

MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA LA PRESERVACIÓN DE TALUDES DEL TRAMO CARRETERO EL CHILE-CERRO GRANDE

Raúl Andrés Cruz Saucedo

Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, raul.cruz@unitec.edu

Andrés Enrique Torres Hernández,

Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, andres.torres@unitec.edu

Mentor: Rigoberto Moncada López, M. Sc.

Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, rigoberto.moncada@unitec.edu.hn

Abstract– The document reveals the results of the study on mitigation countermeasures for the road section between Barrio El Chile and Residencial Cassandra, Distrito Central municipality, Francisco Morazán department, according to its geotechnical properties. Passive and active anchors were proposed and then compared to reference stabilized sites located in Lomas del Mayab and Lomas del Guijarro, also in Tegucigalpa. Additionally, two common methods used to stabilize slopes, gabion wall and surface drainage (ditches), were proposed.

Soil laboratory testing was performed for the study site with the following results: MH soil (high plasticity silts), 0.16 kg / cm^2 of cohesion and a friction angle of 25 degrees. The study area was of a different lithology in comparison to the other reference sites. Those sites instead had shale rocks, while the zone studied presented volcanic tuff. Countermeasures proposed by this project through different methodologies should be able to prevent future slope failures and rock falls.

Key Words: Anchors, countermeasures, geotechnical engineering, and slope stability.

Resumen- El documento revela los resultados del estudio sobre medidas de mitigación para el tramo carretero entre barrio El Chile y Res. Cassandra, Municipio de Distrito Central, departamento de Francisco Morazán, según las propiedades geotécnicas. Se propusieron anclajes pasivos y activos a través de la comparación con sitios estabilizados de referencia ubicados en la colonia Lomas del Mayab y Lomas del Guijarro. Además, se analizaron otros dos métodos usados comúnmente para estabilización de taludes como muro de gaviones y drenaje superficial (cunetas).

Los ensayos de laboratorio de suelo fueron desarrollados para el sitio de estudio con los siguientes resultados: suelo MH (limos de alta plasticidad), 0.16 kg/cm^2 de cohesión y un ángulo de fricción de 25 grados. La zona de estudio presenta a una litología diferente a los otros sitios de referencia, los cuales tienen pizarras y lutitas, mientras que la zona estudiada presenta toba volcánica. Las medidas de mitigación propuestas por este proyecto a través de diferentes metodologías deberán prevenir futuros derrumbes y desprendimiento de rocas.

Palabras Claves: Anclajes, deslizamiento, geotecnia, y estabilidad de taludes.

I. INTRODUCCIÓN

Honduras por su ubicación en el hemisferio occidental, es un país subtropical, que se caracteriza por veranos que van de cálidos a calurosos y por inviernos suaves a fríos. Se distinguen dos estaciones: una lluviosa de junio a octubre y una seca de noviembre a mayo.

La topografía de Honduras es sumamente montañosa y accidentada, con fuertes pendientes y suelos poco profundos y recientes. La cordillera Centroamericana que atraviesa el país de noroeste a sureste, lo divide en dos grandes regiones: la oriental y la occidental, con alturas que sobrepasan los 2000 msnm. Entre los ramales de la cordillera se encuentran fértiles valles y sabanas donde habita gran parte de la población. (Perfil Ambiental de Honduras, 1997)

TABLA I
TOPOGRAFÍA DE HONDURAS

Tipo de Topografía	%
Montañosa	41,9
Colinas	29,9
Zonas Onduladas	6,6
Zonas Planas	21,5

(Perfil Ambiental de Honduras, 1997)

Al momento de combinar un terreno irregular con un clima anual que comprende temporadas intensas de lluvia, se tienen como resultados las fallas geotécnicas. Por eso es necesario saber cómo controlarlas y hasta evitarlas. Para saber cómo se pueden controlar estas fallas, primero habría que saber qué tipo de falla es, conocer el tipo de suelo donde ocurre la falla y así proponer una medida de mitigación que la controle.

La investigación realizada consiste en estudiar las medidas de mitigación que pueden llegarse a utilizar según las propiedades del suelo del sitio de estudio, el cual se encuentra a unos 800 metros del puente El Chile en dirección hacia Cerro Grande, enfocándose en la implementación de anclajes (pasivos y activos), gaviones y drenaje superficial.

El propósito de esta investigación es proporcionar soluciones para controlar derrumbes y deslizamientos, en especial a los que se desarrollan próximos a las vías de comunicación. En este caso, la vía es una carretera que comunica gran cantidad de viviendas con la zona central de la ciudad. Se considera una ruta óptima, por lo que un derrumbe o deslizamiento de gran magnitud podría provocar un bloqueo parcial o completo. Esto resultaría en embotellamientos de tráfico en distintos puntos de la ciudad, además de la amenaza a la vida humana, siendo necesario implementar medidas para evitar este tipo de desastre y es donde entra esta investigación.

Como se ha mencionado anteriormente, los derrumbes y deslizamientos suelen obstaculizar las vías de comunicación, destacando que Honduras por contar con una superficie irregular obliga a adaptarse y construir, implicando modificaciones en la naturaleza, como grandes cortes y rellenos (actividades que caracterizan la construcción de una carretera).

