

DESIGN OF THE STABILIZATION SOLUTIONS IN THE GENERAL PATRIMONIAL CEMETERY OF GUAYAQUIL, ECUADOR

Fernando Morante Carballo, PhD.^{1,2,3}, Paúl Carrión Mero, PhD.^{3,4}, Miguel Ángel Chávez, PhD.⁴, Maribel Aguilar Aguilar, Ing.^{3,4} and Josué Briones Bitar, Ing.³

¹ ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Geo-recursos y Aplicaciones GIGA, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador. fmorante@espol.edu.ec,

² ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

³ ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT), Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador. pcarrión@espol.edu.ec, maesagui@espol.edu.ec, briones@espol.edu.ec

⁴ ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería Ciencias de la Tierra (FICT), Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador. mchavez@espol.edu.ec.

Abstract -- In Guayaquil, Ecuador, the general patrimonial cemetery, having inherited a space from a quarry of 1970, has a rock fall detachment problem, which endangers the visitors, the tombs with their respective sacred-respect and the recognized heritage values (thanks to its distinction of "Nation Cultural Heritage"). Geomechanical studies were performed to diagnose the current state of the vertical slope of almost 45 m in height, located at Gate # 1, and establish ways to solve this problem. The aim of this article focuses on designing the stabilization solutions for this steep slope by technical considerations studies, or the proposal of measures and their conditioning, so that provide the necessary assurances within the cemetery. The methodology considers: i) Analysis of the results of the studies carried out on the slope, ii) Design calculations according to slope safety, iii) Design and safety considerations. It was determined that the weight of the blocks, which could be detached, can be on average of 7.54 Ton. In this case it is proposed to design a network of injected bolts with 25 mm in diameter and 3 m length, with different angles of inclination, which should be specified in each case, which generates a stabilizing force of at least 15 Ton, with a safety factor of 1.74, considering hydrostatic thrust and seismic accelerations. To achieve a front that supports the loads, in addition to the bolts, we designed a 10 cm thick shotcrete layer. Drainage pipes of 0.5 m long have been designed to control the water flow, which would accumulate behind the concrete wall. Other actions must also be implemented, such as removing gabion bodies that have been built at the top of the slope.

Keywords – Steep slope, Stabilization design, Gunita, drainage pipe.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.368>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

DISEÑO DE LAS SOLUCIONES DE ESTABILIZACIÓN EN EL CEMENTERIO PATRIMONIAL DE GUAYAQUIL, ECUADOR.

Fernando Morante Carballo, PhD.^{1,2,3}, Paúl Carrión Mero, PhD.^{3,4}, Miguel Ángel Chávez, PhD.⁴, Maribel Aguilar Aguilar, Ing.^{3,4} and Josué Briones Bitar, Ing.³

¹ ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Geo-recursos y Aplicaciones GIGA, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador. fmorante@espol.edu.ec,

² ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

³ ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT), Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador. pcarrion@espol.edu.ec, maesagui@espol.edu.ec, briones@espol.edu.ec

⁴ ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería Ciencias de la Tierra (FICT), Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador. mchavez@espol.edu.ec.

Resumen– En Guayaquil, Ecuador el cementerio patrimonial al haber heredado un espacio de una cantera de los años 70's tiene una problemática de desprendimientos de bloques de rocas, que ponen en peligro a los visitantes, a las tumbas con su respectivo sacro-respeto y a los valores patrimoniales reconocidos (gracias a su distinción de "Patrimonio Cultural de la Nación"). Se realizaron estudios geomecánicos para diagnosticar el estado actual del talud vertical de casi 45 m de altura, ubicado en la Puerta #1, y establecer las vías de solución a dicho problema. El objetivo de este artículo se centra en diseñar las soluciones de estabilización para este talud escarpado mediante las consideraciones técnicas de los estudios realizados, para la propuesta de medidas y su acondicionamiento, de tal manera que brinden las seguridades necesarias dentro del cementerio. La metodología considera: i) Análisis de los resultados de los estudios realizados en el talud, ii) Cálculos de diseño acorde a la seguridad del talud, iii) Diseño y consideraciones de seguridad. Se determinó que el peso de los bloques, que pudieran desprenderse, puede ser en promedio de 7.54 Ton. En este caso se ha propuesto el diseño de una red de pernos inyectados (bulones) de 25 mm de diámetro y longitud de 3 m, con diferentes ángulos de inclinación, que deberán ser precisados en cada caso, lo cual genera una fuerza estabilizadora de al menos 15 Ton, con un factor de seguridad de 1.74, considerando empujes hidrostáticos y aceleraciones sísmicas. Para lograr un frente que soporte a las cargas, además de los bulones, se ha diseñado una capa de hormigón proyectado de 10cm de espesor. Para controlar el flujo de agua, que se acumularía detrás de la pared de hormigón, se han diseñado drenes de mechinal de 0.5 m de longitud. También se deben implementar otras acciones tales como eliminar cuerpos de gaviones que han sido contruidos justamente en la cabecera del talud.

Palabras claves-- Talud, Diseño de Estabilización, Gunitado, Drenes de Mechinal.

I. INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que todas aquellas rocas sometidas a la acción de los agentes atmosféricos sufren una cierta

degradación que merma sus propiedades geomecánicas. Las características intrínsecas de cada afloramiento son el reflejo de la actividad tectónica de la zona y de la propia naturaleza rocosa del lugar, [1]. Estas consideraciones, junto con las acciones gravitatorias y sísmicas, pueden dar lugar a una serie de inestabilidades que constituyen riesgos geológicos potenciales cuando afectan a las actividades humanas [2]. En los taludes de roca, las inestabilidades son debidas a las características geomecánicas del macizo rocoso, al estado de conservación del propio talud y a las condiciones de penetración del agua [3].

La distinta naturaleza de las rocas que forman los macizos rocosos implica una problemática determinada en su comportamiento ante la estabilidad de taludes. El comportamiento de un macizo rocoso generalmente depende de las características de las discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad) que presenta, así como la litología de la matriz rocosa y su historia evolutiva [4].

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año [5]; sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. La ocurrencia de deslizamientos de tierra es obviamente perjudicial para la estabilidad de las laderas. Sin embargo, la posibilidad y frecuencia de ocurrencia de deslizamientos de tierra a lo largo de cualquier pendiente dependen de las características geológicas de sus materiales constituyentes [6].

Para mitigar estos problemas, la caracterización de ingeniería detallada de los materiales no consolidados es muy esencial [7]. Generalmente, un deslizamiento de tierra se inicia a partir de una combinación de factores como la geometría de la pendiente, la resistencia del material de la pendiente, la condición hidrogeológica, la discontinuidad estructural, la meteorización, el desarrollo de zonas débiles, las perturbaciones litológicas y las fuertes lluvias [8-11]. Estos

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.368>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

factores, en combinación, serán responsables de definir la condición de estabilidad de la pendiente. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas [12].

