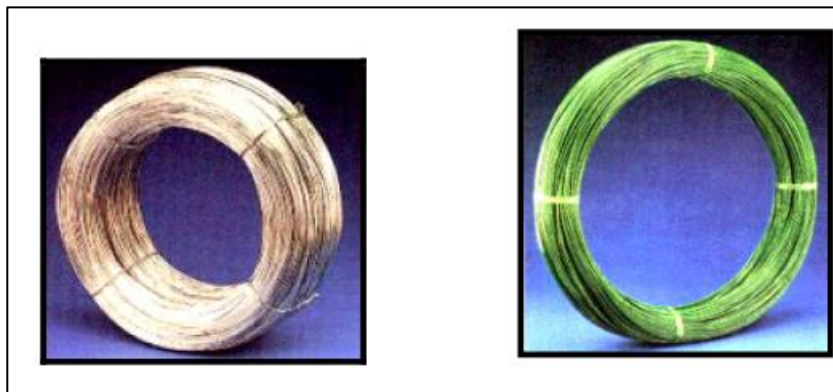
- Agresividad del suelo y/o del agua.
- Fenómenos de corrientes galvánicas.
- Agentes atmosféricos
- Seguridad contra daños provocados por: acciones mecánicas generadas por los esfuerzos de compactación del suelo, incendios.
- Acciones de animales o vandalismo.

Todos los alambres deben estar galvanizados y reforzados. En zonas de aguas agresivas o en obras marinas se utilizan materiales de este tipo y además plastificados con PVC.

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.

Figura 54. **Alambre galvanizado y alambre plastificado con PVC**



Fuente: VARGAS Miriam. *Análisis del comportamiento del factor de seguridad en la estabilidad de taludes*. p. 10.

Para el llenado de las canastas puede usarse piedra de canto rodado, de cantera o material adecuado, pero teniendo siempre la precaución de no emplear piedra deleznable que contenga óxido de hierro, excesiva alcalinidad o en cuya composición puedan existir compuestos salinos, ya que cualquiera de esos elementos podría atacar el alambre a pesar de su fuerte protección de zinc.

Figura 55. **Material para llenado de canastas (piedra de cantera)**



Fuente: MACCAFERRI. *Terra aqua*. p. 3.

Las piedras no tendrán rajaduras, fisuras ni otros defectos que puedan provocar su deterioro por causas naturales o reducir su tamaño de manera que se salgan de las canastas de los gaviones.

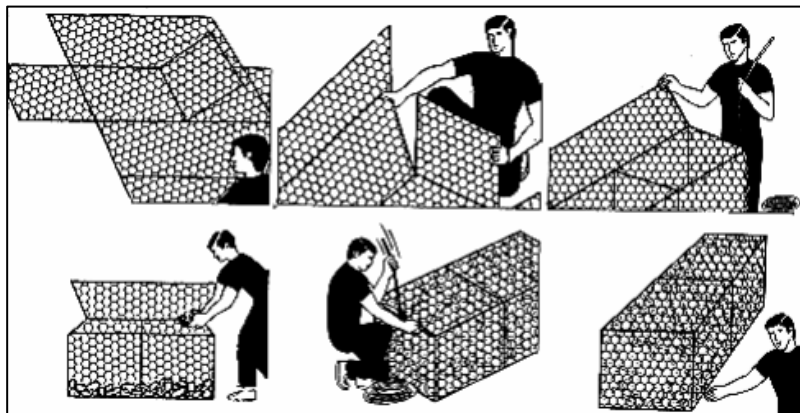
No se permitirá que las cantidades de tierra, arena, arcilla y/o piedra fina exceda el 5 % del peso del relleno de piedra.

7.1.2. Colocación y armado para la construcción de gaviones

La colocación y armado de gaviones y colchones se realiza de la siguiente manera:

Se desdoblán las estructuras metálicas en el lugar de trabajo y se extienden en el suelo. Alzando las paredes y cosiendo las aristas verticales con el alambre apropiado se obtienen las cajas.

Figura 56. **Colocación y armado para la construcción de gaviones**



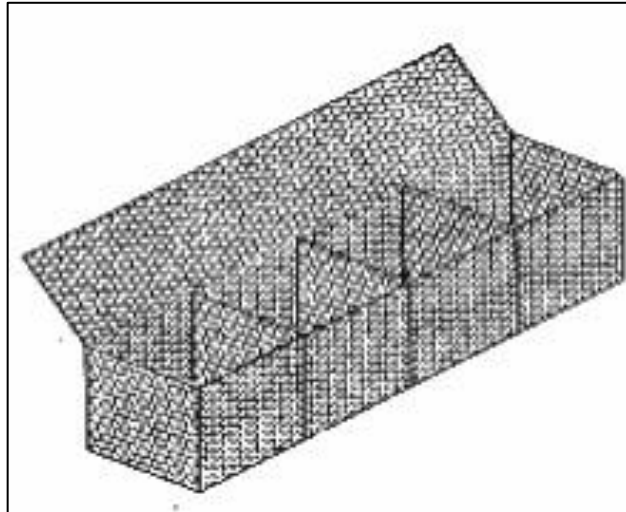
Fuente: MACCAFERRI. *Gaviones*. p. 1.

Dichas costuras son ejecutadas en modo continuo, pasando el alambre por todos los huecos de las mallas con doble vuelta cada dos.

Después de haber preparado una buena cantidad de gaviones y/o colchones, se prosigue a colocarlos de acuerdo a su ubicación y diseño, bien atados entre sí, por medio de resistentes costuras a lo largo de todas las aristas en contacto.

Todos los gaviones deben ir armados entre sí, tanto los que son adyacentes como los que están superpuestos por anillos o grapas hechas con el mismo alambre.

Figura 57. **Canastas de gavión amarradas entre sí**



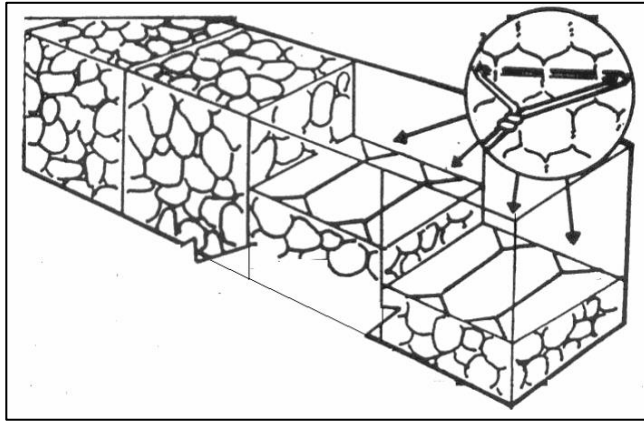
Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles*. p. 3.

Es conveniente amarrarlos entre sí antes de rellenarlos para facilitar la operación de costura.

Si la altura de los gaviones es de 1,00 m se colocan tirantes en el interior de éstos, con el fin de evitar una excesiva deformación en las cajas, lo cual sucede cuando hay amontonamientos de roca y espacios vacíos.

Los tirantes se colocan a 30 cm de los bordes superior e inferior. En los gaviones de 50 cm de altura es necesario colocar tirantes a 25 cm del borde superior.

Figura 58. **Colocación de tirantes en las cajas de gaviones**



Fuente: MACCAFERRI. *Colocación de gaviones caja*. p. 2.

Los tirantes pueden ser colocados en forma horizontal o vertical, según su forma y función, de acuerdo a las necesidades en las distintas partes de la obra.

Los tirantes verticales se utilizan por costumbre en los zampeados o en los revestimientos con gaviones sin diafragma altos de 0,50 o 0,30 metros, mientras los tirantes horizontales se emplean, como ya se dijo, con todos los gaviones altos de 1,00 m.

La etapa de llenado con piedras es el paso más importante en la construcción de la estructura con gaviones, pues de ella depende su estabilidad.

El tamaño de la piedra está directamente relacionado con el porcentaje de huecos en el gavión y, por lo tanto, con el peso específico y la capacidad de soporte de cada bloque.

A mayor tamaño de piedras de relleno, mayor es el porcentaje de huecos y menor el peso específico obtenido. Por lo tanto, que los gaviones colocados en la base de una obra (en este caso colchones) sean llenados con piedras pequeñas.

