

Aplicación de programas analíticos e informáticos sobre estabilización de taludes en el cerro pata grande del cantón Piñas

Marín B.*; Oyola J.*; Ordoñez J*; Aguirre F.*

* Universidad Técnica de Machala, Unidad Académica de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador.

eoyola@utmachala.edu.ec

RESUMEN:

Se analizaron tres alternativas para la estabilización de taludes: estabilización con material reciclable (llantas), muros de contención y bermas; se consideraron factores económicos, sociales, culturales y constructivos, donde resultó que la construcción de bermas es la solución más factible, técnica y económica. Con suelos de tres diferentes características geotécnicas encontrados en el talud adyacente al hospital Luis Moscoso Zambrano del cantón Piñas, provincia de El Oro, el cual se ha declarado como zona vulnerable, se realizó el análisis estático de estabilidad de talud mediante la aplicación del programa Geo Slope. Se incluyó los métodos Ordinario de Fellenius, de Bishop, de Janbu, de Morgenstern y Price y de Spencer. La investigación bibliográfica de diversas fuentes como revistas, artículos, libros, sitios web, periódicos, entre otros, conllevó a un análisis cimentado. Por medio del análisis de forma directa se ejecutó 3 perforaciones a una profundidad de 1,40 metros y luego realizar los ensayos de comprensión simple, granulometría y límites de Atterberg; se procedió a la extracción de la topografía del terreno mediante Global Mapper para importarlo en Civil 3D, donde se trazó un alineamiento que permitió la obtención de 7 perfiles, con la finalidad de obtener los datos requeridos por Geo Slope. Se efectuó el diseño de la alternativa seleccionada fundamentado por la investigación bibliográfica, además se implementó un diseño de drenaje como protección a las bermas. Por último, se presenta el presupuesto determinado por el cálculo de volúmenes de obra y los planos.

Palabras clave: Estabilización de taludes, Geo Slope, Bermas, Civil 3D, Global Mapper.

ABSTRACT:

Three alternatives for slope stabilization were analyzed: slope stabilization with recyclable material (tires), retaining walls and berms; economic, social, cultural and constructive factors were considered, where the construction of berms turned out to be the most feasible, technical and economic solution. With soils of three different geotechnical characteristics found in the slope adjacent to the Luis Moscoso Zambrano hospital of the Piñas canton, province of El Oro, which has been declared as a vulnerable area, the static analysis of slope stability was carried out through the application of the Geo program Slope. The ordinary methods of Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern and Price and Spencer were included. Bibliographic research from various sources such as magazines, articles, books, websites, newspapers, among others, led to a grounded analysis. By means of the analysis of direct form 3 perforations were executed to a depth of 1.40 meters and soon to realize the tests of simple understanding, granulometry and limits of Atterberg; The topography of the land was extracted using Global Mapper to import it into Civil 3D, where an alignment was drawn up that allowed obtaining 7 profiles, in order to obtain the data required by Geo Slope. The design of the selected alternative based on the bibliographic research was carried out, in addition a drainage design was implemented to protect the berms. Finally, the budget determined by the calculation of work volumes and plans is presented.

Keywords: Slope Stabilization, Geo Slope, Berms, Civil 3D, Global Mapper.

Introducción

La región elevada de la provincia de El Oro se encuentra atravesada por la Cordillera Occidental de los Andes, por ello en esta región se encuentran zonas montañosas de diferentes morfologías y características de suelos con diversas pendientes de superficie; Piñas, uno de los cantones de esta prestigiosa provincia, se encuentra a una elevación media de 1025 metros sobre el nivel del mar con temperaturas medianas de 21° centígrados. La topografía de la superficie del terreno del cantón Piñas presenta pendientes suaves y escarpadas, estas pendientes escarpadas tienen un grado significativo de vulnerabilidad ante deslizamientos de masas de tierra causado por amenazas naturales como sismos, precipitaciones, y amenazas de origen antrópico como mal conducto de aguas, deforestación, entre otros.



Fig. 1. Deslizamiento de tierra al pie del talud del cerro Pata Grande.

A inicios del año 2013, el cantón Piñas se vio afectado por una fuerte época invernal, lo que causó una serie de deslizamientos por todo el cantón originando daños en vías, estructuras, obras hidráulicas, pérdidas de cultivos; entre las estructuras afectadas, la parte posterior del Hospital Luis Moscoso Zambrano sufrió severos daños por el deslizamiento del talud aledaño a este nosocomio (ver Fig. 1), motivo por el cual el Comité de Operaciones Emergentes informó que esta zona se encuentra en estado de emergencia y se procedió por la evacuación del personal laboral y los pacientes a una zona segura; se utilizaron las instalaciones de la Escuela San José y el Sindicato de Choferes Profesionales de Piñas para la reubicación de los pacientes y los consultorios. El siguiente año las principales autoridades del hospital se vieron presionados por la falta de espacio, por lo que solicitaron al Comité de Operaciones Emergentes se levante el estado de emergencia; pues que, por versiones del personal laboral, se conoció que el conducto de una tubería de agua, ubicada en la cima de la zona afectada, se encontraba en condiciones defectuosas con fugas de agua, provocando erosión en el talud, causa del deslizamiento (ver Fig. 2).



Fig. 2. Talud adyacente al hospital Luis Moscoso Zambrano.

El Gobierno de la República del Ecuador, se encuentra construyendo un hospital básico a beneficio de los Piñas, Atahualpa, Portovelo y Zaruma. Actualmente el hospital Luis Moscoso Zambrano, ubicado en la base del talud del Cerro Pata Grande, se encuentra laborando con normalidad en la zona vulnerable y a la espera de un informe del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencia para que estas instalaciones funcionen como el nuevo Centro de Salud Urbano.

En este proyecto se presenta varias alternativas de solución a la problemática anteriormente mencionada, pero el análisis de las mismas nos llevará a la solución más factible, técnica y económica; la revisión bibliográfica, nos muestra el desglose de 3 alternativas, como son: estabilización de taludes con material reciclable (llantas), muro de contención y bermas. Para el estudio de estas alternativas se presenta el análisis de los factores necesarios que intervienen en la implementación y construcción de las mismas; así mismo, se lleva cabo el estudio geotécnico correspondiente para el análisis estático en el software Geo Slope, el cual requiere de los datos de cohesión, ángulo de fricción y peso específico del suelo, los cuales son determinados por medio del ensayo de compresión simple.