La precipitación es un factor desencadenante de la inestabilidad principal en las laderas rocosas [13-18]. Esto es evidente por el hecho de que la mayoría de las pendientes fallan durante la temporada de lluvias [13, 14]. El agua a lo largo de la superficie potencial de falla reducirá la resistencia al corte y también lubricará la superficie que puede facilitar el proceso de deslizamiento [14, 19], por lo que es muy importante tener en cuenta las condiciones de drenaje superficial al evaluar la estabilidad de la pendiente.

Las pendientes rocosas bajo carga sísmica están sujetas a aceleraciones que inducen inestabilidad en la pendiente de la roca [13]. Las pendientes que son estables en condiciones estáticas pueden desestabilizarse bajo carga sísmica dinámica [20]. Por lo que, las pendientes no estabilizadas en escarpes o laderas, son factores a considerar para la formulación de soluciones y medidas para su estabilización.

En la mayor parte de los casos, el estudio de la estabilidad de taludes no puede realizarse a nivel general, sino sector por sector, ya que, las inestabilidades suelen ir asociadas a la presencia de discontinuidades concretas con orientaciones determinadas [21]. Otro hecho desencadenante en la inestabilidad de un talud son las actividades antrópicas, actividades humanas que aumentan carga o disminuyen las capacidades y propiedades geomecánicas de las rocas. Algunas de estas actividades son las construcciones de carreteras u otras estructuras de ingeniería o el uso no técnico de explosiones en canteras o minas [22].

La investigación de una ladera, talud o deslizamiento consiste en obtener toda la información posible sobre las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico de los problemas lo más preciso posible y un diseño efectivo de solución. Para el propósito de la investigación es necesario conocer cuáles son los parámetros básicos que afectan la estabilidad [12].

El Cementerio General de Guayaquil fue fundado oficialmente el 27 de abril de 1823, después de varias recomendaciones debido a las molestias que causaba el entierro de muertos en los templos, como había sido costumbre hasta ese entonces. Se construyó en el norte de Guayaquil, en las laderas del Cerro del Carmen, donde antes existió un pequeño panteón para los pobres. Este se extendió a lo largo de la calle Julián Coronel, cerca de varios hospitales, ancianatos y la morgue. En 1972, la Junta de Beneficencia decidió construir un cementerio anexo donde funcionaba la antigua Cantera Municipal.

El 18 de octubre de 2003, el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, nombró a el Cementerio General de la Junta de Beneficencia de Guayaquil, "Patrimonio Cultural de la Nación", como justo reconocimiento a su grandeza, por la relevancia histórica de trascendentales personajes allí enterrados, la solemnidad y belleza de sus esculturales monumentos, y por la suntuosidad de sus mausoleos de influencia europea que se han ido incrementando con el paso de los años. Por lo que tiene bien en brindar, siempre, seguridad por su carácter patrimonial, por las visitas turísticas (rutas turísticas) y por ser un sitio de paz y recogimiento.

La situación que se presenta en el talud se puede resumir en los siguientes aspectos:

- Inestabilidad que se presenta en gran parte de este, debido a su verticalidad y buzamiento de los bloques, ocasionados por las actividades de la Cantera Municipal que ahí funcionaba.
- Alto grado de fracturación que se presenta en el escarpe (talud) y el grado de deterioro de las capas de rocas en el afloramiento.
- Diferentes afectaciones al sistema de drenaje natural que se encuentra alterado por las obras, entre otras de las del propio Cementerio General.
- Los estratos de roca se encuentran inclinados, favoreciendo al deslizamiento en el talud.

En este artículo, el objetivo se centra en diseñar las soluciones de estabilización para este talud escarpado mediante las consideraciones técnicas de los estudios realizados, para la propuesta de medidas y su acondicionamiento, de tal manera que brinden las seguridades necesarias dentro del cementerio.

II. METODOLOGÍA

La metodología planteada para el desarrollo de este trabajo, se la dividió en tres fases para su mejor e integral desarrollo. En la Fig. 1, se observa un cuadro resumen de la metodología realizada.

Fase I. Datos Preliminares. – Esta primera parte constará de una recolección y revisión bibliográfica, en lo que se recogerá: artículos y publicaciones, tesis de grado o posgrado y publicaciones en base de datos científicas relacionadas con el tema a tratar. También se complementará, este artículo, con la información y soportes de los estudios del análisis de susceptibilidad al desprendimiento, realizados por Morante et al. [23]. El fin, de esta recolección y revisión bibliográfica, es la de formar una base de datos que nos proporcione información para su posterior análisis y la propuesta de medidas de estabilización.

Fase II. Estado actual. – En esta segunda fase, se pone en contexto la situación actual que experimenta el talud, ubicado en la puerta #1 del cementerio Patrimonial de Guayaquil. Inicialmente se cuenta con la base de datos generados en la

fase anterior. También se presenta información del talud como:

Característica topográfica: se presentan datos relacionados con las pendientes y perfiles (cortes). La topografía del sector se la realizó con la ayuda de GPS Diferencial y Dron.

Características geológicas: se presenta la litología y estratificaciones del terreno mediante visitas de campo, revisión de base de datos de estudios anteriores [23-27]. Se presenta de igual forma, las fracturas tectónicas, que, mediante el uso de red estereográfica y la identificación de las familias de fracturas, se procedió a graficar el plano de discontinuidades.

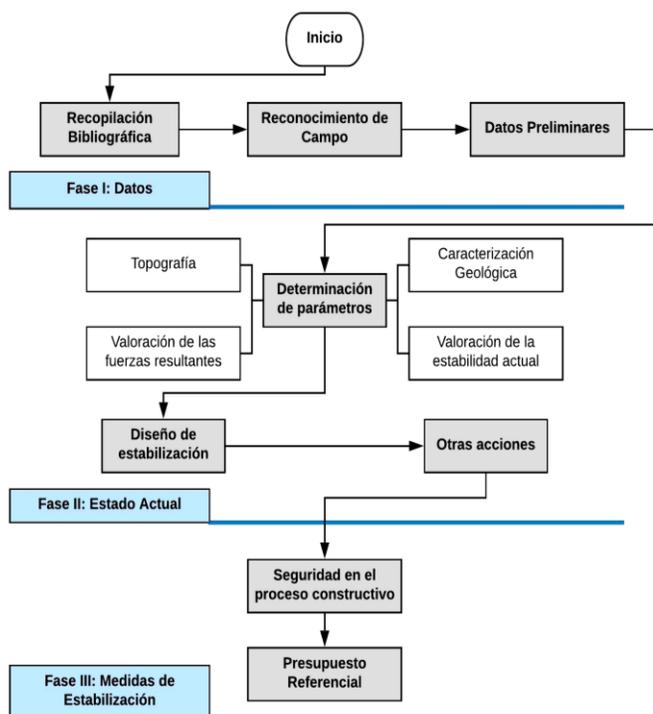


Fig. 1 Diagrama de flujo de la metodología realizada.