Todo el proceso descrito en los párrafos anteriores se realiza en forma manual y no se necesita de mano de obra calificada. Existen ocasiones en que sí se utiliza maquinaria pesada para la colocación de gaviones ya llenos con piedra como en lechos de río, lagos, entre otros; que formarán la base que servirá más adelante para la construcción de algún muro.

7.1.3. Rendimientos para la colocación de gaviones

Para obtener los mejores resultados y rendimientos al momento de ejecutar cualquier proyecto de este tipo, es necesario tomar en cuenta varios factores.

- Ubicación del proyecto.
- Acceso al proyecto.
- Reconocimiento del lugar para extracción de piedra.
- Costo de mano de obra para recolección de piedra.
- Asesoría y adiestramiento para el armado de las canastas de gavión y otras.

Estas solo son algunas recomendaciones y sugerencias que es necesario tomar en cuenta, pero que pueden variar de acuerdo al proyecto y la experiencia que se tenga.

Una cuadrilla para la instalación del gavión tipo caja, el cual será utilizado en este trabajo se compone habitualmente de seis obreros, distribuida en la siguiente forma:

- Unas personas en desempaque y armado
- Dos personas colocando el gavión en sitio y cociéndolo
- Dos personas llenando los gaviones y colocando tensores
- Una persona cerrando las tapas

Con esta cuadrilla terreno afinado y materiales a pie de obra se puede obtener un rendimiento de 15 metros cúbicos por jornada de trabajo.

El mejor precio por metro cúbico, lineal o cuadrado de gavión dependerá mucho de todos los factores ya mencionados, así como de la experiencia que tenga el calculista en este tema.

A continuación, se mencionan algunas características que se sugiere tenga presente la persona encargada del cálculo.

- Costo unitario de la canasta para gavión o colchón.
- Costo del alambre para el cosido y atirantado.
- Costo de la piedra para el llenado de los gaviones.
- Costo de transporte de las canastas, alambre y piedra hasta el lugar de la obra.
- Costo de mano de obra.
- Rendimiento de mano de obra para la colocación de los gaviones.

7.2. Armado de canastas

Para el armado de canastas se necesitan tres obreros 2 personas armando el gavión en sitio y una cerrando tapas. Esto se realiza con el objetivo de no perder tiempo en cambios de lugar innecesarios, y que cada obrero se especialice en lo que está haciendo.

Tabla XI. Datos de armado de canasta

renglón	unidad	cantidad	P. U	TOTAL
armadores de gavión	m2	240	Q4,10	Q984,00
cerradores de tapas	m2	50	Q1,90	Q95,00
			subtotal	Q1 079,00
			prestaciones	66,33 %
			total	Q1 794,70

Fuente: elaboración propia.

7.3. Llenado de canastas

Para llenar las canastas con la piedra bola se designarán 2 obreros los cuales, también colocarán los tensores de los gaviones quienes evitarán que los gaviones se separen unos de otros.

Tabla XII. **Datos de llenado de canastas**

renglón	unidad	cantidad	P. U	TOTAL
llenado de gavión	m3	60	Q32,00	Q1 920,00
			subtotal	Q1 920,00
			prestaciones	66,33 %
			total	Q3 193,54

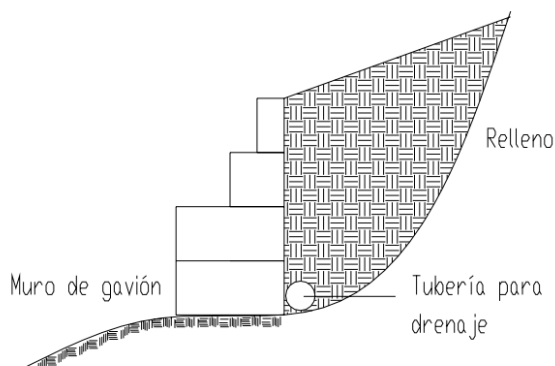
Fuente: elaboración propia.

7.4. Drenajes

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 al del proyecto para muros inclinados y apoyados sobre bases de concreto es oportuno colocar tubos drenantes recubiertos por grava, atrás de la obra y en la base. A lo largo del mismo se deben colocar dispositivos para conducir el agua por fuera de la obra.

El drenaje del terreno puede ser más eficaz con la colocación de contrafuertes en la espalda del muro. Normalmente tienen una extensión que coincide con la cuña de máximo empuje, siendo más largos en la parte superior y disminuyendo en las camas inferiores. Su espesor normalmente es de 1,0 m, y son colocados a una distancia entre ellos igual a 2 veces la altura del muro. A pesar de que la función principal de los contrafuertes es esencialmente drenante, ellos ejercen, también un papel de robustecimiento de la obra y pueden ser admitidos como estructura de anclaje.

Figura 59. **Sistema drenante en muro de gaviones**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 13.

7.5. Colocación del geotextil

Para cortar y colocar el geotextil en el área designada del muro, se designarán tres obreros uno para cortar y los otros dos para colocarlo. La colocación del mismo debe ser lo más cuidadosa posible, ya que esto influirá en la calidad final del muro.

Tabla XIII. **Datos de la colocación del geotextil**

renglón	unidad	cantidad	P. U	TOTAL
colocación y del geotextil	m2	58	Q12,00	Q696,00
			subtotal	Q696,00
			prestaciones	66,33%
			total	Q1 157,66

Fuente: elaboración propia.

7.6. 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 una geomembrana a lo largo de la base del muro cuando se rellena en la parte posterior del gavión, para terrenos de baja capacidad soporte o sujetos a la saturación de agua.

Figura 60. Empleo del geotextil



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 31.

La tela de filtrar debe ser un geotextil del tipo no tejido, el cual consiste en filamentos poliméricos que forman una red estable, de tal forma que los

filamentos conserven su posición relativa y que se apeguen a las especificaciones de los geotextiles para filtro.

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.

7.6.1. Recolección de lixiviados

Cuando se requiere la construcción de un nuevo relleno sanitario se presentan una serie de problemas a resolver, como ser la contaminación de napas freáticas, cuerpos de agua cercanos entre otros, que impiden excavar y obligan a mantener pendientes ligeras para asegurar la estabilidad del estrato drenante. Esto trae como consecuencia la necesidad de construir terraplenes para contener mayores volúmenes de residuos, con pendientes pronunciadas, en donde no es posible utilizar los sistemas tradicionales de drenaje y recolección de lixiviados de estratos de arena. Las geomembranas son parte del sistema de drenaje, actuando también como protección de fallas en el sistema drenante.

7.6.2. Recomendaciones en la preparación para la geomembrana

- Asegurarse de que no existan desniveles que puedan producir daños.
- Verificar que no haya presencia de piedra afiladas, pues son causantes de perforaciones en el material.

7.7. Herramienta y equipo

La herramienta y equipo a utilizar para el proceso de armado de los gaviones es muy básico y ligero por lo que representa una ventaja para este tipo de soluciones.

Tabla XIV. Datos de la herramienta y equipo

renglón	unidad	cantidad	P. U	TOTAL
ALICATES	U	3	Q46,43	Q139,29
BARRA METÁLICA	U	1	Q13,50	Q13,50
CARRETAS	U	1	Q218,21	Q218,21
PALANCA DE UÑA	U	1	Q90,00	Q90,00
PALAS	U	1	Q30,22	Q30,22
PICAS	U	1	Q28,57	Q28,57
PINZAS	U	3	Q53,79	Q161,37

Fuente: elaboración propia.

7.8. Costos de alquiler de maquinaria

El costo de maquinaria en muros de gavión en comparación con otro tipo de proyectos es mínimo, ya generalmente la maquinaria que se necesita es una retroexcavadora y un camión de volteo para realizar los cortes o rellenos del perfil del muro. Para el caso particular solo se tendría el costo de la retroexcavadora, ya que no se tiene acarreo del suelo ni del material de relleno del gavión (piedra bola).

Tabla XV. **Datos de los costos del alquiler de la maquinaria**

renglón	precio/hora
Retroexcavadora	Q200,00
Tractor D4	Q300,00
Vibro compactador	Q200,00
Camión de volteo 7m3	Q120,00

Fuente: elaboración propia.

7.9. 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.

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. En este caso, 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 mejores cualidades (arenas, gravas, estabilizantes químicos, entre otros), siempre que este sea parcialmente idóneo.