Antecedentes

Es necesario identificar los principales factores que han afectado la zona estudio, los cuales son detallados a continuación:

- **Aspecto Pluvial:** Uno de los factores que puede tener gran influencia en una falla geotécnica es la cantidad de agua presente en el talud. A causa del agua producida por las lluvias, el suelo se satura y se produce la falla. Por eso en épocas de lluvias se producen derrumbes y deslizamientos con mayor frecuencia. Honduras, por ser un país tropical, cuenta solamente con épocas lluviosas y secas, y es a partir de octubre que comienzan las lluvias con mayor intensidad.

TABLA II
PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL (MM)

	Año 2015	Año 2016	Año 2017
Enero	748.19	1,642.73	909.27
Febrero	750.02	1,644.67	903.38
Marzo	753.32	1,651.56	865.42
Abril	757.26	1,149.26	481.48
Mayo	806.62	36.33	72.14
Junio	977.40	171.45	210.46
Julio	1,070.32	259.45	307.36
Agosto	1,125.06	362.44	421.15
Septiembre	1,240.50	579.63	542.82
Octubre	1,514.93	760.68	758.55
Noviembre	1,609.35	874.05	834.05
Diciembre	1,637.44	890.06	840.54

(DGRH, 2015, 2016, 2017)

- **Aspecto Poblacional:** En Tegucigalpa, como en la mayoría de las ciudades alrededor del mundo, el crecimiento poblacional es un hecho, lo que implica mejoras viales y construcción de más viviendas alrededor de las ciudades.

TABLA III
POBLACIÓN FRANCISCO MORAZÁN 2001 VS. 2013

Total	Hombres	Mujeres	Año
1,109,900	534,832	575,068	2001
1,508,906	719,532	789,383	2013

(INE, 2013)

Solo en Francisco Morazán la población desde el 2001 al 2013 ha crecido en 399,006 habitantes.

- **Aspecto Geológico:** Honduras cuenta con una amplia variedad de suelos y contactos litológicos, los cuales son clasificados en grupos ya definidos. Por ejemplo, la zona de estudio pertenece al Grupo Padre Miguel, lo que significa que el terreno está constituido principalmente por capas de tobas e ignimbritas.

Descripción del Sitio

La zona de estudio está ubicada en el tramo de barrio El Chile hacia la residencial Kassandra, Tegucigalpa, Honduras (WGS84 16N 476702.71 Este, 1560298.12 Norte)



Fig. 1 Ubicación Zona de Estudio

(Google Earth Pro, 2018)

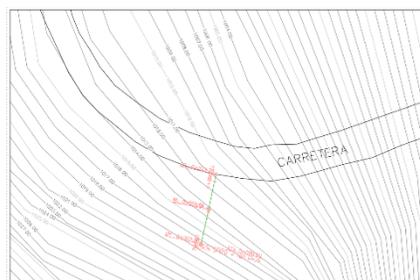


Fig. 2 Curvas de Nivel

(Civil 3D Metric, 2018)

Como se puede observar en la Fig. 1 el talud está ubicado próximo a la carretera donde caídas libres de rocas o deslizamiento de suelos podría provocar desastres que implicaran daños vehiculares y hasta vidas humanas.

En la Fig. 2 se puede observar una vista en planta de las curvas de nivel, y un alineamiento para identificar un perfil del talud.

El talud tiene una pendiente de 3:10, es decir, un 30% de inclinación.



Fig. 3 Perfil del Talud

(Civil 3D Metric, 2018)



Fig. 4 Vista de Todo el Talud

Observando la imagen de izquierda a derecha, se muestra la sección del talud de roca y la sección suelo (Fig. 4)

Zonas Estabilizadas de Comparación

Las zonas estabilizadas de referencia a mostrarse a continuación, se emplearán como guías para comparar la zona de estudio y determinar el mecanismo de estabilización por medio de la implementación de anclajes pasivos o activos. A continuación, los parámetros geotécnicos y ubicación de los sitios estabilizados utilizados de referencia:



Fig. 5 Vista del Muro Estabilizado con Anclajes

La Fig.5 muestra el sitio 1 estabilizado por medio de anclajes activos.

TABLA IV
DATOS DE SUELO SITIO ESTABILIZADO 1

Tipo de Roca	Lutita
Cohesión Suelo	5 kPa
Angulo de Fricción del Suelo	28 grados
Ubicación	Lomas del Mayab
Coordenadas (UTM)	480083.00, 1558049.00
Altura del Talud	10.22 m
Espaciamiento de Anclajes	1.5x1.5 m



Fig. 6 Ubicación Zona Estabilizada 1

(Google Earth Pro, 2018)

TABLA V
DATOS DE SUELO SITIO ESTABILIZADO 2

Tipo de Roca	Lutita
Cohesión Suelo	11.5 kg/cm ²
Angulo de Fricción del Suelo	15 °
Ubicación	Lomas del Guijarro
Coordenadas (UTM)	479665.706, 1558131.908
Altura del Talud	22m
Espaciamiento de Anclajes	1x1 m



Fig. 7 Ubicación Zona Estabilizada 2

(Google Earth Pro, 2018)

Ambas zonas estabilizadas están ubicadas en residenciales, lugares que cuentan con un terreno irregular y de altas pendientes.



Fig. 8 Ubicación General de los Tres Sitios
(Google Earth Pro, 2018)

Diseño de Anclajes

El diseño de anclajes requiere conocer las propiedades geotécnicas de la zona, refracción sísmica, cargas actuantes y las propiedades geométricas del talud, regido por la norma FHWA GEC 011, la cual establece los siguientes pasos:

- Mayoración de Cargas
- Comprobar la tensión admisible del cable
- Comprobación del deslizamiento del tirante en la lechada, dentro del bulbo: Para la comprobación se minorará la adherencia límite entre el tirante y la lechada que rodea el bulbo
- Comprobación de seguridad en frente al arrancamiento del bulbo.