Cálculo de fuerzas necesarias para estabilización del talud: Se procedió a realizar los cálculos para determinar las dimensiones y el peso de las cuñas más grandes, así también las fuerzas que generan el deslizamiento y caída de dichos bloques. Para la realización de esto, se utilizó el método de propuesto por Hoek y Bray [20], el cual, dentro del análisis de estabilidad de deslizamientos planos, es uno de los procedimientos más interesantes para demostrar la acción del agua y la acción de la sismicidad mediante la aceleración sísmica horizontal “ α ”.

Fase III. Medidas de estabilización. – En este último apartado, ya con datos recolectados y el análisis del estado actual del talud, se procede a la realización del diseño, más óptimo para este caso, y las consideraciones de seguridad a

tomar en cuenta para la construcción de esta solución estabilizadora.

III. RESULTADOS

A. Sector de estudio

El cementerio Patrimonial de Guayaquil, se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil, en la provincia del Guayas, Ecuador. En la Fig. 2, se puede observar una vista general del talud del Cementerio General, donde se muestra el farallón del sitio, caracterizado por su altura y verticalidad.

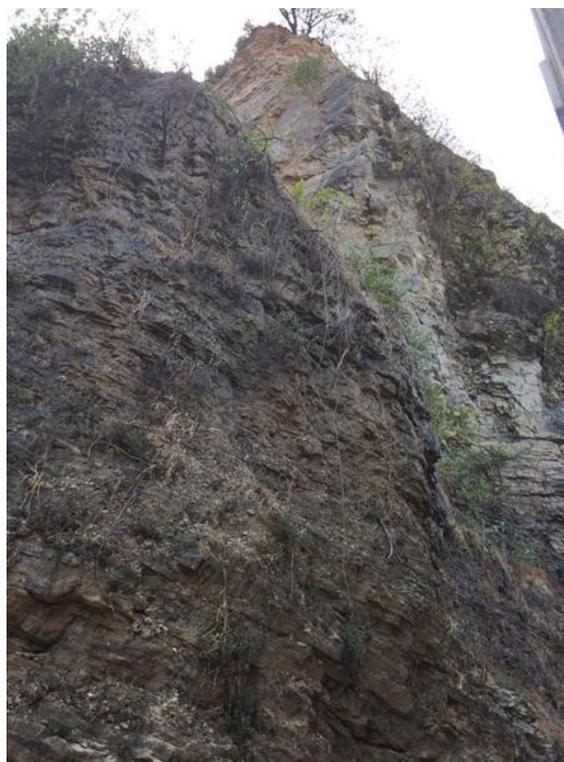


Fig. 2 Talud escarpado del cementerio General de Guayaquil.

B. Topografía del sector de estudio

Los taludes rocosos que rodean el Cementerio General ubicado al frente de la calle Julián Coronel son en su mayoría verticales y sub verticales, teniéndose sitios en los que se tienen taludes en contra pendiente y en volado.

Dichas pendientes empinadas de 60° a 88° , se desarrollan entre las cotas 10 y 65 (inclusive más), en los taludes más altos. A partir de las cotas 50 a 80, la pendiente es más suave (de 10° a 30°), que se constituye en la corona de los taludes.

En la Fig. 3 se puede observar la topografía realizada en el sector de estudio, con el trazado de perfiles en diferentes partes del talud, y en la Fig. 4 se puede observar uno de los perfiles de la Fig. 3.

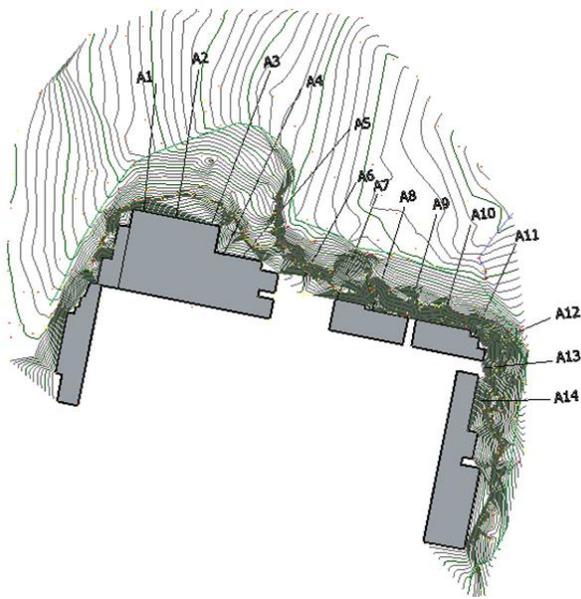


Fig. 3 Planta del levantamiento topográfico. Fuente: [23]

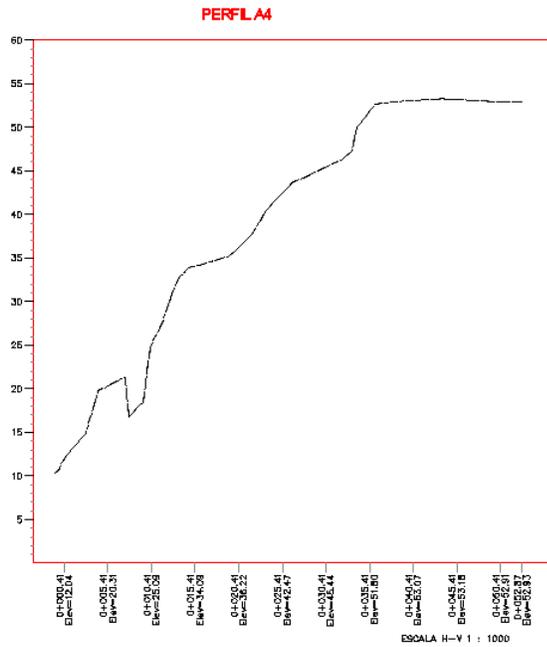


Fig. 4 Vista del perfil A4, uno de perfiles ubicados en la Fig. 4. Fuente: [23]

C. Característica Geológica (Litología y Fracturas tectónicas)

Luego de las observaciones realizadas en el terreno se determinó que en el sector de estudio aflora la Formación Guayaquil, como lo describe [23]. La litología está constituida por estratos rocosos de lutitas y limolitas silicificadas en diferentes grados, teniéndose además estratos plegados en secuencias entre centimétricas y decimétricas. (Ver Fig. 5).