Materiales y Métodos

Alternativa 1: Estabilización de taludes con material reciclable (llantas).

En la actualidad los revestimientos de llantas constituyen desechos sólidos por lo que su reutilización resulta relevante y de bajo costo. Los revestimientos neumáticos se disponen traslapos formando un muro, uno encima de otro. La primera línea o línea de base se dispone y se amarra sobre una línea de postes horizontales que se entierran bajo la superficie (Barón & Sánchez, 2014). Los revestimientos se clavan con estacas a 0.6 metros y se rellenan con tierra compactada (véase en la Fig. 3 y Fig. 4) (Barón & Sánchez, 2014).

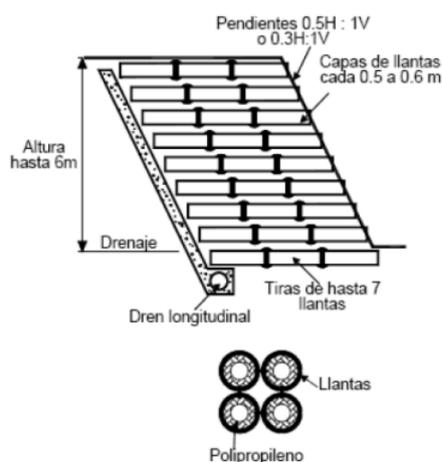


Fig. 3. Vista frontal talud con llantas.

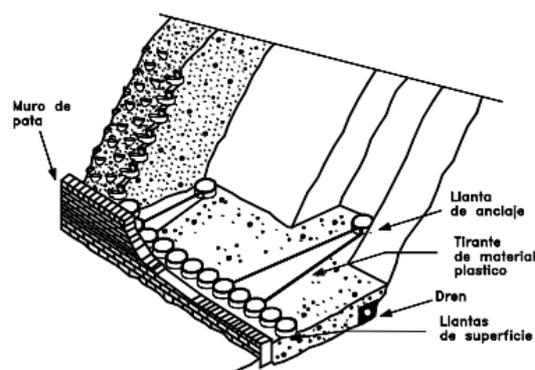


Fig. 4. Perspectiva talud con llantas.

Alternativa 2: Muros de contención

Son aquellos cuyo peso contrarresta el empuje del terreno. Dadas sus grandes dimensiones, prácticamente no sufre esfuerzos flectores, por lo que no suele armarse (Avelino, 2016).



Fig. 5. Muro de Contención de Hormigón Armado.

Alternativa 3: Bermas.

Las bermas se encuentran ubicadas entre un talud; el talud es la inclinación de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes. Dicha inclinación es la tangente del ángulo formado por el plano de la superficie del terreno y la línea teórica horizontal (Ministerio De Transportes Y Comunicaciones, 2018). Los taludes para las secciones en corte, variarán de acuerdo a las características geomecánicas del terreno; su altura, inclinación y otros detalles de diseño o tratamiento, se determinarán en función al estudio de mecánica de suelos o geológicos correspondientes, condiciones de drenaje superficial y subterráneo, según sea el caso (Ministerio De Transportes Y Comunicaciones, 2018). La Tabla 1, presenta los taludes a tomar como referencia en zonas de corte.

Tabla 1. Valores referenciales para taludes en corte. (Relación H: V).

Clasificación de materiales de corte	Roca fija	Roca Suelta	Material			
			Grava	Limo arcilloso o arcilla	Arenas	
Altura de corte	<5 m	1:10	1:6 – 1:4	1:1 – 1:3	1:1	2:1
	5–10 m	1:10	1:4 – 1:2	1:1	1:1	*
	>10 m	1:8	1:2	*	*	*

La determinación de estos taludes se plantea en base a la experiencia, así como en los costes y efectos de diferentes métodos de voladura, combinados con los costes extras de sobre excavación si los taludes definidos son más tendidos (España, 1987). Para cortes y terraplenes en carreteras se utilizan tablas similares a las que se presentan en la Tabla 2 y Tabla 3 (Suárez, 1998).

Tabla 2. Pendientes típicas para taludes en cortes.

Material	Propiedades	Altura del Corte	Pendiente sugerida
Roca dura			0.3H:1V a 0.8H:1V
Roca blanda			0.5H:1V a 1.2H:1V
Arena	Poco densa		1.5H:1V a 2H: 1V
Suelo arenoso	Denso	Menos de 5	0.8H:1V a 1H:1V
		5 a 10	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco denso	Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V
Mezcla de arena con grava o masas de roca	Densa	Menos de 10	0.8H:1V a 1H:1V
		10 a 15	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco densa	Menos de 10	1H:1V a 1.2H:1V
		10 a 15	1.2H:1V a 1.5H:1V
Suelos cohesivos		0 a 10	0.8H:1V a 1.2H:1V
Suelos cohesivos mezclados con masa de roca o bloques.		Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V

Tabla 3. Pendientes típicas para taludes en terraplenes.

Material	Altura	Pendiente Sugerida
Arena o grava de buena calidad SW, GM, GC, GW, GP	Menos de 5	1.5H:1V a 1.8H:1V
	5 a 15	1.8H:1V a 2H:1V
Arena de mala calidad SP	Menos de 10	1.8H:1V a 2H:1V
Material rocoso	Menos de 10	1.5H:1V a 1.8H:1V
	10 a 20	1.8H:1V a 2H:1V
Suelos arcillosos de buena calidad	Menos de 5	1.5H:1V a 1.8H:1V
	5 a 10	1.8H:1V a 2H:1V
Suelos arcillosos blandos	Menos de 5	1.8H:1V a 2H:1V

Análisis de alternativas.

Para la selección de la alternativa más aplicable a la zona de construcción, se evalúan la mayor cantidad de ítems y se consideran la mayor cantidad de factores que intervienen en el estudio, evaluación, diseño y construcción relacionados directamente con la zona donde se aplicará el método que se implementara los cuales se detallan en la

Tabla 4.

Tabla 4. Evaluación de alternativas.