El material de relleno debe ser volcado y compactado en capas sucesivas con espesores no superiores a 30 cm. La compactación del relleno junto al paramento deberá ser efectuada con auxilio de compactadores manuales. El

grado de compactación a alcanzar deberá estar de acuerdo con las normas especificadas para la obra.

Generalmente, en la fase de diseño, se asume una compactación tal que determine una densidad mínima para el relleno, próxima a los 1 800 kg/m³. Una compactación mayor es aconsejable cuando son previstos asentamientos, a lo largo del tiempo, que pueden actuar sobre eventuales estructuras constituidas sobre el relleno.

7.10. 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, 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.

7.11. Otros costos

Estos son llamados también costos indirectos o administrativos, ya que, aunque no están ligados directamente a la obra representan un costo adicional para el constructor.

7.11.1. Costos de depreciación

Costo o gasto en que incurre una empresa por el uso de sus activos fijos como oficinas, edificios, vehículos, maquinaria, herramienta entre otros, y se calcula a través de un porcentaje sobre la obra.

Se considera como costo cuando los activos que la generan se encuentran directamente involucrados en el proceso de construcción como, por ejemplo: maquinaria, vehículos y herramientas usados en la obra.

Porcentajes usados regularmente:

- Edificios: 5 %
- Infraestructura pública: 3 %
- Vehículos: 20 %
- Maquinaria, equipos y otras unidades para la producción: 20 %
- Equipo de transporte: 20 %
- Muebles y enseres: 10 %
- Equipos de cómputo: 33,33 %
- Herramienta construcción: 6 %-14 %

7.11.2. Costos de operación y oficina en obra

Puede decirse que son similares a los de operación central, naturalmente con otra estructura técnico-administrativa y con la salvedad de que se considerarán los gastos de traslado de personal para obras, comunicaciones, fletes, construcciones provisionales y varios.

- Personal técnico-administrativo: normalmente incluye sueldos y prestaciones de jefes de obra, residentes y ayudantes técnicos, personal de topografía, mecánicos, jefe administrativo de obra, contadores, auxiliares, almacenistas, veladores, chóferes, vigilancia.
- Traslado de personal a la obra: son los pagos por transporte periódico del personal técnico y administrativo de su lugar de residencia a la obra como: mudanzas, pasajes, peajes, gasolina, lubricantes y mantenimiento menor.
- Comunicaciones: son los destinados a mantener la comunicación permanente entre la obra y la oficina central como: teléfonos celulares, fax, radios, entre otros.
- Fletes: son los gastos por traslado de materiales e insumos del almacén central a la obra, como: combustibles y mantenimiento de las camionetas o vehículos de la obra.
- Construcciones provisionales: son aquellos que se hacen para mantener las instalaciones provisionales para la dirección, supervisión y administración de la obra como: cercas, oficinas provisionales, instalaciones para habitación, comedores, almacenes, baños, instalaciones eléctricas, servicios sanitarios, entre otros.

- Seguridad de la obra y del personal: son aquellos gastos que se efectúan para dar seguridad a la obra y al personal como: equipo contra incendio, señalización, botiquín de primeros auxilios.

7.11.3. Financiamiento

Es sumamente importante lo relativo a este concepto, ya que antes de iniciar una obra y cobrar un anticipo al cliente, se habrán realizado una serie de gastos financiados por la constructora que no siempre se recuperan dado que no se van a ganar todos los concursos ni todos los proyectos.

Es indispensable que el lapso de tiempo entre la ejecución de los trabajos la aprobación de los mismos y entre la aprobación y el cobro real sea lo menos posible ya, que, de otro modo, la empresa tendrá que financiar los trabajos para no interrumpir su ritmo y puede ocurrir que las utilidades de la empresa se vean reducidas o bien operar con pérdida.

Es importante el concepto de liquidez, debido a que el balance de activos y pasivos no es la parte medular de una compañía pues el activo, en ocasiones, puede no representar efectivo disponible para cubrir compromisos inmediatos y, si bien se acepta que el activo puede, cumplir con compromisos inmediatos, existen obligaciones que están directamente relacionadas con un tiempo perentorio.

No permitir que se límite el uso inmediato de capital de trabajo, por lo tanto, nuestra selección de clientes y de obras será parte determinante de la liquidez y necesidades de financiamiento.

Una pérdida prevista permitirá tomar decisiones de salvamento, tales como, recorte de gastos fijos, reducción de costos, solicitudes de financiamiento, entre otros, y, en última instancia, liquidar dicha compañía, sin afectar intereses de terceros.

7.11.4. Seguros de la obra

Generalmente, para otorgar un contrato a alguna empresa constructora la parte contratante necesita tener una garantía de que el contratista cumplirá con sus compromisos por ello le exige una fianza o seguro, siendo una obligación para el contratista, se considera parte del costo de operación.

Figura 61. Diagrama fianzas administrativas



Fuente: elaboración propia.

7.11.5. Sostenimiento de oferta

Esta fianza garantiza que el oferente va a mantener invariables las condiciones de su oferta hasta la adjudicación. Es requisito para participar en las licitaciones o cotizaciones promovidas por entidades del Estado.

Su vigencia comprende el período comprendido desde la recepción y apertura de plicas hasta la aprobación de la adjudicación, y en todo caso, tendrá una vigencia de 120 días y se cauciona en un rango del 1 por ciento al 5 por ciento del valor del contrato. Tendrá vigencia hasta que se firme el contrato respectivo y se obtengan las fianzas de cumplimiento y de anticipo.

7.11.6. Fianza de cumplimiento

Se cauciona por un monto del 10 por ciento en bienes y servicios, Suministros y adquisiciones. Del 10 por ciento al 20 por ciento en obras, ambas cubren el 10 por ciento en pago de salarios y prestaciones laborales y el 90 por ciento en el cumplimiento del contrato de acuerdo con las especificaciones, planos y demás documentos contractuales.

7.11.7. Fianza de anticipo

Se cauciona por el 100 por ciento del anticipo.

7.11.8. Fianza de conservación de obra, calidad o funcionamiento

Se cauciona por el 15 por ciento del valor del contrato y cubre el funcionamiento de la obra durante un plazo de 18 meses, a partir de la recepción

de la misma, si fuera el caso de existir dolo (mala fe) el plazo a cumplir aumentará a 5 años.

7.11.9. Fianza de saldos deudores

Es por el 5 por ciento del valor del contrato y garantiza el pago de los saldos deudores que puedan resultar a favor del Estado, de la entidad correspondiente o de terceros en la liquidación y debe otorgarse simultáneamente con la fianza de conservación de obra como requisito previo para la recepción de la obra.

7.11.10. Imprevistos

Aun cuando una empresa tenga una buena organización, el medio ambiente, y el elemento humano generan situaciones imprevisibles y, por consiguiente, no contempladas en el planteamiento inicial. Ante esta situación se justifica que se agregue a los precios unitarios o a los presupuestos un margen convencional que cubra una proporción de los riesgos imprevisibles. Este se pondera en un porcentaje del costo directo.

7.11.11. Utilidad

Es el porcentaje de ganancia justo, equitativo e indispensable para cumplir dentro del régimen de libre empresa de economía privada, aceptando los riesgos profesionales.

Normalmente la utilidad que manejan la mayoría de las empresas constructoras se encuentra entre el 10 y el 15 por ciento, aunque, debido al ciclo de recuperación y a los riesgos que acompañan a cualquier inversión (ya sea el caso de un contrato por administración, a precios unitarios, o uno a precio alzado

(incluye materiales y mano de obra) con la posibilidad de máximo riesgo), los porcentajes que se determinen para cada obra de construcción deberán ser diferentes.

Lógicamente, la empresa cuidará que su utilidad le permita no solo sobrevivir, sino crecer, capacitarse y desarrollarse. Las bases y normas generales para la construcción y ejecución de obras públicas establecen que, en la integración de precios para la contratación de obra pública, la utilidad quedará representada por un porcentaje sobre la suma de los costos directos más los costos indirectos. Dentro de este cargo queda incluido el ISR y el IVA que, por ley, debe pagar el contratista.

Es una necesidad imperiosa para la empresa constructora estar al tanto de los casos susceptibles de exención y de las modificaciones que se realicen a la ley, debido a las repercusiones que conlleva su desconocimiento.