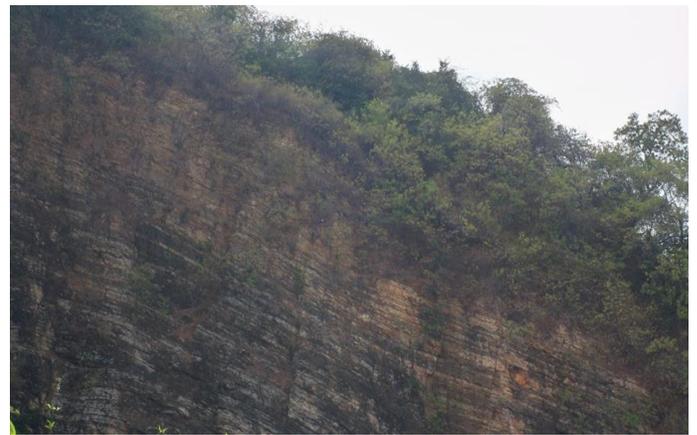


Fig. 5 Vista frontal de los estratos de lutitas y limolitas.

En el sitio estudiado se tienen al menos tres familias de fractura, según la Tabla I, que se hacen presentes en el sector de estudio que para el efecto se ha dividido en tres tramos característicos definidos, como se muestra en la Fig. 6:

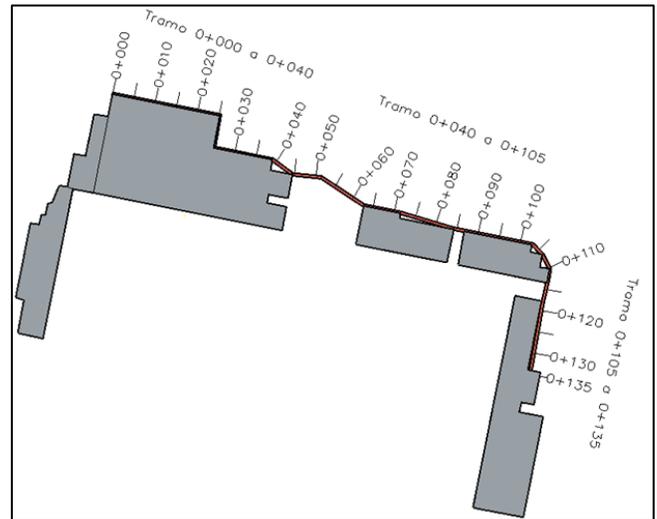


Fig. 6 Ubicación de los tramos típicos encontrados en los taludes a estabilizar. Fuente: [23]

Se realizaron mediciones de la dirección de buzamiento y buzamiento de las fracturas tectónicas que se encuentran en los tres tramos antes definidos. Mediante el procedimiento estadístico de ponderación, se definieron las fracturas más representativas en cada tramo estudiado.

Se determinó que, en los tres tramos característicos, prevalecen las siguientes familias de fracturas, anotando sus valores más representativos (Ver tabla I).

TABLA I
FAMILIA DE FRACTURAS POR TRAMO

Tramo	F1	F2	F3	Talud
0+000 a 0+040	182 ⁰ /79 ⁰	91 ⁰ /85 ⁰	245 ⁰ /40 ⁰	191 ⁰ /52 ⁰
0+040 a 0+105	183 ⁰ /53 ⁰	88 ⁰ /72 ⁰	153 ⁰ /82 ⁰	197 ⁰ /70 ⁰
0+105 a 0+135	182 ⁰ /79 ⁰	60 ⁰ /60 ⁰	245 ⁰ /40 ⁰	247 ⁰ /76 ⁰

Utilizando la red estereográfica se procedió a graficar los planos de las discontinuidades existentes en cada tramo. Ver Fig. 7, 8 y 9).

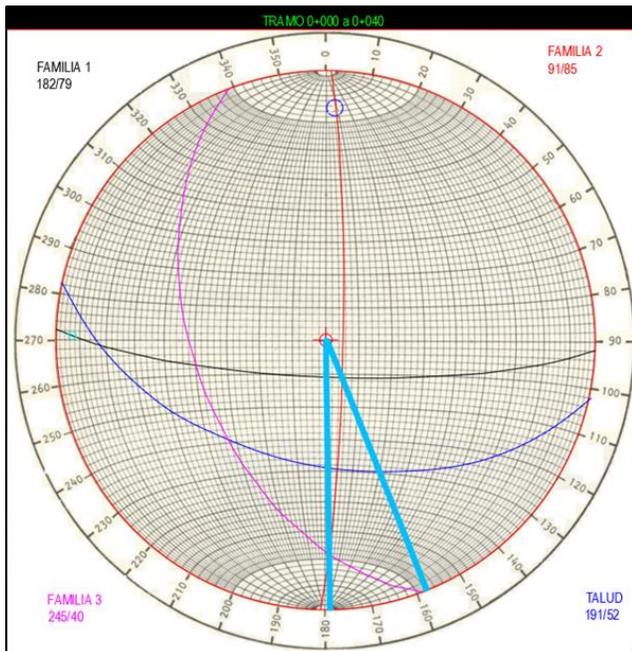


Fig. 7 Discontinuidades en el tramo 0+000 a 0+040 y su incidencia en la estabilidad del talud. Fuente: [28]

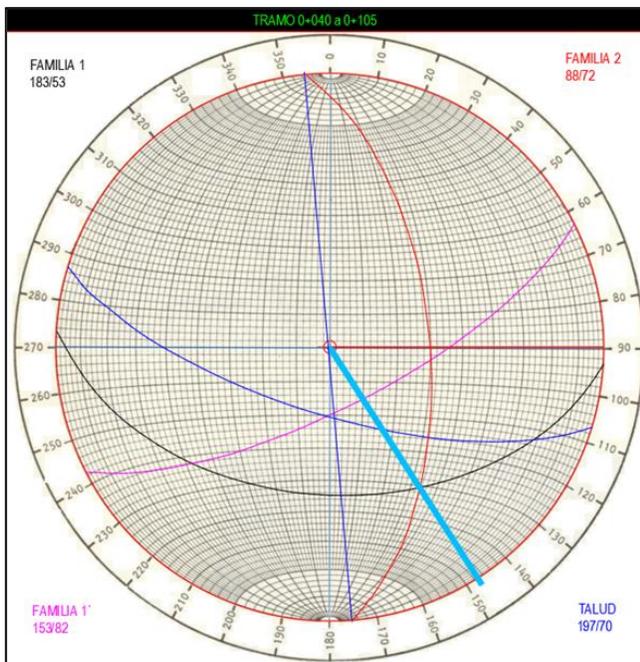


Fig. 8 Discontinuidades en el tramo 0+040 a 0+105 y su incidencia en la estabilidad del talud. Fuente: [28]