ITEM	Alternativa 1: estabilización de taludes con material reciclable (llantas)	Alternativa 2: muros de contención	Alternativa 3: Bermas
Acceso a la zona a construir (uso de maquinarias y equipos).	1	1	5
Disposición de espacio para realizar el proceso constructivo.	1	1	5
Tiempo para realizar el proceso	3	2	5

constructivo.			
Ocupación de espacio para la ubicación de materiales y herramientas necesarias para el proceso constructivo.	2	1	4
Movilización cómoda y segura de los residentes de la zona de influencia.	2	1	4
Desplazamiento interno del personal laboral y personas que son atendidas en el hospital Luis Moscoso Zambrano.	2	1	3
Modificación de pendiente de la ladera.	1	1	4
Disponibilidad de los materiales y equipos en el entorno.	2	4	5
Conservar inalteradas las propiedades mecánicas del suelo no intervenido.	3	4	5
Vida útil y funcionalidad de la estructura implantada.	5	4	4
Brote de vegetación en la superficie del talud luego de concluir la solución implantada.	3	1	5
Intervención en el mantenimiento de la solución implantada.	4	2	4
Funcionalidad o alternabilidad con el medio ambiente.	4	2	5
Disposición de generar empleo a personas del entorno.	3	5	4
Disposición de una alternativa ecológica.	4	1	4
Dilatación a las condiciones ambientales y estructurales de la solución implanta.	4	1	3
Funcionalidad inmediata.	4	4	4
Adaptación a las condiciones geológicas.	1	1	5
Adaptación a las condiciones climáticas.	4	4	2
Costo de la construcción.	3	1	5
Adaptación al terreno topográfico.	1	1	2
Mimetización estética.	3	3	3
TOTAL	60	46	90

Para dar una cuantificación a cada ítem, dependiendo de la alternativa, se utilizan como rangos la siguiente escala de valores que se presenta en la Tabla 7:

Tabla 5. Escala de valores

1	Muy bajo
2	Bajo
3	Intermedio
4	Alto
5	Muy alto

Con los resultados obtenidos se realiza un gráfico de columnas dando como resultado:

Tabla 6. Resultados de evaluación de alternativas.

Alternativa 1: estabilización de taludes con material reciclable (llantas)	31%
Alternativa 2: muros de contención	23%
Alternativa 3: bermas	46%
Total	100%

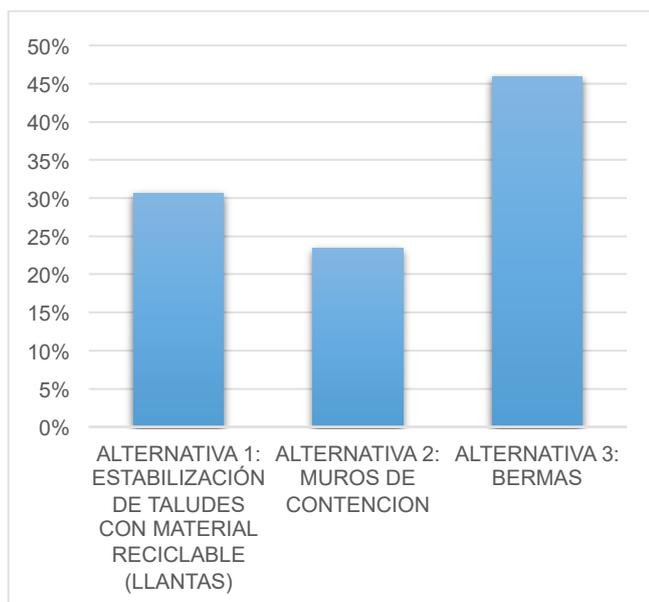


Fig. 6. Gráfico de resultados de evaluación de alternativas.

El colapso de este talud puede causar daños a la estructura del hospital y afectar a las personas que laboran y visitan las instalaciones de este nosocomio, por lo que se realiza el estudio necesario para obtener la cantidad de personas beneficiadas al año. Los movimientos en masa son reconocidos globalmente como un fenómeno causante de desastres naturales de suma importancia por sus efectos destructivos en la sociedad y el medio ambiente (Marín, y otros, 2018). Mediante la información dada por las personas que laboran en el hospital se logra cuantificar las personas que intervienen en el trayecto de un día, un mes y al año, ver Tabla 7.

Tabla 7. Intervención de personas que laboran y visitan el Hospital Luis Moscoso Zambrano.

	Cantidad de Personas en promedio al día.	Cantidad de Personas en el mes.	Cantidad de Personas en el año.
Visitas a Unidades de internamiento.	25	675	8100
Personal laboral en consulta externa y medios diagnósticos.	5	5	5
Pacientes ambulatorios a consulta externa y medios diagnósticos.	40	1080	12960
Personal laboral de urgencias a distintos medios de tratamiento.	5	5	5
Pacientes de urgencias a distintos medios de tratamiento.	10	270	3240
Personal laboral en Unidades Especiales de diagnóstico o de tratamiento.	5	5	5
Pacientes ingresados a Unidades Especiales de diagnóstico o de	10	310	3720

tratamiento.			
Personal laboral del Edificio central del distrito.	10	10	10
Visitas al Edificio central del distrito.	25	675	8100
	Total de Personas Beneficiadas		36145

Además de beneficiar a más de 26000 habitantes, con el 59,7% para el sector urbano y el 40,3% para el sector rural que hay en el cantón Piñas, datos obtenidos por el Censo de Población y Vivienda (INEC, 2010); beneficia a 36145 personas al año, incluyendo el retorno de las personas.

Concepción del prototipo.

El programa Geo-Slope necesita las secciones transversales del talud a analizar y para ello se realiza un levantamiento de la franja que corresponde a las afectaciones con respecto al hospital; para ello se traza el polígono que delimita la franja que será el objeto de estudio utilizando el programa Google Earth Pro (ver Fig. 7).