7.11.12. Costos administrativos

Dentro de estos costos de operación se consideran los gastos realizados por la dirección y administración de la constructora para su supervivencia; estos gastos se dividen proporcionalmente entre la o las obras que se ejecuten en un período fiscal (1 enero al 31 de diciembre) de acuerdo con el monto del contrato e independientemente del tamaño de la constructora.

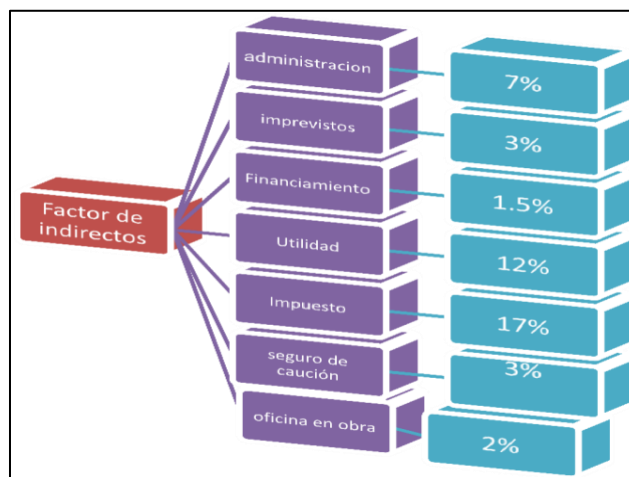
A continuación, se mencionan los rubros que deben evaluarse para la determinación del primer presupuesto de operación o costo indirecto de la administración central.

Gastos técnicos o administrativos: son aquellos que representan la estructura ejecutiva, técnica, administrativa y de staff de una empresa, tales como: honorarios o sueldos de ejecutivos, consultores, auditores, contadores, técnicos, secretarias, recepcionistas, jefes de compras, almacenistas, pilotos, mecánicos, veladores, dibujantes, ayudantes, personal de limpieza, seguridad y conserjería por asuntos jurídicos, fiscales y otros.

Materiales de consumo: son todos los gastos en artículos de consumo para que pueda funcionar eficientemente la empresa, tales como: papelería impresa, útiles de escritorio, copias xerográficas, discos compactos, disquetes, cartuchos de tinta, artículos de limpieza, pasajes, azúcar, café.

Seguros y obligaciones: son aquellos gastos obligatorios para la operación de la empresa y convenientes para la dilución de riesgos a través de seguros que impidan una súbita descapitalización por siniestros. Entre estos se puede enumerar seguros de robo, de vida, de incendio, de accidentes para automóviles y camionetas, así como las cuotas para colegios y asociaciones profesionales.

Figura 62. **Cálculo del factor de indirectos**



Fuente: elaboración propia.

8. ESTUDIO DE LA REGIÓN

8.1. Ubicación geográfica

Palín se encuentra en el departamento de Escuintla y sus colindancias son:

- Norte: Villa Canales, municipio del departamento de Guatemala.
- Sur: Escuintla y San Vicente Pacaya, municipios del departamento de Escuintla.
- Este y sureste: San Vicente Pacaya, municipio del departamento de Escuintla.
- Oeste y suroeste: Escuintla, municipio del departamento de Escuintla.

8.2. Precipitación

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Palín varía muy considerablemente durante el año.

La temporada más mojada dura 5,4 meses, de 13 de mayo a 26 de octubre, con una probabilidad de más del 29 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Palín es septiembre, con un promedio de 16,5 días, por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 6,6 meses, del 26 de octubre al 13 de mayo. El mes con menos días mojados en Palín es febrero, con un promedio de 0,4 días, por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Entre los días mojados, se distinguen los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Palín es septiembre, con un promedio de 16,5 días. Con base en esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 57 % el 12 de septiembre.

8.3. Lluvia

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, se muestra la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días en una escala móvil centrado alrededor de cada día del año. Palín tiene una variación extremada de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 8,2 meses, del 29 de marzo al 4 de diciembre, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Palín es septiembre, con un promedio de 174 milímetros de lluvia.

El periodo del año sin lluvia dura 3,8 meses, del 4 de diciembre al 29 de marzo. El mes con menos lluvia en Palín es enero, con un promedio de 2 milímetros de lluvia.

9. DESCRIPCIÓN DE TRABAJO

9.1. Estudio y análisis del proyecto

Es necesario ubicar el proyecto, así como las características del terreno, sus colindancias para conocer qué áreas pueden ser las afectadas por este trabajo y los riesgos que posee naturalmente el terreno, por ejemplo el clima.

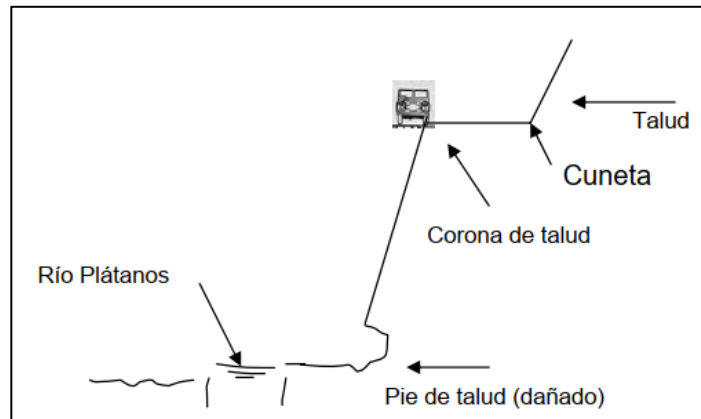
Realizar un estudio de los posibles desastres que puede conllevar el no intervenir en el terreno y cuales serían las mejores posibles soluciones.

9.2. Diseño de estructura

Se procede de la siguiente manera.

- Se establece la existencia poblados y fuentes hídricas como un río, para evitar desastres o contaminación accidental al momento de realización del proyecto.
- Se realiza un estudio del grado de erosión que puede tener la sección a intervenir.

Figura 63. **Sección de carretera dañada por erosión**



Fuente: PRODAC. *Soluciones para el control de erosión*. p. 6.

- Se estudian las causas de los posibles daños ya existentes y posibles en el terreno, por ejemplo: la erosión, contaminación y creación de lixiviados.
 - Pérdida de capacidad de retención de agua del suelo.
 - Crecida del río en invierno
- Se investiga el comportamiento del río en el tramo durante las épocas secas y lluviosa para conocer el riesgo que se tiene y qué medidas se puede tomar en consideración.
 - Ancho aproximado y profundidad promedio durante época de verano.
 - Crecimiento de ancho y del espejo de agua en época de invierno.
 - Material que arrastra (piedra, arena, madera).

Con toda la información recopilada se decide el método que se utilizará para la intervención con la finalidad de evitar contaminación futura del basurero y en caso de una fuente de agua, evitar una erosión y contaminación posterior causada por el basurero.

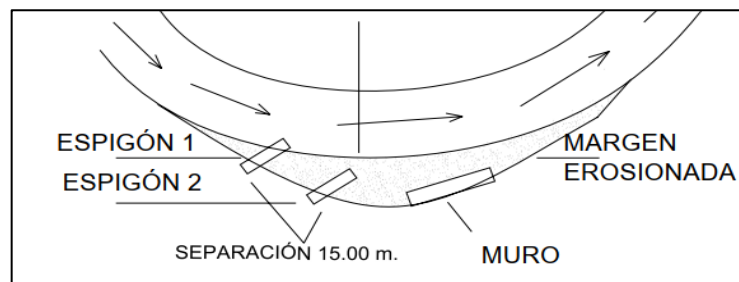
Figura 64. **Muro con escalones internos formado con gaviones**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 42.

Realizar una distribución de muro y que áreas se verán afectadas por este.

Figura 65. **Distribución de espigones y muro**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 44.

Figura 66. **Construcción de muro con escalones internos a orilla de carretera**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 44.