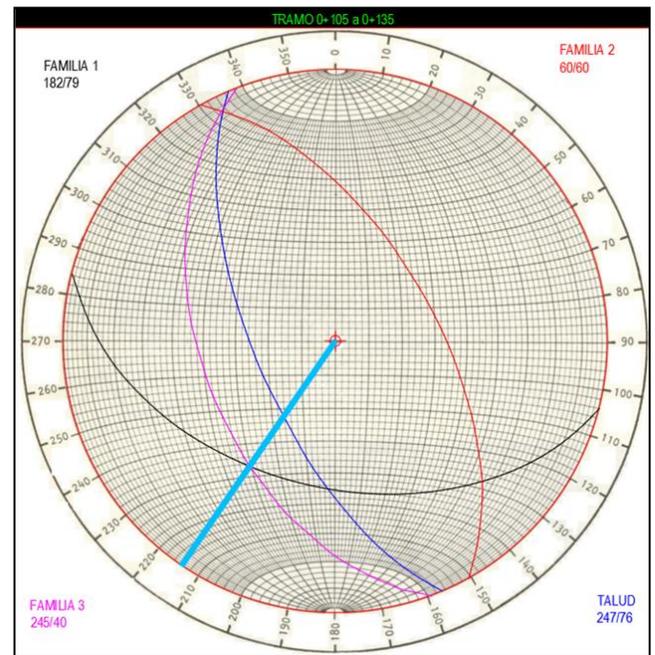


Fig. 9 Discontinuidades en el tramo 0+105 a 0+135 y su incidencia en la estabilidad del talud. Fuente: [28]

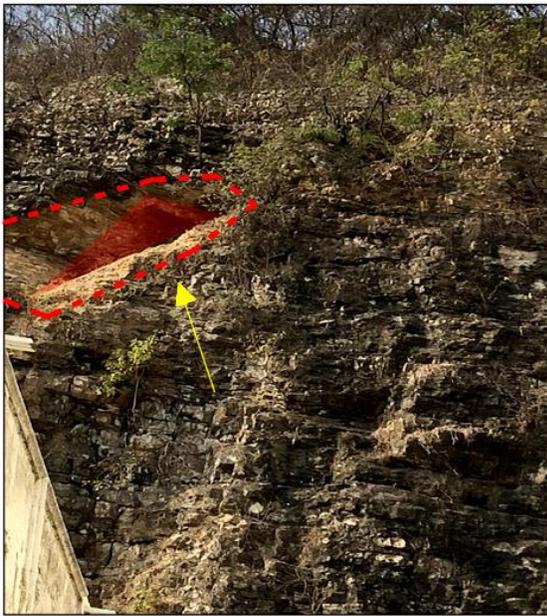
D. Estabilidad actual del talud

[23] nos da una idea de cómo está la estabilización actualmente del talud. Analizando la estabilidad con una metodología teórico-práctica sustentada en el criterio de expertos y en los resultados obtenidos en sus aplicaciones [12, 29-31]; la cual, considera diversos parámetros como la litología, la estructura geológica, la Morfometría y altura, grado de fracturación y bloques claves, presencia de agua, cobertura vegetal, acción sísmica y grado de deterioro.

Actualmente, la susceptibilidad al desprendimiento de pedazos de roca es de alta a muy alta, y esto se lo ha comprobado con varios recorridos en el área de estudio. En la Fig. 10, se puede observar que ya se han desprendido pedazos de roca, en ciertos sectores del talud.

E. Cálculo de fuerzas necesarias para estabilización del talud.

Los cálculos señalan que las cuñas pueden llegar a tener una altura, longitud y ancho promedio de 4.50m, 5.00m y 3.00m respectivamente (En la Fig. 11, se puede ver un ejemplo de rotura por cuña). Se determina que el peso de los bloques, que pueden estar apoyados sobre planos de discontinuidades, puede ser de 9.91 Ton (el bloque más crítico estudiado). La pendiente máxima de los planos de intersección de las fracturas 49.65°. Se determina además que los bloques se apoyan por lo menos sobre una de las dos discontinuidades, lo que genera una resistencia friccionante favorable.



— — Contorno de la cuña
 Gráfica de cuña

Fig. 10 Vista de la cuña formada en parte del talud.



Fig. 12 Bloques y fragmentos rocosos caídos de las partes más altas del talud.

Se requiere implementar una solución de estabilización que evite accidentes que serían graves y que así posibilite el desarrollo de los trabajos. Además, es necesario aprovechar la existencia de edificaciones, con losas de cubierta, al pie de los taludes a estabilizar.

Contando con el personal especializado, los equipos, maquinarias e instrumentos apropiados y seguridades, es posible lanzar una capa de hormigón proyectado, con aditivos adherentes y de fraguado rápido, sobre el talud. De esta forma se podrán ir formando áreas estables desde las partes más altas a las más bajas.

Pero antes de lanzar la capa de hormigón proyectado es necesario realizar la remoción y desalojo de los gaviones ubicados en la parte superior del talud (Ver Fig. 13).

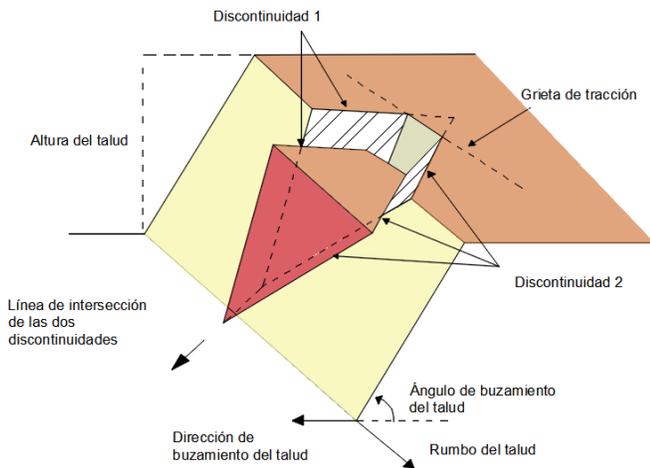


Fig. 11 Ilustración de una rotura por cuña.

También se establece que para estabilizar las cuñas y obtener un factor de seguridad de 1.74 se requiere generar, por cada cuña, una fuerza estabilizadora, (como es el caso de un perno inyectado) que desarrolle una fuerza de 12 Ton.