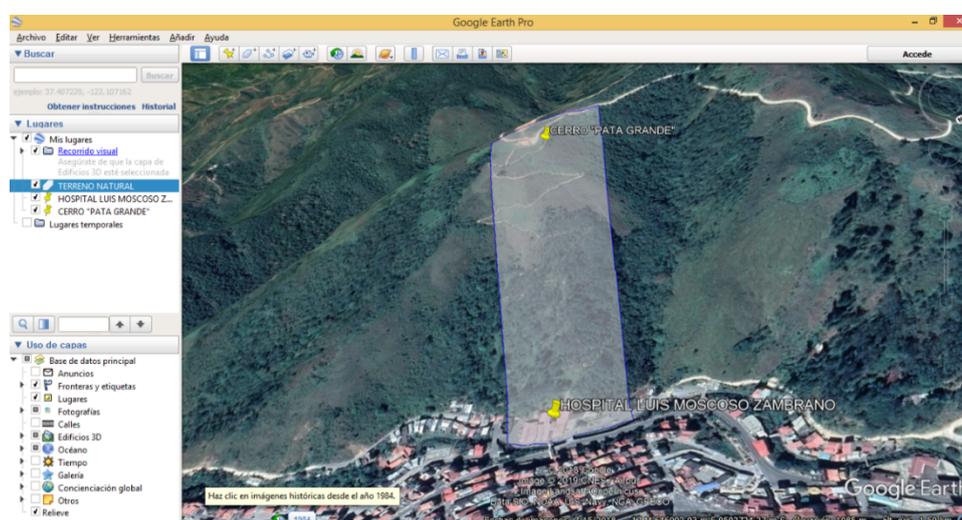


Fig. 7. Levantamiento del Cerro Pata Grande.

El CERRO Pata Grande se encuentra ubicado en el cantón Piñas, provincia de El Oro con coordenadas UTM: Coordenada Este: 645974.26 m E, Coordenada Norte: 9592356.13 m S. Para la obtención de las curvas de nivel de la zona que será objeto de estudio se utiliza el programa Global Mapper. En el trabajo de Rodríguez, Mora y Briñez (Rodríguez, Mora, & Briñez, 2016) se usó un ambiente SIG para crear cartografía temática de usos del suelo, utilizando programas especializados como AutoCAD 2010, Global Mapper, gvSIG 1.10 y ArcGis 1.10, con los cuales se procesaron imágenes tipo raster a partir de la digitalización de las fotos aéreas; lo cual, fue base para la obtención de las curvas de nivel en el presente proyecto, ver Fig. 8.

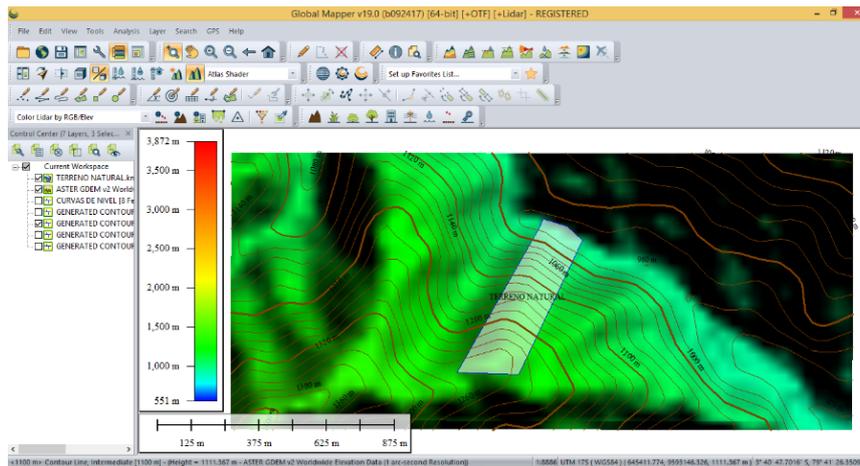


Fig. 8. Generación de curvas de nivel en Global Mapper.

Se realizó la exportación de estas curvas como formato DWG para importarlo en el Civil 3D y obtener el levantamiento como una superficie, ver Fig. 9 y Fig. 10, que se realizó a una escala 1:1000, con curvas de nivel principales a 50m y curvas secundarias a 5m, para una buena apreciación del talud presente en el área de estudio. El entendimiento de la influencia de la geomorfología en la estabilidad de taludes se ha desarrollado por medio de análisis cualitativos y cuantitativos (Orozco, Ramos, Escobar, & Garzón, 2017). El área de estudio corresponde a 606 metros de largo y 186 metros de ancho con una cota baja de 930 metros sobre el nivel del mar y con una cota máxima de 1420 metros sobre el nivel del mar.

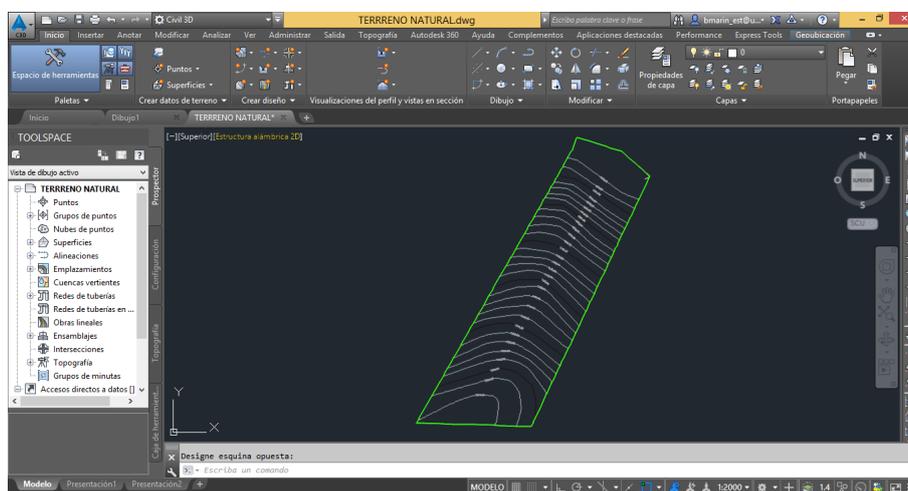


Fig. 9. Superficie del terreno natural realizado en Civil 3D.

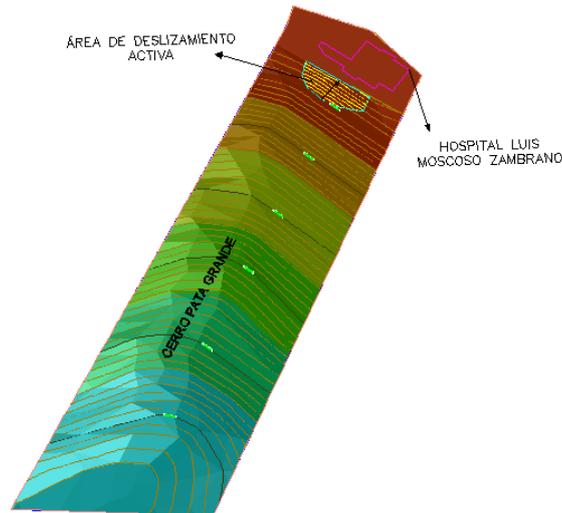


Fig. 10. Topografía del Proyecto (sin escala).