Muro de Gaviones

Los muros de gaviones son estructuras elaboradas con mallas de hierro galvanizado o acero inoxidable que se rellenan de diferentes tipos de materiales dependiendo del diseño establecido.

A continuación, se presenta el proceso constructivo particular de los muros de gaviones:

- Demarcación topográfica, consiste en marca la línea a nivel de calle bajo la cual se profundizará la excavación.
- Excavación, el movimiento de tierra de preparación de la superficie donde se cimentarán los gaviones.
- Mejoramiento de la base, consiste en la colocación de lastre compactado en la base del muro.
- Armado de Gaviones, las mallas de gaviones deberán ser extendidas y armadas en el sitio de la obra.
- Llenado de Gaviones, se debe realizar con inspección con la finalidad de evitar el menor volumen de vacíos.

(ICOTEC, 2008)

Control de Taludes por Drenaje

El drenaje superficial tiene como objetivo mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

I.1 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Determinar las medidas de mitigación apropiadas para la protección del talud entre barrio El Chile y residencial Cassandra, a través del estudio del funcionamiento de anclajes pasivos y activos, gaviones y drenaje superficial. Considerando las propiedades geotécnicas como base para la estabilización de taludes con características de suelo similares a la zona de estudio.

II. METODOLOGÍA

Para comenzar la investigación primero fue necesario ubicar un lugar donde se frecuentarán los derrumbes y deslizamientos, es decir, que existiera la necesidad de estabilizar el talud.

Luego de tener la ubicación, fue necesario extraer una muestra de suelo, una calicata, para realizar los ensayos de laboratorio (Peso Unitario ASTM D 7263, Límites de Atterberg ASTM D 4318-17, Contenido de Humedad ASTM D 2016, Corte Directo ASTM D 3080 y Granulometría ASTM D 422-63).

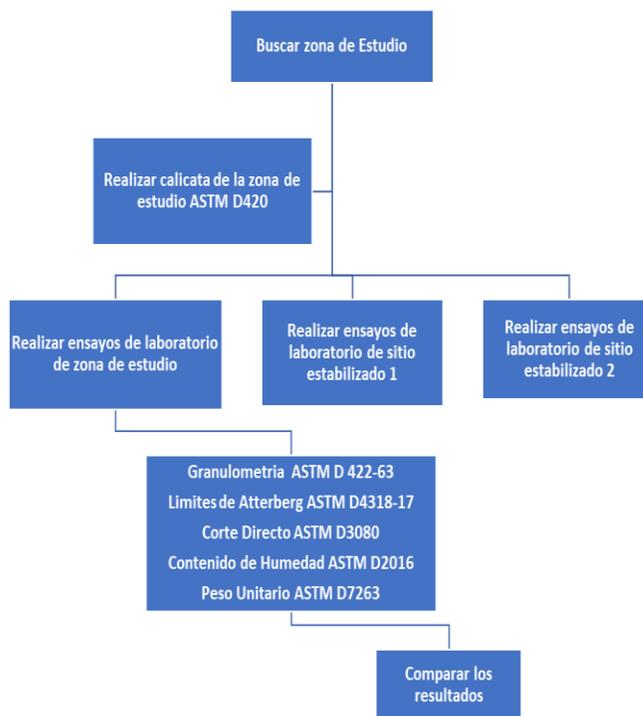


Fig. 9 Flujograma de Actividades

Una vez elaborado los ensayos y clasificado el suelo, se comparó con los sitios estabilizados.



Fig. 10 Muestra de Suelo (Calicata)

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Clasificación del Suelo

Se inició clasificando el suelo, para ello fue necesario realizar los ensayos de Granulometría y Límites de Atterberg.

Para el ensayo de Granulometría primero se trabajó la granulometría gruesa, que está conformada por los tamices comprendidos entre el diámetro de 2 pulgadas hasta el #4.

TABLA VI
GRANULOMETRÍA GRUESA

Tamiz	Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	% Retenido Acumulado	%Pase
2"	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.1	0	0	0.00%	100.00%
1"	25.4	36.06	36.06	5.27%	94.73%
3/4"	19.1	50.2	86.26	12.61%	87.39%
3/8"	9.52	35.31	121.57	17.77%	82.23%
#4	4.76	33.54	155.11	22.68%	77.32%
Fondo		528.86	683.97	100.00%	0.00%

Como se puede observar en la Tabla VI se puede deducir que es un suelo que en su mayoría contiene finos por el porcentaje de pase que se da en el tamiz#4 (77.32%).