F. Seguridad en el proceso constructivo

Al pie de todos los taludes estudiados se tiene una constante caída de bloques de roca de todos los tamaños. Los bloques y fragmentos rocosos que se observan en la Fig. 12, proceden de las partes más altas, cuando se caen de las partes altas se fragmentan con el impacto. Este constituye un proceso de desestabilización muy peligroso para realizar cualquier obra que requiera una cercanía de los obreros al talud.



Fig. 13 Gaviones ubicados en la parte más alta del talud.

Este trabajo ha de ser de forma manual, ya que, las maquinarias debido a la ubicación de los gaviones y el difícil acceso al lugar, no van a poder realizar un óptimo trabajo, y hasta no podrían alcanzar el lugar de trabajo.

Para el desmontaje y desalojo del material de los gaviones, este se lo realizaría mediante mano de obra (jornaleros), debidamente equipados y ligados a una línea de vida; lo que implica que hay que hacer anclajes debido a las fuertes pendientes del lugar y sobre todo para protección del personal.

G. Diseño de propuesta estabilizadora

En este apartado se detallará cada una de las partes del diseño, para al último detallar la integralidad del diseño.

Bulones

El bulón (o perno inyectado) consiste en perforar, inyectar una lechada y así este viaje por todos las discontinuidades y espacios vacíos, y se solidifique con la barra de acero, ya que, gracias a la lechada, une todos los bloques separados en un conjunto.

En la totalidad del frente de estabilización se debe tener en cuenta el alto promedio de cada tramo a estabilizar, lo que se obtiene del levantamiento topográfico efectuado, cuyos resultados son los siguientes:

TABLA II
CANTIDAD DE BULONES EN EL TALUD

Tramo	Altura (m)	Número de bulones	Total en el tramo
0+000 a 0+040	33	11	154
0+040 a 0+105	45	15	330
0+105 a 0+135	30	10	100
Total de bulones en el talud			584

Lanzado del Hormigón Projectado (HP) o Gunitado

Para lograr un frente que soporte a las cargas, además de los pernos se ha diseñado una capa de hormigón proyectado de 10 cm de espesor.

El HP debe ser fundido en dos capas de 5 cm de espesor en toda la superficie de los taludes empinados. 15 días después de lanzada la primera capa se debe proceder a construir los bulones inyectados, para así asegurar los bloques de roca.

Para la determinación del área para lanzamiento del HP se tiene en cuenta la longitud y la altura de los tramos, estableciendo que existen lugares imposibles de alcanzar debido a las aproximaciones a edificaciones cercanas al talud.

Además, la superficie donde se lanzará el HP, no es plana, ya que presenta ondulaciones, huecos y orificios, que no pueden registrar en el levantamiento topográfico. Por esta razón se asume un factor de corrección de la superficie equivalente a 1.21, por lo que este valor es multiplicado por el área total. En la Fig. 14 se puede apreciar el tramo que no es posible lanzar el HP debido a las edificaciones cercanas; y, en

la tabla III se puede observar el cálculo del área de lanzado del HP, determinado gracias a los perfiles trazados en la Fig. 3.

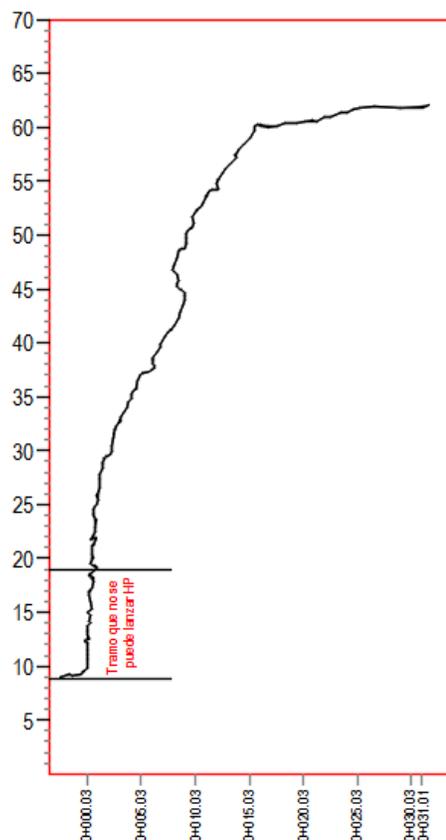


Fig. 14 Características del perfil A9 del talud donde se lanzará el hormigón proyectado. Fuente: [28]

TABLA III
ÁREAS PARA LANZADO DE HP

Perfiles	Altura (m)	Factor de corrección	Altura real (m)	Distancia entre perfiles	Total (m ²)
A1	30.27	1.21	36.63	0.00	
A2	37.19		45.00	10.00	408.13
A3	47.64		57.64	14.00	718.51
A4	52.51		63.54	8.00	484.73
A5	46.98		56.85	10.45	629.00
A6	48.74		58.98	16.42	950.89
A7	46.92		56.77	10.20	590.32
A8	50.03		60.54	9.93	582.44
A9	53.15		64.31	10.00	624.24
A10	60.00		72.60	11.12	761.23
A11	46.38		56.12	8.00	514.88
A12	39.33		47.59	7.50	388.91
A13	35.54		43.00	7.20	326.13
A14	34.02		41.16	9.85	414.53
Área total (m²)					7,393.94

Disposición de los bulones y drenes de mechinales.

Se requiere construir los bulones y al mismo tiempo drenes de mechinales. Los tubos de drenaje se deben construir en medio de los bulones, todo en una disposición en tres/bolillo, como se observa en la Fig. 15.

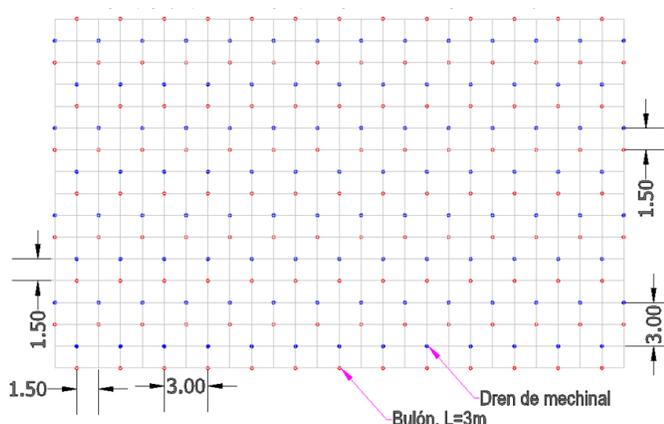


Fig. 15 Disposición de los bulones y drenes de mechinales en el frente del talud. Fuente: [23]

Drenes de mechinales

Dado que uno de los mecanismos que genera la inestabilidad es el flujo de agua en el interior del talud, es necesario controlar dicho flujo que se acumularía tras la capa de HP, generando presiones progresivamente mayores. Para evacuar el agua acumulada se requiere construir drenes de mechinales, luego de lanzar la primera capa de 5cm de HP.