Se traza un alineamiento en la dirección corta de la superficie para obtener las transversales y dibujar los perfiles, con esto obtendremos las pendientes de cada transversal; este alineamiento tiene una longitud de 162 metros de largo, el cual será realizado cada 20 metros con el fin de obtener una cantidad considerable de perfiles, en este caso se obtienen 7 perfiles (ver Fig. 11).

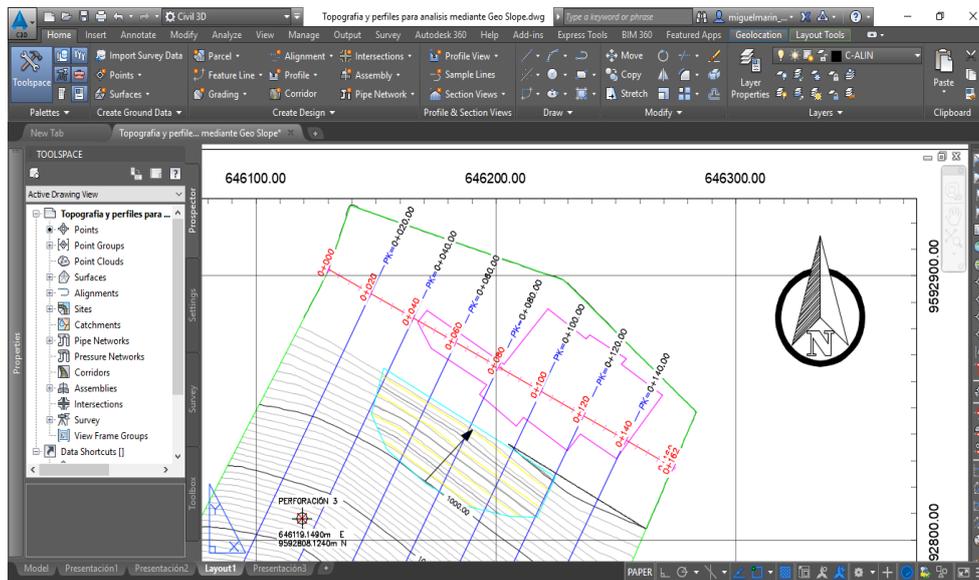


Fig. 11. Topografía y perfiles para análisis mediante Geo Slope.

Los 7 perfiles se trazaron con una escala 1:500 para el eje horizontal y vertical. Para importar estos perfiles al programa Geo-Slope es necesario tener licencia completa, pero en este proyecto se utilizará la versión estudiante, por lo que nos permite insertar el talud por medio de coordenadas, las cuales se tomarán de una pendiente trazada en el perfil, tal y como se presenta en la Fig. 12.

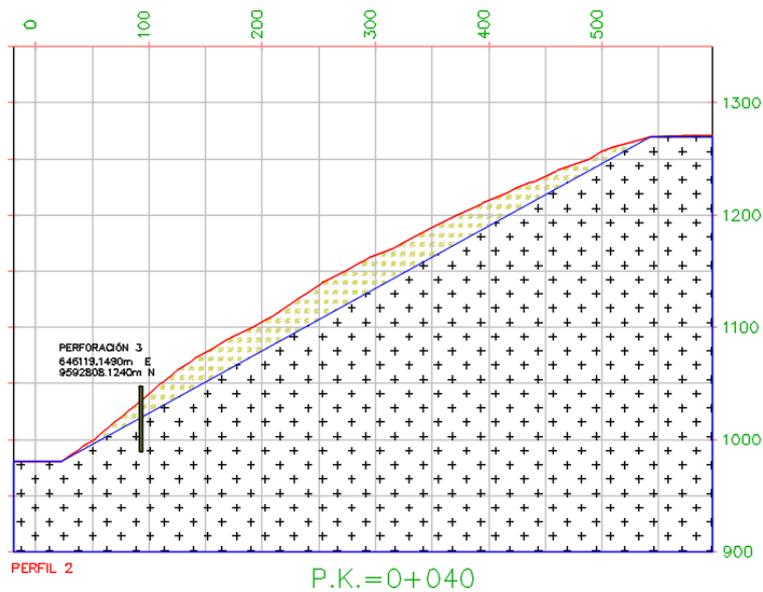


Fig. 12. Perfil Transversal 0+040.

Estudio de mecánica de suelos.

Las características geotécnicas que se requieren para el análisis de taludes por medio del programa Geo-Slope son el peso específico, la cohesión y el ángulo de fricción del suelo; en este caso se realizaron 3 perforaciones manuales. Los suelos son materiales naturales producto de procesos geológicos, ambientales, físicos y químicos; por lo tanto, la variabilidad en las propiedades del suelo se atribuye a dichos procesos y conducen a incertidumbres en los diseños de ingeniería (Molina, Ruge, & Camacho, 2018). El trabajo de campo se realizó con la posteadora manual, ver Fig. 13, para perforar hasta donde este tipo de suelo lo permita; y para la toma de muestras se utilizó el tubo SHELBY, ver Fig. 14, además de cierta cantidad del material para los ensayos de laboratorio; los instrumentos utilizados fueron proporcionados por la universidad.



Fig. 13. Posteadora manual.



Fig. 14. Tubo SHELBY.

Se comienza con la limpieza de la zona donde se va a llevar a cabo la perforación; luego con la posteadora manual se va realizando giros de 360° con el fin de que el instrumento vaya penetrando en el suelo (ver Fig. 15), vamos retirando el material y se prosigue con el mismo proceso hasta donde el suelo lo permita, en este caso se llegó a una profundidad de 1,40 metros como se observa en la Fig. 16.



Fig. 15. Perforación 1 realizada con posteadora manual.



Fig. 16. Profundidad de 1,40m en la Perforación 1.

Se procede con la toma de muestras, comenzando con el material necesario para los ensayos de laboratorio, ver Fig. 17, y luego se procede con la toma de muestra con el tubo SHELBY como se aprecia en la Fig. 18, cabe recalcar que para la toma de la muestra se realizó 100 golpes con el fin de que la muestra entregue condiciones óptimas para la realización del ensayo de laboratorio, que en este caso es Compresión Simple, la resistencia a compresión simple se usa como indicador de la consistencia de las arcillas, es adecuado su cálculo en suelos arcillosos mediante la prueba de compresión simple (Huaquisto, 2015).