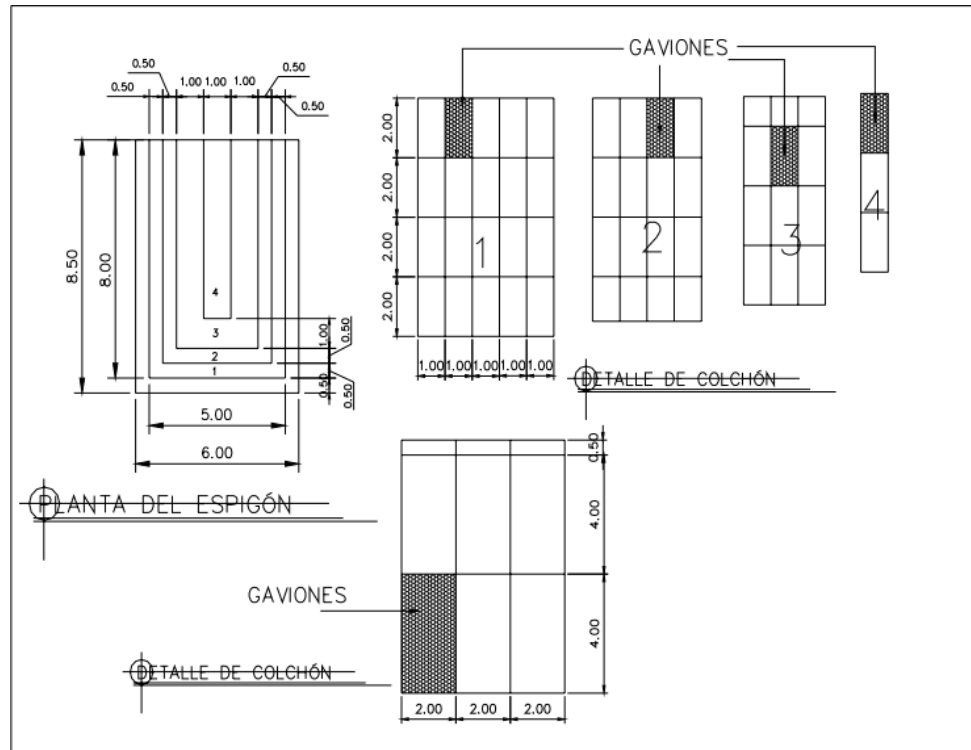
9.2.1. Planos

Realizar los diferentes planos necesarios para el proyecto, los cuales serían planos de topografía actual con planta y perfiles longitudinales y transversales sobre ejes centrales necesarios para el análisis del proyecto.

Planos de detalle del diseño de intervención, movimiento de tierras, distribución y delimitación del proyecto.

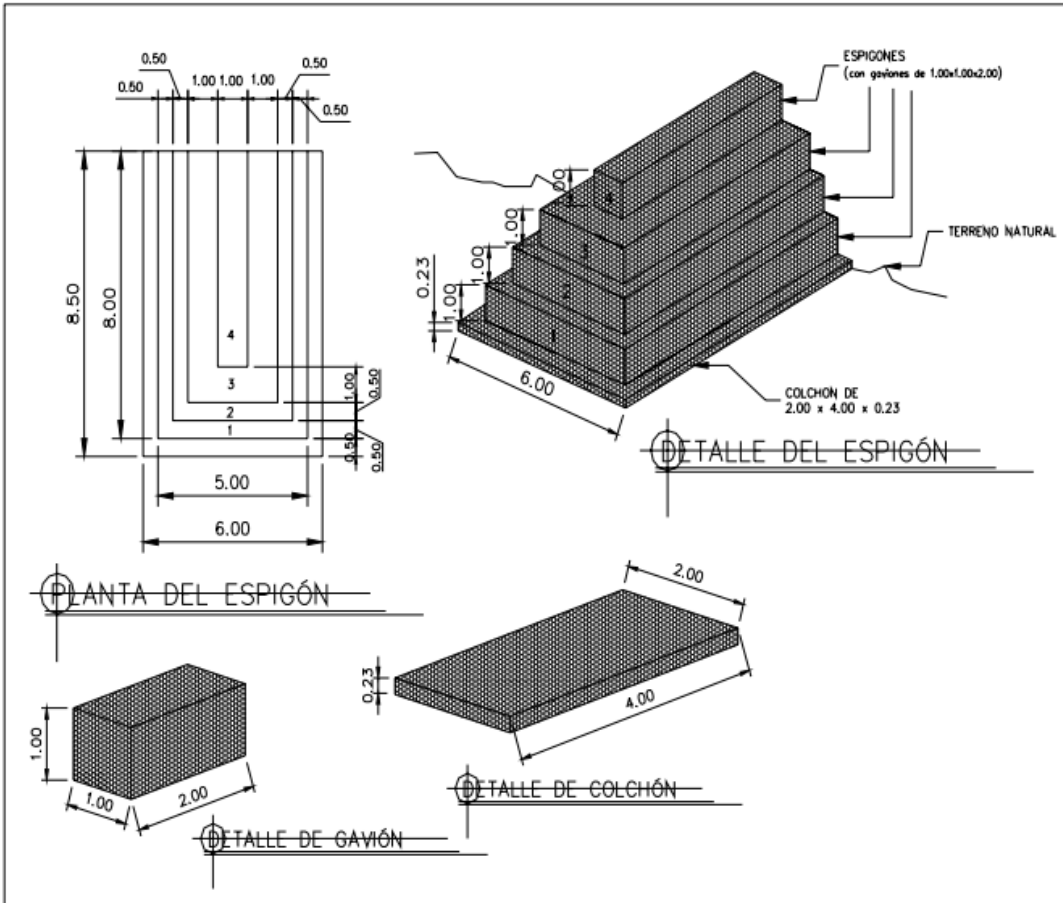
Planos de detalles de gavión: vista en planta de gaviones, detalle de gavión, detalle de colchón y detalle de muro de gavión (isométricos de las diferentes estructuras).

Figura 67. Vista en planta de espigones



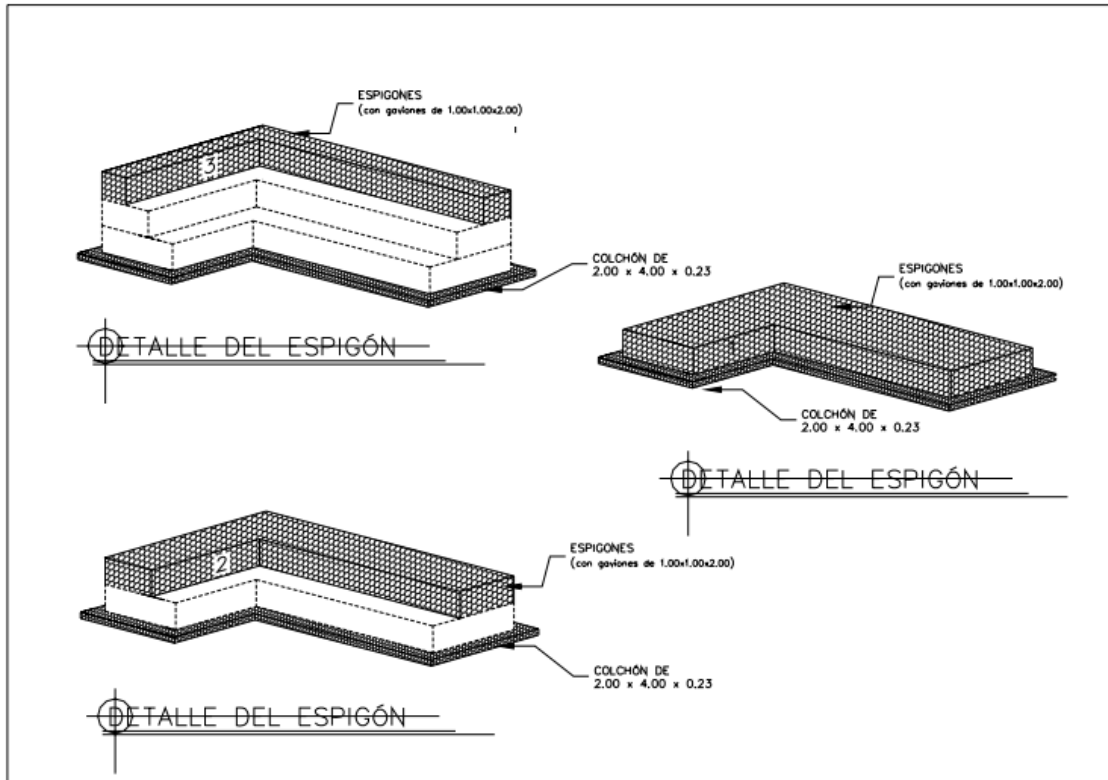
Fuente: MACCAFERRI. *Construcción de muros*. p. 22.