GRÁFICA I
GRANULOMETRÍA GRUESA

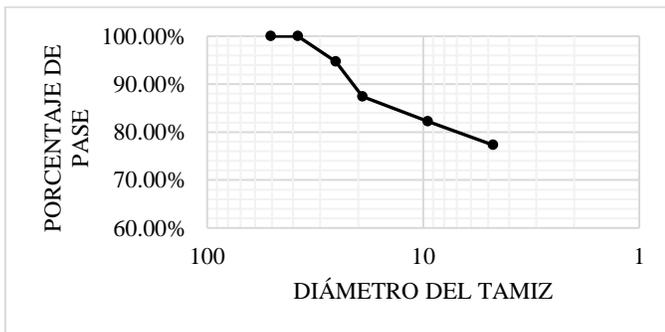
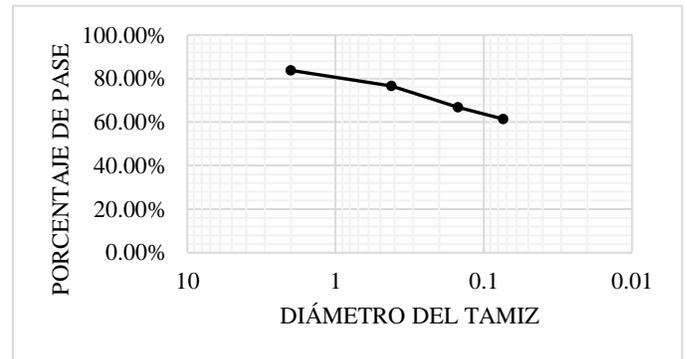


TABLA VII
GRANULOMETRÍA FINA

Tamiz	Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	% Retenido Acumulado	%Pase
3/8"	9.52	35.31	5.91%	5.91%	94.09%
#4	4.76	33.54	5.61%	11.52%	88.48%
#10	2	28.2	4.72%	16.24%	83.76%
#40	0.42	43.09	7.21%	23.45%	76.55%
#100	0.149	58.15	9.73%	33.17%	66.83%
#200	0.074	32.28	5.40%	38.58%	61.42%
Fondo		367.14	61.42%	100.00%	0.00%

GRÁFICA II
GRANULOMETRÍA FINA



Ya realizadas ambas gráficas, simplemente se juntan los datos para unificar la tabla y así mismo la curva granulométrica, que se presentan a continuación:

GRÁFICA III
GRANULOMETRÍA GENERAL

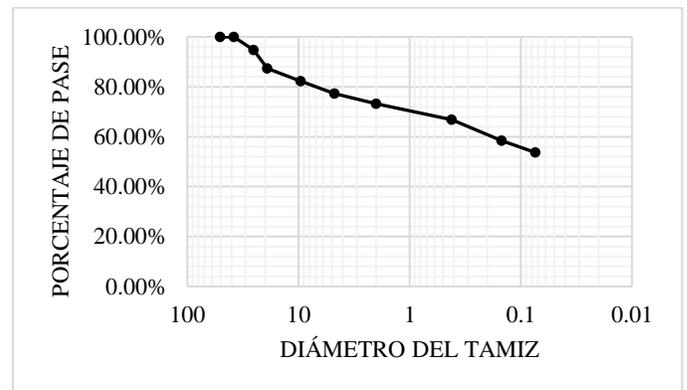


TABLA VIII
GRANULOMETRÍA UNIFICADA

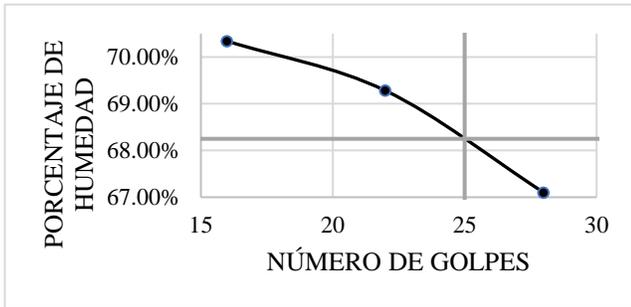
Tamiz	Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	% Retenido Acumulado	%Pase
2"	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.1	0	0	0.00%	100.00%
1"	25.4	36.06	36.06	5.27%	94.73%
3/4"	19.1	50.2	86.26	12.61%	87.39%
3/8"	9.52	35.31	121.57	17.77%	82.23%
#4	4.76	33.54	155.11	22.68%	77.32%
#10	2	28.2	183.31	26.80%	73.20%
#40	0.42	43.09	226.4	33.10%	66.90%
#100	0.149	58.15	284.55	41.60%	58.40%
#200	0.074	32.28	316.83	46.32%	53.68%
Fondo		367.14	683.97	100.00%	0.00%

Para los Límites de Atterberg primero fue necesario identificar el Límite Líquido y el Límite Plástico, que se obtiene a través de los porcentajes de humedad de las siguientes tablas.

TABLA IX
CONTENIDO DE HUMEDAD LÍMITE LÍQUIDO

Lata No.	No. Golpes	PL+SH(gr)	SC(gr)	PL (gr)	W%
86	16	17.33	11.9	4.18	70.34
65	22	17.3	11.91	4.13	69.29
52	28	15.76	11.11	4.18	67.1

GRÁFICA IV
CONTENIDO DE HUMEDAD VS. NÚMERO DE GOLPES



El Límite Líquido está definido por el contenido de humedad obtenido con 25 golpes, siendo en este caso de 68.25%.

TABLA X
CONTENIDO DE HUMEDAD LÍMITE PLÁSTICO

Lata No	PL+SH(gr)	SC(gr)	PL (gr)	W%
18	18.38	16.55	11.54	36.53%
41	18.77	17.09	12.45	36.21%
Promedio				36.37%

Para el Límite Plástico simplemente se hace un promedio de las tres muestras, siendo 36.37%.

Finalmente, para conocer el Índice de Plasticidad se calcula la diferencia (resta) que hay entre el Límite Líquido y el Límite Plástico, siendo de 32.91%.