Fig. 17. Toma de muestra para ensayos de laboratorio en la Perforación 1.



Fig. 18. Toma de muestra con el tubo SHELBY en Perforación 1

Estas muestras son llevadas al laboratorio y se realizan los ensayos correspondientes; iniciando con el ensayo de compresión simple, se procede extrayendo la muestra del tubo SHELBY, ver Fig. 19, se talla la muestra con una

altura correspondiente a una relación de 2 a 3 veces el diámetro y se la ubica en la máquina de compresión (ver Fig. 20) con el fin de obtener el valor de la carga máxima que soporta este tipo de suelo, la división entre de dos de la carga máxima que soporta el suelo corresponde a la cohesión, el peso específico del suelo en condiciones naturales se lo puede obtener por medio de la muestra moldeada con el peso y el volumen del mismo, el ángulo de fricción se obtiene trazando rectas con respecto a la diagonal de ruptura luego de que la muestra sea ensayada.



Fig. 19. Extracción de muestra del tubo SHELBY de la Perforación 1.



Fig. 20. Muestra de la Perforación 1 luego de ser ensayada.

Adicionalmente se realizó el tamizado de la muestra para realizar la granulometría y obtener la cantidad pasante por el tamiz N° 40 y por consiguiente realizar los ensayos correspondientes y obtener los límites de Atterberg para la clasificación de este suelo por medio del Ábaco de Casagrande (ver Fig. 21), teniendo como resultado un suelo de tipo ML que corresponde a limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos con alto grado de cohesión. Con lo referente a la cohesión del suelo, al hacer contacto con el agua, pierde rápidamente la cohesión, lo cual conduce a que la resistencia al corte solo dependa del ángulo de fricción (Echeverri, 2016).



Fig. 21. Muestra ensayada en el Ábaco de Casagrande.

Este procedimiento se procedió a realizarlo con las tres muestras de suelos recolectadas en el campo dando como resultado los datos mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de ensayo de compresión simple.

	Perforación 1	Perforación 2	Perforación 3
Cohesión	40 KPa	232 KPa	108 KPa
Angulo de fricción	79°	72°	66°
Peso específico	18,05 KN/m ³	16,81 KN/m ³	19,98 KN/m ³

Análisis de estabilidad.

En este proyecto se llevará a cabo el análisis de estabilidad con el uso del programa Geo-Slope, por medio del comportamiento estático, aplicando a los siete perfiles, los tres diferentes tipos de suelos que se determinaron en los estudios de suelos, el análisis de estabilidad tiene por finalidad determinar los factores de seguridad críticos para las condiciones más desfavorables de equilibrio y sus respectivas superficies de rotura; así como los desplazamientos y vectores de movimientos del terreno en la ladera objeto de estudio (Oliva & Gallardo, 2018). Se utilizará el método Ordinario de Fellenius, de Bishop, de Janbu, de Morgenstern y Price y de Spencer para una comparación de resultados. Se toma el perfil 1 (ver Fig. 22), donde se aprecia que la cota más baja es 980 metros sobre el nivel del mar y la cota máxima es de 1270 metros sobre el nivel del mar, con una pendiente de 53.37%.

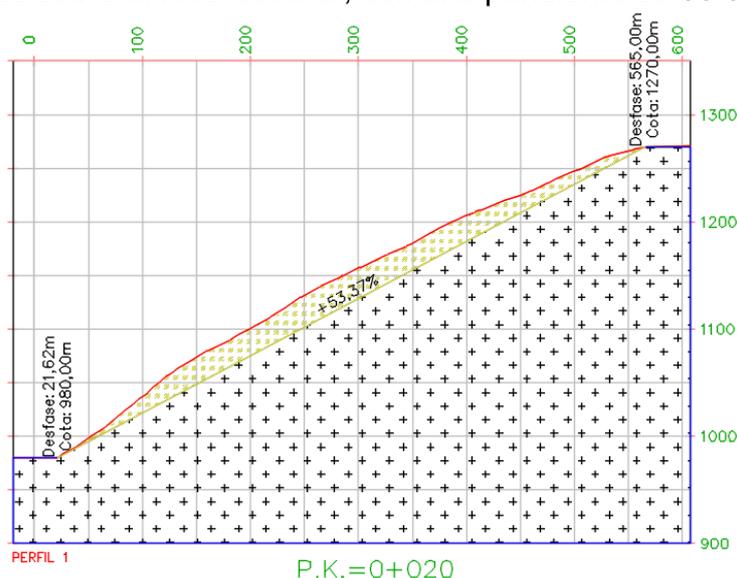


Fig. 22. Perfil transversal 1-ABSCISA 0+020.

Este perfil se lo debe trazar en el programa Geo Studio, dibujando por medio de coordenadas con los valores del eje vertical y horizontal que se presenta en el perfil transversal. Una vez con el programa abierto escogemos la opción SLOPE que corresponde a talud y creamos un nuevo proyecto añadiendo un análisis de estabilidad de talud por medio del método Equilibrio Límite asignando los nombres correspondientes; se empezará por el método Ordinario de Fellenius, especificando la dirección de la superficie de deslizamiento. Cerramos la introducción del análisis y proseguimos con la configuración de la hoja de trabajo aplicando las unidades correspondientes, en este caso el sistema métrico, y la escala apropiada para tener una mejor facilidad de trabajo en la interfaz, 1:3000; se dibuja los ejes vertical y

horizontal y se traza el perfil transversal. Se introduce el material correspondiente a los datos obtenidos y el Material Modelo será por el método MOHR-COULOMB.

El talud se encuentra expuesto a precipitaciones, por lo tanto trazamos una línea piezométrica en la superficie de la pendiente indicando al programa que el talud tiene presencia de aguas lluvias, las cuales son las principales causantes de los deslizamientos, los deslizamientos de tierra en laderas resultan no solo de una combinación de condiciones geológicas, hidrológicas y geomorfológicas, sino también de su modificación debido a procesos geodinámicos, la vegetación, uso del suelo, actividad humana, así como la frecuencia e intensidad de precipitación y sismicidad (Ruiz, Jaramillo, Gallardo, & Oliva, 2019). Se procede con introducir la superficie de falla, indicando al programa cuales son los posibles puntos de deslizamiento, como son al inicio y al final del talud. Una vez introducidas todas las condiciones que son necesarias para el análisis se procede con el corrido del programa, dando como resultado la Fig. 23 y la Tabla 9.