Figura 68. **Isométrico de colchón, gavión y espigón**



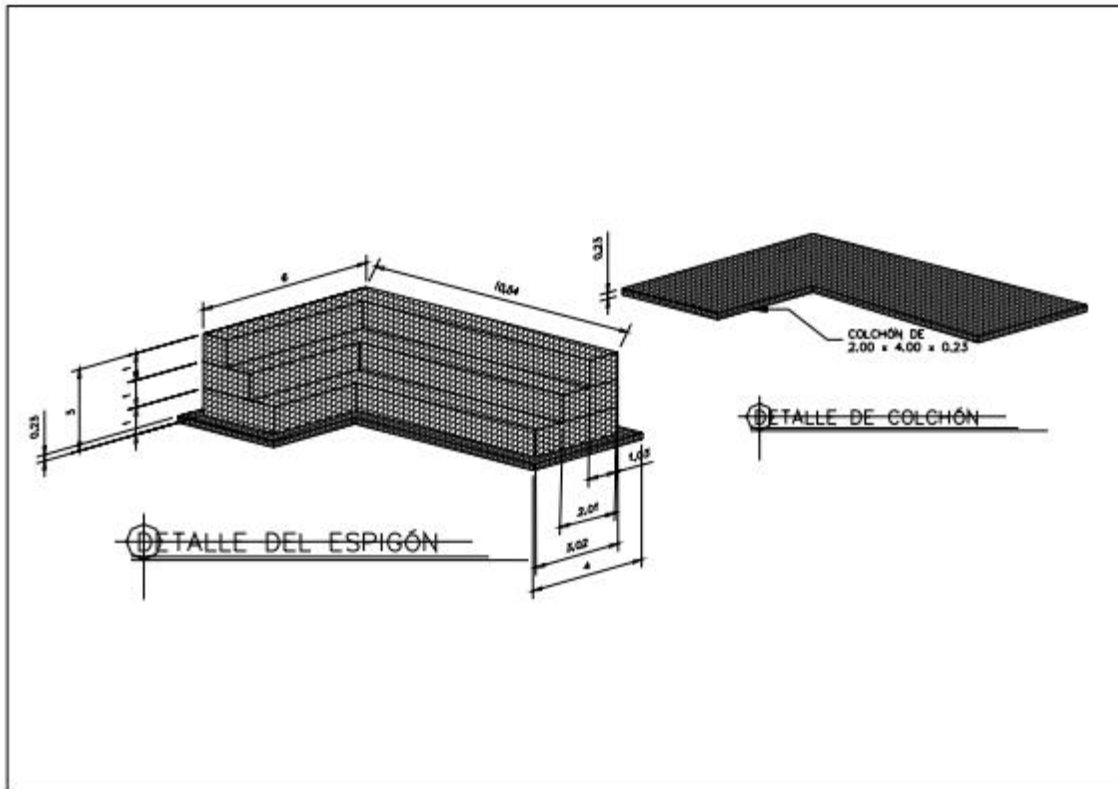
Fuente: MACCAFERRI. *Construcción de muros*. p. 23.

Figura 69. **Isométrico 2 de espigón**



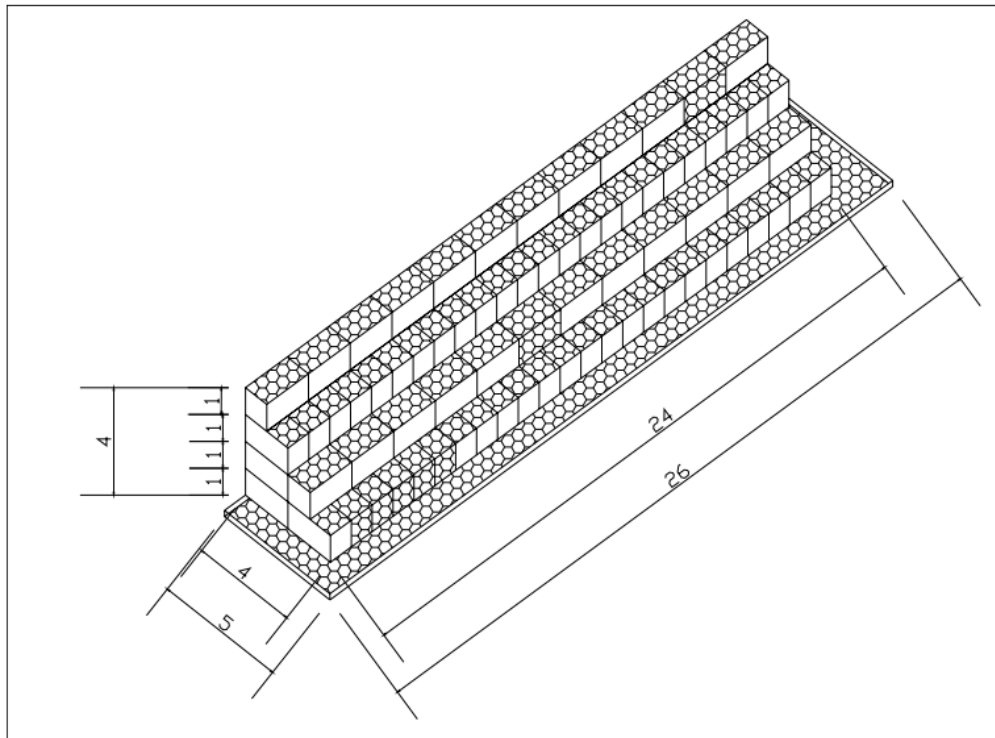
Fuente: MACCAFERRI. *Construcción de muros*. p. 23.

Figura 70. **Isométrico 3 de espigón**



Fuente: MACCAFERRI. *Construcción de muros*. p. 24.

Figura 71. **Muro con escalones internos**



Fuente MACCAFERRI. *Construcción de muros*. p. 28.

9.3. Trabajo de campo

En los siguientes incisos se demuestra el trabajo de campo.

9.3.1. Visita técnica

Visita realizada con el propósito de recopilar toda la información posible del lugar para proceder a la ejecución del proyecto.

Entre los datos están las características del área de acceso al proyecto, tipo de materiales existentes, calidad de mano de obra, características topográficas del río, entre otros.

9.3.2. Ejecución del proyecto

Duración del proyecto con cronograma de trabajo, desarrollándose de la forma siguiente:

- Levantamiento topográfico del área a trabajar.
- Extracción de material inapropiado.
- Excavación, relleno, trazo y nivelación del terreno para el inicio de movimiento de tierras.
- Impermeabilización del terreno y los trabajos de preparación del drenaje necesario.
- Descarga, distribución y compactación de los residuos de forma tal, que se prepara el terreno.
- Armado de las canastas de gavión.
- Construcción de muros escalonados con gaviones en donde se haya considerado necesario durante la planificación.

El personal y maquinaria utilizada se desglosa de la siguiente manera:

- Un ingeniero residente.
- Un planillero.
- Un encargado de maquinaria.
- Un maestro de obra.
- Una cuadrilla de topografía.
- Operadores de maquinaria.

- Cuadrilla de peones.
- Tractor Caterpillar d7G, para el movimiento de los residuos y movimiento de tierras.
- Cargadoras frontales para cargar y almacenar los residuos y para cargar y almacenar la piedra para el llenado de los gaviones y rellenar.
- Camiones con capacidad para acarrear piedra, material de relleno y otro tipo de material.

Figura 72. **Extracción y recolección de piedra**



Fuente MACCAFERRI. *Sistema terramesh*. p. 6.

9.3.3. **Estabilización de taludes**

La construcción de los muros se realiza de la siguiente manera:

- Trazo, excavación y extracción de material inapropiado.
- Nivelación de la base para construcción de los muros con gaviones
- Almacenamiento de piedra para llenado de canastas

- Armado de canastas.
- Construcción y anclado de muros al terreno natural
- Colocación de geotextil
- Relleno con suelo cemento (70 % selecto + 30 % cemento)
- Conformación y compactación con base granular
- Imprimación y colocación de carpeta asfáltica de 3 cm de espesor

9.3.4. Supervisión

La empresa contratante realiza los trabajos de supervisión por medio de profesionales encargados de verificar que todos los materiales fueran de calidad necesaria y que cumpla los requisitos y especificaciones correspondientes. También, verificando que los métodos y técnicas de construcción sean los adecuados y que se cumplirán con todas las normas de seguridad para los trabajadores.