TABLA XI
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Símbolo	Características Generales		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien Graduadas
GP		Con Finos (Finos >12%)	Pobremente Graduadas
GM		Componente Limoso	
GC			Componente Arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien Graduadas
SP		Con Finos (Finos >12%)	Pobremente Graduadas
SM		Componente Limoso	
SC		Componente Arcilloso	
ML	LIMOS	Baja Plasticidad (LL<50)	
MH		Alta Plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja Plasticidad (LL<50)	
CH		Alta Plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja Plasticidad (LL<50)	
OH		Alta Plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos Altamente Orgánicos	

(ASTM, 1985)

Según la clasificación SUCS el suelo es tipo MH, definido como limos de alta plasticidad.

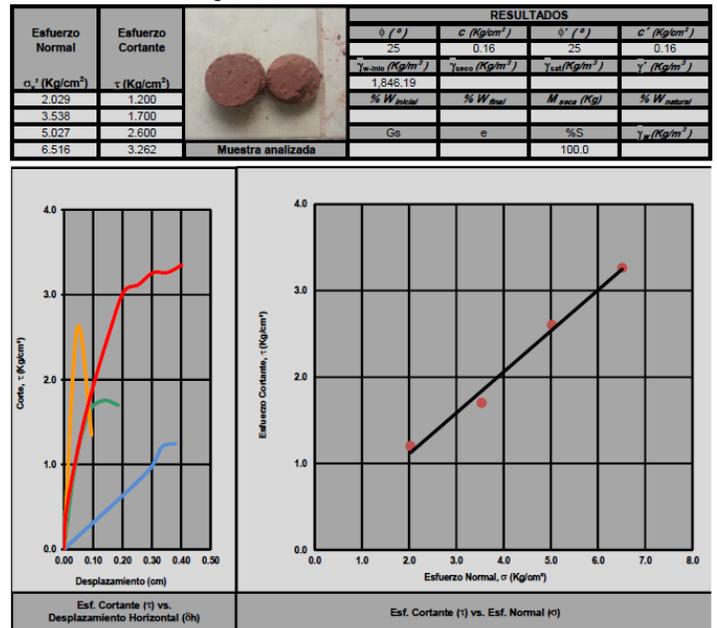


Fig. 11 Resultados Corte Directo

(GeoConsult, 2018)

En la Fig. 11 se pueden observar los resultados obtenidos en Corte Directo (ángulo de fricción: 25 grados, cohesión: 0.16 kg / cm²).

Anclajes

El talud tiene las siguientes medidas: aproximadamente 8 metros de altura y 40 metros de largo. Como se mencionó anteriormente, dicho talud está compuesto por roca y suelo, siendo el lado izquierdo de roca (Zona No. 1) y el lado derecho de suelo (Zona No. 2), ambos separados por una línea en la Fig. 12 donde también está detallada la distribución de anclajes.

La Fig. 12 es una vista frontal del talud con la distribución preliminar de los anclajes activos por medio de cables de 15 metros a 12 metros, considerando 0.70 metros a 1 metro adicional para el tensando del cable y anclajes pasivos por medio de varilla corrugada de 10 metros de longitud, debido

que para el diseño estructural del muro se necesita un estudio geotécnico complementario, considerando sondeos a rotación con testigos de recuperación en roca, líneas de ensayos de geofísicas para identificar los distintos estratos en profundidad y en perfil, topografía general del talud y pruebas de perforación, con ello conocer las zonas de adherencia y libre del anclaje. Dicha investigación solamente se enfoca en los parámetros geotécnicos del suelo para lograr realizar un diseño preliminar destacando parámetros geotécnicos de muros ya estabilizados con ello lograr obtener un factor en común para tomar decisiones en futuros diseños.

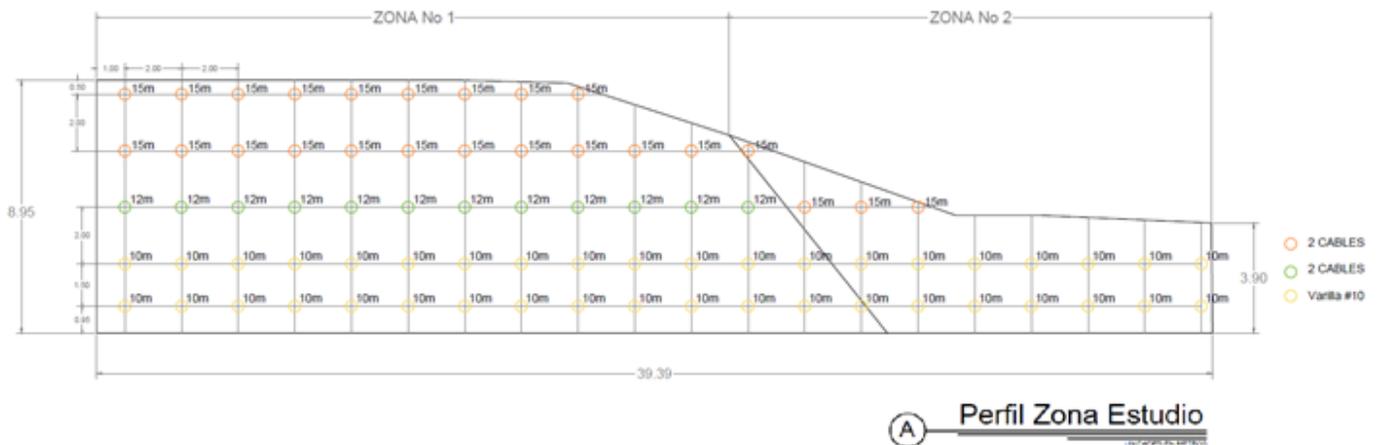


Fig. 12 Distribución de Anclajes en el Talud

(Civil 3D Metric, 2018)

Se detalla también el anclaje utilizado en el talud en la Fig. 13, donde respectivamente los anclajes activos en su detalle típico se implementan cables, placas, cuñas, tubo de inyección y centralizadores a diferencia de los anclajes pasivos que poseen varilla corrugada, arandela, tuerca y placa; debido que los anclajes activos son tensados luego de su instalación, en cambio los anclajes pasivos requieren la producción de movimiento del suelo.