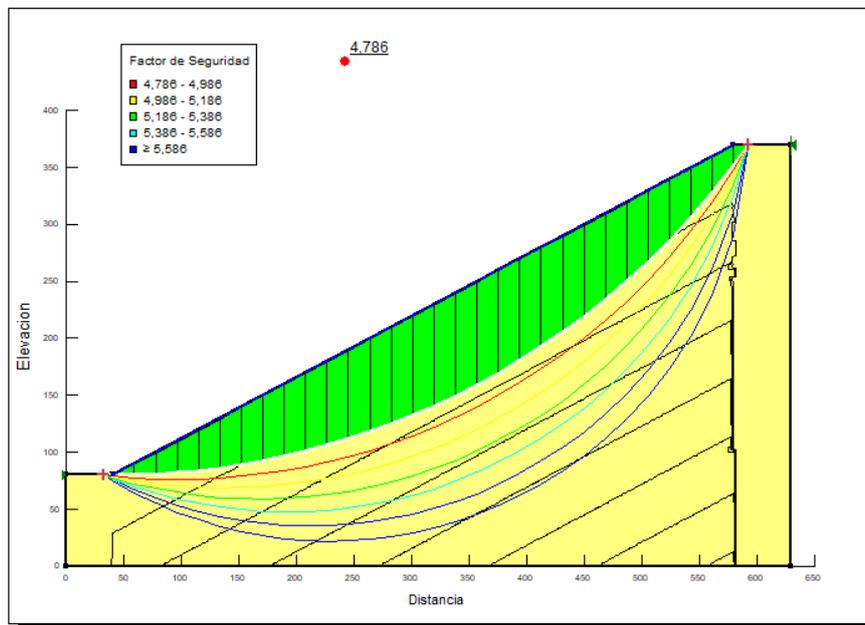


Fig. 23. Resultado de análisis en Geo-Slope-Perfil 1-Ordinario-Muestra1.

Tabla 9. Resultados del Factor de Seguridad con Geo Slope-Perfil 1-Ordinario-Muestra1.

Número de deslizamiento	F de S	Centro de X	Centro de Y	Radio
1	4,786	39,803	751,76	671,81
2	4,916	96,071	642,97	566,62
3	5,083	136,38	565,03	496,15
4	5,286	167,08	505,68	446,63
5	5,528	191,52	458,42	410,71
6	5,812	211,69	419,44	384,11
7	6,143	228,78	386,39	364,19

El programa presenta distintos valores de factor de seguridad a diferentes superficies de deslizamiento, el menor valor de factor de seguridad es presentado como el más crítico por el programa Geo Slope el cual será evaluado por las condiciones mínimas presentadas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción; en este caso el valor mínimo del factor de seguridad es de 4,786. De esta manera se realizó el análisis de los 7 perfiles trazados, aplicando los tres suelos con diferentes características geotécnicas por cada uno de los métodos de estabilidad de taludes: Ordinario de Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern y Price y Spencer.

Discusión de Resultados

El análisis estático de los perfiles trazados en la zona vulnerable presentan los valores de factor de seguridad mostrados en la Tabla 10, los cuales son mayores a 1,50 que está establecido por las Normas Ecuatorianas de la Construcción en su capítulo Geotecnia y Cimentaciones del 2015 (ver

Tabla 11), lo que indica que para las pendientes encontradas en este talud, con el material encontrado a una profundidad de 1,40 m, se encuentran estables.

Tabla 10. Valores del factor de seguridad.

		Método ordinario o de Fellenius	Método de Bishop	Método de Janbu	Método de Spencer	Método de Morgenstern y Price
Perfil 1	Material de Perforación 1	4,786	3,755	3,398	4,034	4,028
	Material de Perforación 2	3,165	2,473	2,252	2,622	2,616
	Material de Perforación 3	2,518	2,128	1,953	2,207	2,205
Perfil 2	Material de Perforación 1	4,79	3,919	3,415	4,297	4,287
	Material de Perforación 2	3,091	2,49	2,185	2,703	2,693
	Material de Perforación 3	2,493	2,174	1,927	2,283	2,281
Perfil 3	Material de Perforación 1	4,565	3,576	3,097	3,979	3,968
	Material de Perforación 2	3	2,323	2,031	2,544	2,533
	Material de Perforación 3	2,397	2,025	1,792	2,139	2,138
Perfil 4	Material de Perforación 1	4,428	3,379	2,914	3,801	3,786
	Material de Perforación 2	2,928	2,211	1,927	2,439	2,427
	Material de Perforación 3	2,331	1,933	1,707	2,051	2,049

Perfil 5	Material de Perforación 1	4,443	3,407	2,938	3,829	3,813
	Material de Perforación 2	2,925	2,215	1,93	2,445	2,432
	Material de Perforación 3	2,334	1,942	1,714	2,061	2,058
Perfil 6	Material de Perforación 1	4,557	3,937	3,097	4,609	4,574
	Material de Perforación 2	2,904	2,431	1,922	2,824	2,797
	Material de Perforación 3	2,361	2,151	1,731	2,351	2,346
Perfil 7	Material de Perforación 1	4,25	3,115	2,67	3,563	3,547
	Material de Perforación 2	2,862	2,091	1,817	2,326	2,314
	Material de Perforación 3	2,255	1,82	1,605	1,944	1,941

Tabla 11. Factores de seguridad indirectos mínimos.

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Pseudo Estático
Deslizamiento	1,60	1,60	Diseño	1,05
Volcamiento: el que resulte más crítico de:				
Momento Resistente/Momento Actuante	$\geq 3,00$	$\geq 3,00$	Diseño	$\geq 2,00$
Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	$\leq 1/6$	$\leq 1/6$	Diseño	$\leq 1/4$
Estabilidad general del sistema:				
Permanente o de Larga duración (> 6 meses)	1,20	1,50	Diseño	1,05
Temporal o de Corta duración (< 6 meses)	1,20	1,50	50% de Diseño	1,00

Alternativa aplicada al proyecto.