9.3.5. Diagrama de GANT

En la tabla XVI se demuestra el diagrama de GANT, el cual consiste en la descripción del proceso constructivo del proyecto.

Tabla XVI. **Cronograma**

DESCRIPCIÓN	TOTALIDAD DE PROYECTO											
	MES 1				MES 2				MES 3			
campamento	■											
limpieza	■											
trazo y nivelación		■										
recolección de piedra			■	■	■							
relleno sanitario					■	■	■					
construcción de muro						■	■	■	■	■		
colocación de geotextil										■	■	
colocación de geomalla											■	■
relleno final											■	■

Fuente: elaboración propia.

10. EJEMPLO DE DISEÑO DE MURO

Los muros de gaviones son estructuras a gravedad y su diseño generalmente sigue los procedimientos de la ingeniería civil. Las notas, cálculos y dibujos que se presentan en esta sección se ofrecen como una guía general del diseño de muros de contención de gaviones y tener en consideración con el fin de proporcionar un adecuado factor de seguridad.

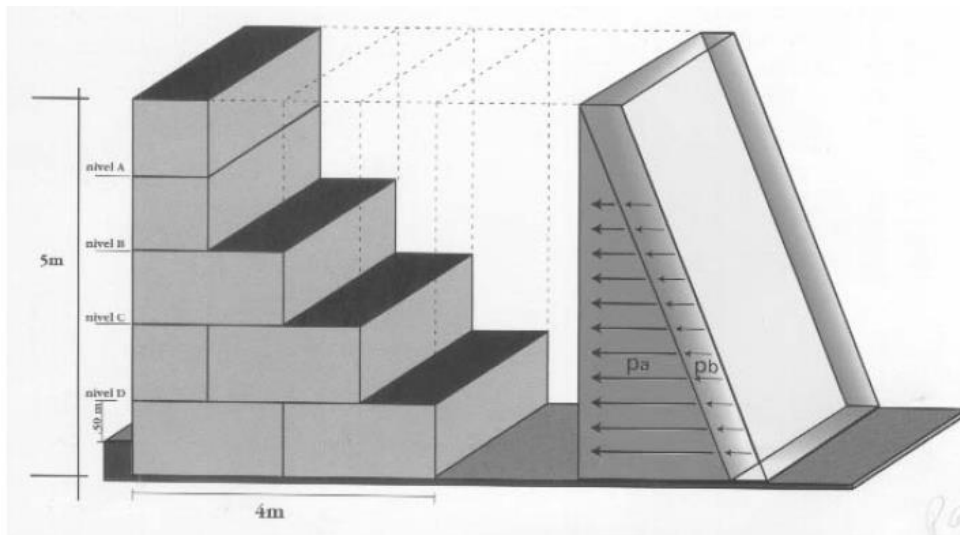
- El uso que tendrá el terreno sobre el muro de gaviones.
- Tipo e importancia de la obra a construirse sobre este terreno.
- Relleno en la parte posterior del muro.
- Posibilidad de hacer gradas en el frente expuesto del muro, con el fin de aplicar el mayor peso sobre la parte posterior del mismo, lo cual permite una mejor resistencia al volteo.
- Tipo de piedras o material de relleno de los gaviones.

Datos y definiciones

- Peso específico del relleno posterior: $\gamma = 1\,800 \text{ kg/m}^3$
- Presión admisible del suelo de fundación: $P_s = 15\,000 \text{ kg/m}^2$
- Factor de presión activa: $K_a = 0,27$
- Peso específico del relleno de los gaviones: $\gamma_r = 1\,600 \text{ kg/m}^3$
- Sobrecarga asumida: $q = 500 \text{ kg/m}^2$
- Ángulo de fricción interna del suelo: $\phi = 35^\circ$
- Presión activa: P_a
- Presión sobrecarga: P_b

- Momento de volcamiento: M_v
- Momento resistente: M_r
- factor de seguridad: f_s
- Peso total del muro: W
- Presión sobre el suelo: P_w
- Fuerza horizontal en la base: H
- Resistencia por fricción: R
- Posición de la resultante (desde el talón): t

Figura 73. **Ejemplo de diseño de muro**



Fuente: MACCAFERRI. *Estructuras flexibles en gaviones*. p. 55.

Chequeo nivel A

$$P_a = 1\,800 \times 0,27 \times 1 = 486 \text{ kg/m}^2$$

$$P_b = 500 \times 0,27 = 135 \text{ kg/m}^2$$

$$Mv = 486 \times 1^2/6 + 135 \times 1^2/2 = 148 \text{ kg x m}$$

$$Mr = 1\ 600 \times 1^2 \times 1/2 = 800 \text{ kg x m}$$

$$Fs = 800/148,5 = 5,38 > 1,5 \text{ satisface}$$

Chequeo nivel B

$$Pa = 1\ 800 \times 0,27 \times 2 = 972 \text{ kg/m}^2$$

$$Pb = 500 \times 0,27 = 135 \text{ kg/m}^2$$

$$Mv = 972 \times 2^2/6 + 135 \times 2^2/2 = 918 \text{ kg x m}$$

$$Mr = 1\ 600 \times 2 \times 1/2 = 1\ 600 \text{ kg x m}$$

$$Fs = 1\ 600/918 = 1,74 > 1,5 \text{ satisface}$$

Chequeo nivel C

$$Pa = 1\ 800 \times 0,27 \times 3 = 1\ 458 \text{ kg/m}^2$$

$$Pb = 500 \times 0,27 = 135 \text{ kg/m}^2$$

$$Mv = 1\ 458 \times 3^2/6 + 135 \times 3^2/2 = 2\ 794 \text{ kg x m}$$

$$Mr = 1\ 600 + 1\ 600 \times 2 \times 1 \times 2/2 + 1\ 800 \times 2 \times 1(1 + 1/2) = 10\ 200 \text{ kg x m}$$

$$Fs = 10\ 200/2\ 794 = 3,5 > 1,5 \text{ satisface}$$

Chequeo nivel D

$$Pa = 1\ 800 \times 0,27 \times 4 = 1\ 944 \text{ kg/m}^2$$

$$Pb = 500 \times 0,27 = 135 \text{ kg/m}^2$$

$$Mv = 1\ 944 \times 4^2/6 + 135 \times 4^2/2 = 6\ 264 \text{ kg x m}$$

$$Mr = 10\ 200 + 1\ 600 \times 3 \times 1 \times 3/2 + 1\ 800 \times 3 \times 1(2 + 1/2) = 30\ 900 \text{ kg x m}$$

$$Fs = 30\ 900/6\ 264 = 4,93 > 1,5 \text{ satisface}$$

Chequeo en la base

$$Pa = 1\,800 \times 0,27 \times 5 = 2\,430 \text{ kg/m}^2$$

$$Pb = 500 \times 0,27 = 135 \text{ kg/m}^2$$

$$Mv = 2\,430 \times 5^2/6 + 135 \times 5^2/2 = 11\,812 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$Mr = 30\,900 + 1\,600 \times 4 \times 1 \times 4/2 + 1\,800 \times 4 \times 1(3 + \frac{1}{2}) = 68\,900 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$Fs = 68\,900/11\,812 = 5,83 > 1,5 \text{ satisface}$$

Chequeo de la presión sobre el suelo de fundación

$$W = 1\,600 \times (1 + 1 + 2 + 3 + 4) + 1\,800 \times (2 + 3 + 4) + 500 \times 3 = 3\,500 \text{ kg}$$

$$t = 68\,900 - 11\,812/35\,300 = 1,62 \text{ m}$$

$$Pw = 35\,300/4 \pm 6 \times 35\,300 \times 0,38/4^2 = 8\,825 \pm 5\,030$$

$$Pw = 3\,795 \text{ kg/m}^2$$

$$Ps = 15\,000 \text{ kg/m}^2 \text{ satisface}$$

Chequeo por deslizamiento

$$H = 2\,430 \times 5/2 + 135 \times 5 = 6\,750 \text{ kg}$$

$$R = 35\,300 \times 0,5 = 17\,650 \text{ kg}$$

$$Fs = 17\,650/6\,102 = 2,61 > 2 \text{ satisface}$$

- Todo el ejemplo de cálculo para el diseño de un muro de contención formado con gaviones fue tomado del folleto, "gaviones Ideal"⁹.