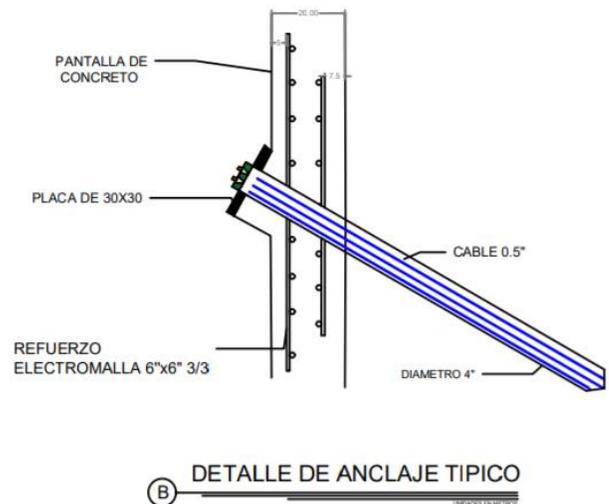


Fig. 13 Detalle de los Anclajes Utilizados

(Civil 3D Metric, 2018)

Muro de Gaviones

Se procede a calcular la presión activa de Rankine, considerando el ángulo de fricción de 25 grados de la zona de estudio, obtenido por medio del ensayo de corte directo.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right) = 0.64 \quad (1)$$

(Braja M. Das, 2001)

La piedra para colocarse en los gaviones será de basalto, proveída por las canteras dentro del área de Tegucigalpa, Honduras, esta posee un peso específico de $2.80 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$ y una densidad dentro de los gaviones del 80 % del peso específico.

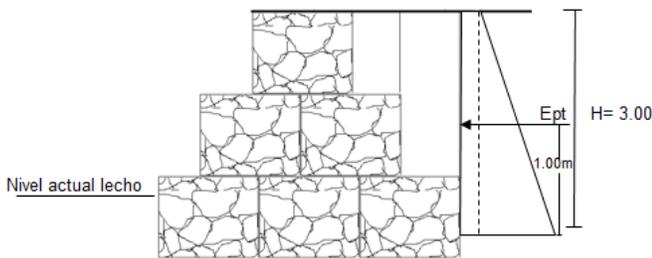


Fig. 14 Esquema de Muro de Gaviones

Por medio del esquema Fig. 14 se obtuvo una distribución de presiones de $3.53 \frac{\text{ton}}{\text{m}} * m$, un empuje activo de $5.29 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$ y un brazo de fuerza de 1 metro.

Con estos datos se procede a calcular el momento resistente y momento actuante, con los principios básicos de la estática.

FUERZAS RESISTENTES:

ELEMENTO	FUERZA (tf/m)	BRAZO (m)	MOMENTO (tf*m/m)
Gaviones	14.246	1.500	21.370
Cuñas de Relleno	2.898	2.583	7.486
$\Sigma F_{vo} =$	17.144	$\Sigma M_{vo} =$	28.855

FUERZAS ACTUANTES:

$$\Sigma F_r = (E_p \cdot E_a) = 5.299 \text{ t/m}$$

MOMENTO POR VOLCAMIENTO

$$\Sigma M_r = E_{pt} \cdot \text{brazo} = 5.30 \text{ tf*m/m}$$

FACTOR DE SEGURIDAD A VOLCAMIENTO: caso de relleno en un solo lado

$$\frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_{vo}} = 5.45 \geq 2.00 \quad \text{OK}$$

FACTOR DE SEGURIDAD A DESLIZAMIENTO: caso de relleno en un solo lado

$$F = f \times \Sigma FV = 8.57$$

$$f = 0.5$$

$$\beta = F / \Sigma F_h = 1.62 \geq 1.50 \quad \text{OK}$$

El factor de fricción implementado en el factor de seguridad depende según el ángulo de fracción expresada:

$$f = \frac{W \sin \theta}{W \cos \theta} = \text{tg} \theta \quad (2)$$

Sustituyendo

$$f = \tan(25) = 0.5$$

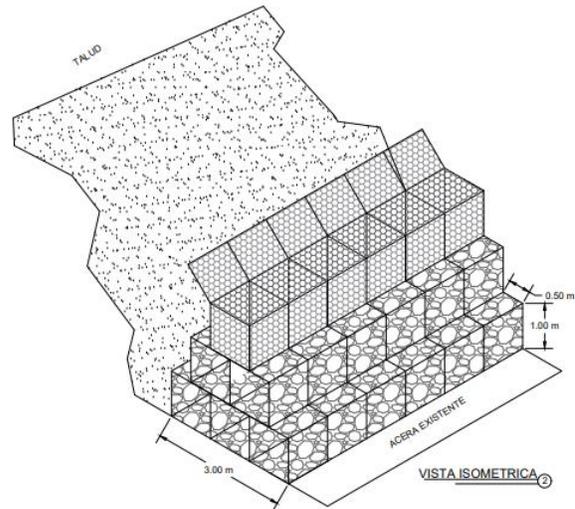


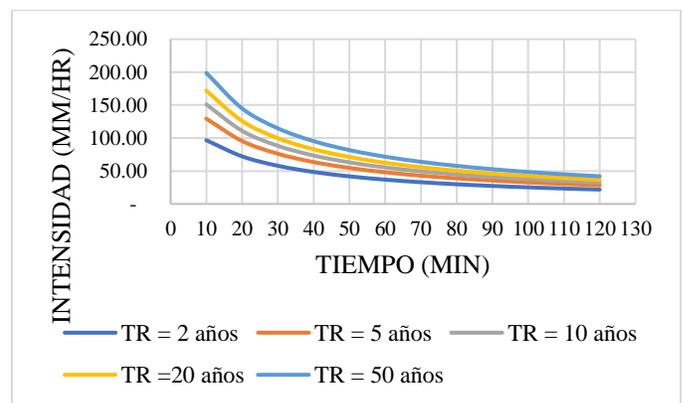
Fig. 15 Distribución de los Gaviones en frente del talud

(Civil 3D Metric, 2018)

Drenaje Superficial

Para determinar las dimensiones del canal que se colocará, es necesario conocer cuál sería el caudal máximo que pudiera producirse por medio de la hidrología e hidráulica de la zona.

GRÁFICA V
CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA



(FHIS, 2008)

Sabiendo que el talud tiene una longitud de 39.39m y que el canal tendrá una pendiente de 3%:

$$T_c = 0.01947 \left(\frac{39.39^{0.77}}{0.03^{0.385}} \right) = 1.271 \text{ min} \quad (3)$$

(FHIS, 2008)

Se prosigue a introducir este tiempo de concentración en la Ecuación (3) para un periodo de retorno de 10 años:

$$i = \frac{2696}{(14.51 + 1.271)^{0.901}} = 224.49 \text{ mm/hr} \quad (4)$$

(FHIS, 2008)

La herramienta de Google Earth Pro permite calcular distancias y áreas, en este caso un área denominada como cuenca, que es la cantidad de aguas lluvias que recaerá sobre el canal de drenaje, siendo de 15.8 hectáreas.



Fig. 16 Cuenca

(Google Earth Pro, 2018)

Para el coeficiente de escorrentía se decidió utilizar un valor promedio para características de una sección pavimentada, ya que el material utilizado será de cemento hidráulico para el canal, siendo un valor de 0.83.

Superficie	Características	Coefficiente C
Superficie de carretera	Pavimentada	0.7 a 0.95
	Destapada	0.3 a 0.7
	Suelo fino	0.4 a 0.65
Talud	Suelo grueso	0.1 a 0.3
	Roca dura	0.7 a 0.85
	Roca blanda	0.5 a 0.75
Pastizales en suelos arenosos	Pendiente 0 a 2%	0.05 a 0.1
	2 a 7%	0.1 a 0.15
Pastizales en suelos arcillosos	Más de 7%	0.15 a 0.25
	Pendiente 0 a 2%	0.13 a 0.17
	2 a 7%	0.18 a 0.22
Escarpes de fuerte pendiente de roca	Más de 7%	0.25 a 0.35
		0.75 a 0.95
Arenas intermedias		0.20 a 0.40
Parques con árboles y pastos		0.10 a 0.25
Montañas de pendientes suaves		0.30
Montañas de pendientes fuertes		0.50

Fig. 17 Coeficientes de Escorrentía

(Japan Road Association, 1984)

Por medio de los parámetros de la zona se obtuvo un caudal de:

$$Q = \frac{0.83 * 224.49 * 15.8}{360} = 8.18 \text{ m}^3/s \quad (5)$$

(FHIS, 2008)

Con dicho caudal se procede a revisar que el radio hidráulico de la siguiente sección transversal (cambiando la base de 0.50m a 0.40m) sea mayor al radio hidráulico requerido:

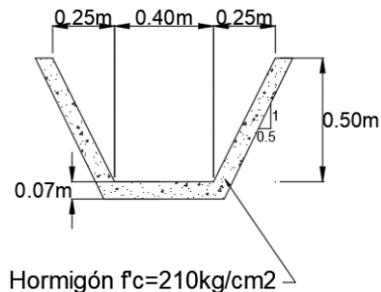


Fig. 18 Esquema de Drenaje Superficial

(Civil 3D Metric, 2018)

Se procede a revisar que las dimensiones del canal sean adecuadas para controlar el caudal con una pendiente de 3%, despejando de la ecuación de Manning para el radio hidráulico, tomando en cuenta una velocidad de 4m/s porque de ser mayor habría desgaste del material del canal (mampostería con coeficiente de rugosidad de 0.013):

$$4 = \frac{1}{0.013} \left(R^{\frac{2}{3}} * 0.03^{\frac{1}{2}} \right) \quad (6)$$

(FHIS, 2008)

$$R_{min} = 0.1645 \text{ m}$$

Ahora se procede a corroborar que el radio hidráulico máximo que pueda producir el canal sea mayor al necesario, es decir, tomando en cuenta que llegara a existir un caudal que cubriera todo el canal. Para esto es necesario conocer el área y el perímetro mojado. Primero se utiliza la fórmula para calcular el área de un trapecio:

$$A = \frac{(1+0.4)*0.5}{2} = 0.35 \text{ m}^2 \quad (7)$$

Luego se calcula el perímetro mojado:

$$P = 2 * \sqrt{0.5^2 + 0.25^2} + 0.4 = 1.52 \text{ m} \quad (8)$$

Finalmente se calcula el radio hidráulico:

$$R = \frac{0.35}{1.52} = 0.2302 \text{ m} \quad (9)$$

Como se puede ver es mayor por lo que el canal es adecuado para control el caudal máximo a producirse (0.1645 m < 0.2302 m).