Teniendo en cuenta la distribución antes presentada (Fig. 15), se tiene que 2/3 del total de bulones corresponden a 1/3 de drenes de mechinales, por lo que se determina que se requiere 292 unidades de drenes.

H. Presupuesto referencial

La construcción de las obras de estabilización requiere la ejecución de los siguientes rubros:

- Limpieza y desbroce (A)
- Replanteo de obras (B)
- Movilización y adecuaciones preliminares (C)
- Construcción de bulones tipo inyectados (D)
- Hormigón Proyectado (Gunitado) (E)
- Construcción de los drenes de mechinales (F)
- Desmovilización y limpieza (G)
- Remoción de gaviones (H)
- Desalojo de material de gaviones (I)

Realizando los cálculos necesarios y considerando los cálculos hechos anteriormente, se obtiene el siguiente presupuesto referencial (ver Tabla IV).

TABLA IV
PRESUPUESTO REFERENCIAL

Rubro	Unid.	Cant.	Costo U.	Valor (\$)	%
A	m ²	1350.00	\$ 2.30	\$ 3,105.00	0.47
B	m ²	5400.00	\$ 1.36	\$ 7,344.00	1.11
C	Gl			\$ 5,000.00	0.75
D	U	584.00	\$ 227.05	\$ 132,597.20	19.98
E	m ²	6750.00	\$ 68.50	\$ 462,375.00	69.68
F	U	292.00	\$ 86.98	\$ 25,398.16	3.83
G	GL			\$ 5,000.00	0.75
H	m ³	180.00	\$ 105.11	\$ 18,919.80	2.85
I	m ³	180.00	\$ 21.21	\$ 3,817.80	0.58
COSTO TOTAL				\$ 663,556.96	100.00

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según los estudios realizados por [23], el factor de seguridad, para el talud en estudio, es de 0.982. Según lo propuesto por [32], nos indica que para factores de seguridad menores a 1 y que, si el factor de seguridad dado en varias superficies de deslizamiento es menor a 1, el talud es inestable. Por tal razón era necesario plantear y diseñar una solución para la estabilización del talud. El diseño, que se plantea con la implementación de bulones, nos brinda un factor de seguridad de 1.74; lo que, para [20, 33, 34] nos garantiza una estabilidad frente al deslizamiento (factores de seguridad mayores que 1.50).

Como se ha apreciado en varias visitas de campo al lugar de estudio, el talud se presenta muy fracturado debido a las actividades de explotación pétreo. Esto ha generado el desprendimiento de cuñas en varios sectores del talud. Esto también constatado por varios autores [20, 35, 36].

Partiendo de numerosas experiencias [37-39] se ha llegado a comprobar que el HP es una de las mejores soluciones para estabilizar taludes que, por su altura o características geológicas, pueden llegar a fallar. El HP tiene una alta resistencia a la compresión y al cortante, importante para la estabilidad, la cual es superior a la resistencia del material original del talud.

En este caso, se ha planteado el uso de bulones (pernos inyectados); ya que, a diferencia de un perno normal (que se ancla a un solo bloque y no al conjunto), el inyectado que, gracias a la lechada de HP (gunitado) que viaja por todas las discontinuidades del macizo, se ancla formando (de todos los bloques separados) un solo bloque de roca.

En los cálculos y diseños se ha propuesto el uso de bulones de 3 m de longitud debido a la proyección realizada del tamaño máximo de cuña presente en el talud (3 m). Con esto se garantiza que se tenga un buen agarre y sostenimiento ante una posible afectación geodinámica.

Debido a las grandes cantidades de precipitaciones que se tiene en la ciudad de Guayaquil, considerando la propuesta del uso de HP, se pretende aliviar la carga de agua con el uso de drenes mechinales. La opción de los drenes también se soporta por la gran cantidad de discontinuidades y fracturas que tiene

el talud, lo que hace que la mayor parte del agua se infiltre y genere este empuje hidrostático.

En la tabla IV, se puede observar que el mayor porcentaje en el gasto es el del lanzamiento de HP (gunitado) con un 70% del presupuesto. Aunque es una técnica que brinda una gran solución, actualmente, en nuestro mercado la cotización de este servicio es aún oneroso.

V. CONCLUSIONES

Para la estabilización del talud objeto de estudio, para su acondicionamiento y para que brinde seguridad tanto para los turistas, familiares y piezas patrimoniales, se ha planteado un diseño y solución integral en el cual consiste de:

- Una red de bulones (pernos inyectados), de longitud de 3 m con diámetro de 25 mm, colocados con dos capas de HP de 5 cm de espesor (c/u) que, genere un frente que soporte las cargas actuantes.
- Una red de drenes de mechinales de 0.5 m de longitud que, me permitirá evacuar toda el agua filtrada que se acumule tras la pared de HP.
- Y todas estas redes planteadas en una disposición en tres/bolillo. La separación entre líneas de bulones y drenes es de 1.50 m; mientras que, la separación entre cada bulón y cada dren es de 3.00 m

El agua y la acción sísmica tiene una gran incidencia en los procesos de desestabilización en los taludes. Incluyendo también la realización de actividades antrópicas sin el debido análisis técnico, lo que genera la pérdida de propiedades de resistencia en estos materiales.

El uso de hormigón proyectado brinda una solución integral, ya que, permite controlar la erosión y al mismo tiempo evitar el deterioro del talud.

AGRADECIMIENTO

Gracias a la Junta de Beneficencia por permitirnos realizar este estudio y darnos siempre apoyo en cada actividad realizada por parte del personal técnico.

REFERENCIAS

- [1] L. González de Vallejo, M. Ferrer, L. Ortuño & C. Oteo, *Ingeniería Geológica*, 3rd ed., Madrid: Prentice Hall-Pearson Educación, 2002, pp.750.
- [2] A. Mira, A. Alcántara & F. Gutiérrez, "Caracterización geomecánica y análisis de la estabilidad del talud sur del macizo rocoso de Monteagudo (Murcia, España)," *Geogaceta*, vol. 54, pp. 151-154, March 2013.
- [3] Estabilización de Taludes de roca, Conferencias en Ingeniería geotécnica sísmica. <http://www.jorgealvahurtado.com/files/Estabilizacion%20de%20Taludes%20de%20Roca.pdf>. (Accessed on 26 February 2019)
- [4] Instituto Tecnológico Geominero de España, *Manual de Ingeniería de Taludes*, Madrid: ITGE, 1987.