⁹ MACCAFERRI INDUSTRIAL GROUP. *Diseño de obras longitudinales en gaviones, manual*. p. 32-46.

CONCLUSIONES

1. Para proteger y estabilizar un talud, es importante tener la información y conocimiento necesario sobre las causas y tipos de falla que ocurren en un movimiento de tierra; y de esta forma encontrar la solución adecuada para prevenir cualquier percance o accidente.
2. Los muros de gaviones, generalmente no precisan cimentación, son flexibles porque se adaptan al terreno, son drenantes, de fácil diseño, su montaje es rápido, se utiliza mano de obra no especializada, trabajan por gravedad y, lo más importante, es que son soluciones económicas y duraderas.
3. La reducción del costo para la elaboración de un proyecto es relevante y significativa, ya que representa un ahorro para el contratista, empresa o institución que la esté ejecutando.
4. Como ventaja significativa y relevante, porque constituye reducción de costos, es que en el lugar de la construcción de los gaviones se localiza insumos como material pétreo (piedra bola) para su llenado.
5. Otra ventaja importante es la obtención de mano de obra no calificada en las cercanías del lugar de la construcción de los gaviones.
6. Como único inconveniente se determinó que la velocidad de la corriente de este río es alta, principalmente en época lluviosa.

7. Las estructuras formadas con gaviones son una solución confiable y efectiva, para la estabilización y protección de taludes debido a su versatilidad, flexibilidad, permeabilidad, durabilidad y economía.
8. El precio de los gaviones es variable al igual que la piedra para llenar las canastas, ya que depende de la ubicación del proyecto.
9. Debido a que los gaviones se adaptan al ambiente natural con facilidad se aconseja la utilización de este sistema constructivo para la estabilización y protección de taludes.

RECOMENDACIONES

1. Seguir las indicaciones mínimas mencionadas en este trabajo o cualquier otra fuente de información, como folletos, revistas, libros, para la ejecución de proyectos donde se utilizan estructuras formadas con gaviones.
2. Cumplir con las normas y especificaciones mínimas para el buen funcionamiento de cualquier estructura de los materiales utilizados en las cajas de gaviones y de relleno (piedra).
3. Supervisar el armado y amarre de las cajas para prevenir la deformación en las estructuras en la construcción de estructuras con gaviones y/o colchones.
4. Contar con la asesoría de personas profesionales y calificadas con experiencia y conocimiento de rendimientos en la colocación y armado de las canastas y así tener un buen manejo de costos en la construcción de estructuras con gaviones,
5. Utilizar este sistema constructivo para la estabilización y protección de taludes, ya que los gaviones se adaptan al ambiente natural con facilidad.
6. Dar el mantenimiento preventivo al muro gavión, cada cierto tiempo para evitar inconvenientes y prolongar su vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo 66-2005. *Reglamento de las descargas y uso de aguas residuales y de la disposición de los lodos*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006. 25 p.
2. Automatización y Control. *Básculas camioneras*. [en línea]. <<http://www.scale.com.mx/equipos-de-pesaje-industrial/basculas-camioneras-pesaje-industrial/>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].
3. BINASSS. *Relleno sanitario en operación*. [en línea]. <<https://www.google.com.co/search?q=rellenos+sanitarios&espv=2&biw=1280&bih=879>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].
4. CERRATO LICONA, Edilfredo. *gestión integral de residuos sólidos*. [en línea]. <[https://www.aiu.edu/spanish/publications/student/spanish/Integrated-Management-of-ResidualSolids.htm#:~:text=Un %20relleno%20 sanitario%20es%20una,la%20salud%20de%20la%20 poblaci%C3%B3n](https://www.aiu.edu/spanish/publications/student/spanish/Integrated-Management-of-ResidualSolids.htm#:~:text=Un%20relleno%20sanitario%20es%20una,la%20salud%20de%20la%20poblaci%C3%B3n)>. [Consulta: enero de 2022].
5. CHANQUÍN GÓMEZ, Edy Rolando. *Diversas aplicaciones de gaviones para la protección y estabilización de taludes*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2004. 113 p.
6. COTECNO. *Inclinómetro*. [en línea]. <<https://www.cotecno.cl/inclinometro-vertical-de-sistema-digital-5481/>> Extensómetros-

instrumento utilizado para el monitoreo constante para prevenir cualquier tipo de falla>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].

7. CRESPO, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 4a ed. México: Limusa, 1996. 652 p.
8. GEO BAX. *Equipos de topografía*. [en línea]. <<https://geobax.com/topografia/equipos-de-topografia/>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].
9. Guía para la Implementación. *Relleno sanitario mecanizado*. [en línea]. <<https://www.google.com.co/search?q=relleno+sanitario+mecanizado+dom=isch>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].
10. HIGH TECH. *Piezómetros*. [en línea]. <<https://www.htsperu.com.pe/solinst/piezometro-de-punto-de-impulsion-615-solinst>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].
11. KÖFALUSI, Gábor Kiss; AGUILAR Guillermo Encarnación. *Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final*. [en línea]. <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2877246>>. [Consulta: 15 de octubre de 2021].
12. LCC. *Compactación de residuos sólidos* [en línea]. <<https://www.google.com.co/search?q=compactacion>>. [Consulta: 15 de octubre de 2021].

13. LIS. *Instrumentación sísmica*. [en línea]. <<http://www.lis.ucr.ac.cr/10>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].
14. MACCAFERRI INDUSTRIAL GROUP. *Diseño de obras longitudinales en gaviones, manual*. Brasil: MACCAFERRI, 1989. 125 p.
15. MENDOZA, Javier. *Rellenos sanitarios. comportamiento geotécnico de los taludes conformados por residuos sólidos en rellenos sanitarios*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/javiermn1095/rellenos-sanitarios-javier-mendoza-nuez>>. [Consulta: 15 de octubre de 2021].
16. OSEGUEDA, Félix. *Análisis de estabilidad de taludes mediante el método Morgenstern Price*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil Universidad de San Carlos de Guatemala, 1980. [en línea]. <<http://www.repositorio.usac.edu.gt/13966/1/Jes%C3%BAs%20Alfredo%20Qui%C3%B1%C3%B3nez%20Montejo.pdf>>. [Consulta: 15 de octubre de 2021].
17. PRODAC. *Folleto prodac. Perú*. 2008. 84 p.
18. Residuos Sólidos. *Gestión integral de residuos sólidos*. [en línea] <<http://gestionintegralresiduos.blogspot.com.co/2010/02/propiedad-fisicas-y-quimicas-de-los.html>>. [Consulta: 15 de octubre de 2021].
19. UCSG. *Formación de lixivandos*. [en línea]. <<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8406/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-210.pdf>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].

20. VARGAS, Miriam. *Análisis del comportamiento del factor de seguridad en la estabilidad de taludes*. [en línea]. <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2461_C.pdf>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].
21. VARNES, David. *Slope movement types and processes*. [en línea]. <http://www.geology.cz/projekt681900/vyukove-materialy/2_Varnes_landslide_classification.pdf>. [Consulta: 10 de diciembre de 2021].
22. VELÁSQUEZ, Carolina. *Comportamiento geotécnico de los taludes conformados por residuos sólidos en rellenos sanitarios*. [en línea]. <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5151/Comportamiento_geot%C3%A9cnico_taludes_residuos_s%C3%B3lidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Consulta: 15 de octubre de 2021].
23. VIRIDIAN. *Recirculación de lixiviados*. [en línea]. <http://www.viridiancolombia.com/soluciones/manejo_lixiviados/recirculacion_lixiviados/>. [Consulta: 6 de noviembre de 2021].
24. VISE. *¿Qué es un relleno sanitario?* [en línea] <<https://blog.vise.com.mx/que-es-un-relleno-sanitario-y-como-funciona>>. [Consulta: 15 de octubre de 2021].