V. CONCLUSIONES

Se ha determinado la clasificación del suelo del lugar de estudio por medio de los ensayos de laboratorio. Se encontró que el suelo es MH (limos de alta plasticidad) a través del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

En la implementación de la estabilización con anclajes se distribuyeron de la siguiente forma: anclajes activos en la parte superior donde predominan las rocas y se desea evitar caída libre, y en la parte inferior se ubicarán anclajes pasivos por los fragmentos de roca de menor tamaño.

Se diseñó un muro de gaviones con una altura de 3 metros y una longitud de 39.39m, para el que se considera el predominio de los deslizamientos menores, para proteger el tramo carretero.

Además, se analizó la hidrología de la zona para el diseño de un canal a lo largo del talud y controlar el agua producto de las lluvias, ya que la precipitación que es uno de los factores que generan los deslizamientos.

Las obras de mitigación son de suma importancia para la prevención de deslizamientos cercanos a los taludes sin estabilizar. Por ello es necesario la implementación de las mismas para la protección de los usuarios que transitan cerca del talud. De esta manera la investigación presenta tres propuestas de medidas de mitigación a implementar según las características del talud y tipos de deslizamientos por medio del control del agua (cunetas), y reteniendo las masas producto de los deslizamientos y control permanente (muro de gaviones o muro de anclajes).

Esta investigación puede ser útil para el desarrollo y elaboración de una base de datos de los distintos taludes carreteros o residenciales estabilizados considerando los parámetros geotécnicos de los mismos. Además, permite la investigación de nuevos sistemas de estabilización de taludes, conocer distintos parámetros geotécnicos para utilizar como bases en diseños preliminares y conocer medidas de mitigación temporales y permanentes. La investigación puede ser base de futuros trabajos para la implementación de anclajes en los taludes según sus características, obras de drenaje superficial a lo largo de los taludes y obras de retención.

VI. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la empresa Geoconsult S.A. de C.V por su apoyo en la verificación y financiamiento de los estudios geotécnicos. Se agradece también la empresa Ingenieros García Consultores S. de R.L por su apoyo logístico y obtención de información de sitios estabilizados.

REFERENCIAS

- [1] ASTM. (1985). *Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards*.
- [2] ASTM. (2003). *ASTM INTERNATIONAL*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/D420.htm>
- [3] ASTM. (2007). *ASTM INTERNATIONAL*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/D422>
- [4] ASTM. (2009). *ASTM INTERNATIONAL*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/D7263.htm>
- [5] ASTM. (2010). *ASTM INTERNATIONAL*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/D2216.htm>
- [6] ASTM. (2011). *ASTM INTERNATIONAL*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/D3080>
- [7] ASTM. (2017). *ASTM INTERNATIONAL*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/D4318.htm>
- [8] Autodesk. (2018). *Civil 3D Metric*.
- [9] Braja M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Mexico: Thomson Learning.
- [10] DGRH. (2015, 2016, 2017). Tegucigalpa.
- [11] FHIS. (2008). *Manual de Referencias Hidrológicas*. INTEMA
- [12] GeoConsult. (2018). Obtenido de <http://www.geoconsult.hn/index.php/projects/>
- [13] Geofortis. (2011). Obtenido de <http://www.geofortis.co.cr/descargas/Procedimiento%20constructivo%20muro%20anclado.pdf>
- [14] *Google Earth Pro*. (Octubre de 2016).
- [15] *Google Maps*. (s.f.). Obtenido de <https://www.google.hn/maps/@14.1145303,-87.2132068,16z?hl=es>
- [16] ICOTEC. (2008). Obtenido de <https://repositorio.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6034/construcci%C3%B3n-muro-gaviones.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [17] INE. (2013). Obtenido de www.ine.gob.hn
- [18] Japan Road Association. (1984). *Manual for Slope Protection*.
- [19] Kirkby. (1994). *Erosión de Suelos*. LIMUSA.
- [20] Lagos, M. I. (15 de Febrero de 2018). Anclajes. (R. Cruz, & A. Torres, Entrevistadores)
- [21] *Manual de Laboratorio de Ingeniería Civil*. (2016). Tegucigalpa.
- [22] *Perfil Ambiental de Honduras*. (1997).
- [23] SAG. *Geología Venezolana*. Obtenido de <http://geologiavenezolana.blogspot.com/p/eventos-y-excursiones.html>
- [24] SGH. (2017). *Estudio Geotécnico para Construcción de Muro Anclado en Torre Infinito*.
- [25] Soihet, C. (2000). *Evaluación de Recursos Forestales*.
- [26] Wicander, R. (2000). *Fundamentos de Geología*. International Thomson Editores.
- [27] Zapata, R. (2010). *Desastres y Desarrollo: el impacto en el 2010*, CEPAL.