- [5] E. Brabb & B. Hrod, "Landslides: Extent and economic significance," *Netherlands*, pp. 385, 1989 [28th International Geological Congress: Symposium on landslides, Netherlands, p. 385, 1989].
- [6] M. Rawat, J. Varun, D. Uniyal & B. Rawat, "Investigation of Hill Slope Stability and Mitigation measures in Sikkim Himalaya," *International Journal of Landslide and Environment*, vol. 3, pp. 8-15, December 2015
- [7] L. Sharma, R. Umrao, R. Singh, M. Ahmad & T.N. Singh, "Geotechnical characterization and stability evaluation of hill cut soil slopes along highway: a case study," *6th Indian Rock Conference*, June 2016
- [8] M. Souley, F. Homand, "Stability of jointed rock masses evaluated by UDEC with an extended Saeb Amadei constitutive law," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech.*, vol. 33, pp. 233-244, 1996
- [9] R. Umrao, R. Singh, M. Ahmad & T. Singh, "Stability analysis of cut slopes using continuous slope mass rating and kinematic analysis in Rudraprayag district, Uttarakhand," *Geomaterials*, vol. 1, pp. 79-87, 2011
- [10] A. Kainthola, P. Singh, A. Wasnik, M. Sazid & T. Singh, "Distinct element modelling of Mahabaleshwar road cut hill slope," *Geomaterials*, vol. 2, pp. 105-113, 2012
- [11] M. Ahmad, M. Ansari & T. Singh, "Instability investigations of basaltic soil slopes along SH-72, Maharashtra, India," *Nat Hazard Risk*, vol. 6, pp. 115-130, 2013
- [12] J. Suárez, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, 3rd ed., Bogota: Editorial UIS, 1998, pp.540.
- [13] B. Ermias, T. Raghuvanshi & B. Abebe, "Landslide Hazard Zonation (LHZ) around Alemketema Town, North Showa Zone, Central Ethiopia - A GIS based expert evaluation approach," *Int. Jr. Earth Sci. & Eng.*, vol. 10, pp. 33-44, 2017
- [14] T. Raghuvanshi, J. Ibrahim & D. Ayalew, "Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme – an approach for landslide hazard zonation," *J. Afr. Earth Sci.*, vol. 99, pp. 595-612, 2014
- [15] R. Dahal, S. Hasegawa, T. Masuda & M. Yamanaka, "Roadside Slope Failures in Nepal during Torrential Rainfall and their Mitigation. Disaster Mitigation of Debris Flows," *Slope Failures and Landslides*, pp. 503-514, 2006
- [16] L. Ayalew, H. Yamagishi & N. Ugawa, "Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan," *Landslides*, pp. 73-81, 2004
- [17] F. Dai & C. Lee, "Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study," *Can. Geotech. J.*, vol. 38, pp. 911-923, 2001
- [18] A. Collison, S. Wade, J. Griffiths & M. Dehn, "Modelling the impact of predicted climate change on landslide frequency and magnitude in SE England," *Eng. Geol.*, vol. 55, pp. 205-218, 2000
- [19] R. Hack, "An evaluation of slope stability classification," in C. Dinis da Gama, L. Ribeiro e Sousa, Eds. Lisboa: Publ. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 2002, pp. 3-32.
- [20] E. Hoek & J. Bray, *Rock Slope Engineering*, 3rd ed., London: Institute of Mining and Metallurgy, 1981, pp. 358.
- [21] O. Ramírez & A. Monge, *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*, 3rd ed., Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2007, pp. 250.
- [22] S. Shukla, S. Khandelwal, V. Verma & N. Sivakugan, "Effect of surcharge on the stability of anchored rock slope with water filled tension crack under seismic loading condition," *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 7, pp. 529-538, 2009
- [23] F. Morante, M. Aguilar, G. Ramírez, R. Blanco, P. Carrión, J. Briones & E. Berzuela, "Evaluation of Slope Stability Considering the Preservation of the General Patrimonial Cemetery of Guayaquil, Ecuador," *Geosciences*, vol. 9, pp. 103, 2019
- [24] F. Morante, *Las Zeolitas de la Costa de Ecuador (Guayaquil): Geología, Caracterización y Aplicaciones*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2003, pp. 275.
- [25] E. Núñez del Arco, *Geología del Ecuador*, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2004, pp. 351.

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

- [26] A. Olson, "Tertiary deposits of NO south America and Panamá. 8th Am," *Geol. Sci.*, vol. 4, pp. 231-287, 1942
- [27] S. Benítez, "Estratigrafía de las formaciones Cayo y Guayaquil en la cordillera Chongón Colonche: Hacia una redefinición.," *Geocienc. Rev. del CIGMP Guayaquil*, vol. 3, pp. 7-11, 1990
- [28] Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT-ESPOL), "Estudios y propuestas de estabilización del talud en el cerro del Carmen del cementerio general (calle Julián Coronel)," unpublished.
- [29] R. Anbalagan, "Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain.," *Eng. Geol.*, vol. 32, pp. 269-277, 1992
- [30] D. Nicholson & S. Hencher, "Assessing the Potential for Deterioration of Engineered Rockslopes.," Available online: https://www.researchgate.net/publication/209804864_Assessing_the_potential_for_deterioration_of_engineered_rockslopes (accessed on 26 February 2019).
- [31] R. Blanco, "Estudios y Propuestas de Estabilización del Cerro Las Cabras," unpublished.
- [32] S. Melentijevic, *Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos con Criterios de Rotura no Lineales y Leyes de Fluencia no Asociada.*, Ph.D. Thesis: Universidad Politécnica de Madrid, 2005.
- [33] E. Hoek, "When is a Design in Rock Engineering Acceptable?" *In Proc. 7th Int. Congress on RockMechanics*, ISRM, Aachen, Germany, Vol. 3, pp. 1485-1497
- [34] IGME (Instituto Geológico y Minero de España), "Manual de Taludes" ISBN: 48-7474-391-5, 456 pp., 1985
- [35] M. Chávez, *Incidencia del agua en los procesos de inestabilidad de taludes y laderas en el centro y norte de la ciudad de Guayaquil.*, Ing. Tesis: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.
- [36] Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), "Proyecto "Túnel Del Carmen" Volúmenes 4-5-6, Unidad de Transporte Masivo para Guayaquil," unpublished.
- [37] M. Chávez, "Estudios y Diseños para la Construcción de la Presa PARCON en el Campus Politécnico," unpublished.
- [38] M. Chávez, "Contribución a los Estudios y Diseños para la Construcción de un Túnel en el cerro del Carmen," unpublished.
- [39] M. Chávez, "Estudios y Diseños de Estabilización de los taludes de Corte en la Nueva Planta de Agua Potable de Guayaquil," unpublished.