Luego de concluidos los análisis de alternativas y el análisis de estabilidad de taludes estático por medio del programa Geo-Slope, se ratifica analíticamente que los perfiles se encuentran en condiciones estables, por ende, el talud presenta erosión, provocada por las fuertes precipitaciones que ocurren en la parte alta de la provincia de El Oro. La erosión del suelo es un fenómeno natural; sin embargo, cuando se acelera, causa pérdidas sociales, ambientales y económicas (Sampaio, y otros, 2016). Para prevenir la erosión, los métodos más factibles, técnicos y económicos son la aplicación de Bermas, capas de vegetación y los sistemas de drenaje superficial; los cuales se aplicarán en este proyecto, el escurrimiento superficial en terrenos susceptibles sin asociación con el drenaje adecuado causa erosión del suelo (Sampaio, Silvestre, Bressiani, & Martins, 2017).

Para la implementación de la técnica TALUD-BERMA-TALUD, en el programa Civil 3D, se traza un alineamiento, el cual se perfila en la parte baja del talud; mediante este alineamiento se traza las transversales cada 20 metros para obtener el perfil del talud vulnerable donde se aplicará la técnica ya antes mencionada. Los problemas de inestabilidad de laderas es común que se conjuguen varios factores o circunstancias que dan origen a un comportamiento crítico, por lo que es muy probable que se requiera también una combinación de procesos constructivos para atender el problema y evitar una condición de riesgo (Gámez, Pertuz, Daza, Tapia, & Rojas, 2017).

Mediante los resultados obtenidos en los estudios de suelos, se utiliza la Tabla 2 para dar la apropiada pendiente al talud; en los laboratorios se alcanzó un grado alto de cohesión en este tipo de suelo, por lo tanto la Tabla 2 del Departamento de Carreteras del Japón propone una pendiente de 0.8H:1V a 1.2H:1V para suelos cohesivos, para este proyecto se utilizara la mayor inclinación que será de 0.8H:1V con un alto de 4 m, una berma de 3 m con una pendiente del 2% para asegurar que no se produzcan estancamientos de aguas lluvias. Para el diseño en el programa Civil 3D se necesita como base el esquema de una vía, por lo que se implementa una vía básica de 3 m con bordillos de 0,70 m en cada lado (ver Fig. 24).

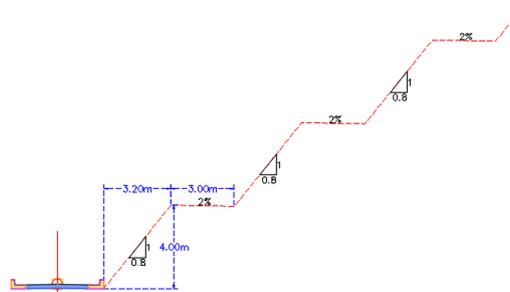


Fig. 24. Perfil Talud-Berma-Talud.

Este ensamble se aplicó como corredor en el programa Civil, dando como resultado el trazado del perfil de corte, tal y como se muestra en la Fig. 25. La abscisa 0+080 corresponde al perfil 7 con una cota rasante de 977,93 metros; este perfil transversal presenta un corte de terreno de un área de 37,84 m², un volumen de corte de 378,45 m³ y un volumen acumulado de 2110,59 m³, lo cual es una gran cantidad de desmonte de material por lo que es apreciable el talud propuesto.

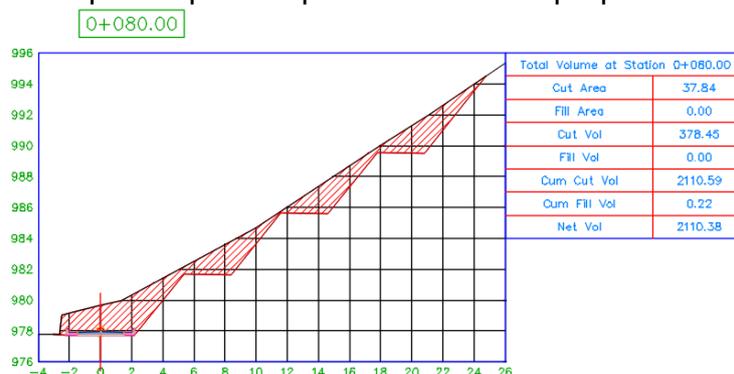


Fig. 25. Trazado de Perfil Talud-Berma-Talud.

Sistema de drenaje superficial.

Esta alternativa adicional se analizó con el fin de reducir la fuerza hidrostática que corresponde a la presencia de las fuertes precipitaciones que ocurren en la parte alta de la provincia de El Oro y así optimizar el factor de seguridad; al mejorar el factor de seguridad se reduce la presión de poros y aumenta la resistencia al corte de este suelo. Para obtener el caudal de diseño del drenaje es necesario determinar las características meteorológicas de la zona objeto de estudio.

El uso de programas SIG, revela la ventaja de simular los caudales en cuencas poco instrumentadas, además de utilizar estos datos en su escala espacial original sobre los modelos hidrológicos distribuidos (Balcázar, Bâ, Díaz, Quentin, & Minga, 2019); por ende se recurre a los datos pluviométricos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ministerio de Energía y Minas de la República del Ecuador, (INAMHI, 2015), datos que son enviados desde estaciones meteorológicas ubicados en todo el país, para la zona de estudio se requieren los datos de la estación M773.

Se hizo uso del método racional considerando tiempo de concentración, intensidades máximas, coeficiente de escorrentía y el área de aportación, datos requeridos para la formula general, ver ecuación 1, del método a aplicar (ver Tabla 12).

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} \quad (1)$$

Tabla 12. Datos requeridos por el método racional.

Área (ha)	1,23
Cota Mayor (m)	1070,00
Cota Menor (m)	990,34
Longitud del Cauce (m)	128,97
Pendiente (m/m)	0,6176630
Pendiente del Terreno	PRONUNCIADA
Cobertura Vegetal	BOSQUES, VEGETACIÓN DENSA
Tipo de Suelo	SEMIPERMEABLE
Coeficiente de Escorrentía	0,45
Tc (horas)	0,02

Luego de la obtención del tiempo de concentración se procede a calcular las intensidades de lluvia para diferentes periodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100), los cuales se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de intensidades de lluvia para diferentes periodos de retorno.

Tc (min)	Id(mm/h)					
	Id2	Id5	Id10	Id25	Id50	Id100
0,99	177,38	186,49	190,47	194,25	196,50	198,46

Con la fórmula del método racional, mostrada en la ecuación 1, se procede a obtener el valor del caudal para cada periodo de retorno, los valores se muestran en la Tabla 14. Se considera un periodo de retorno, dependiendo de la importancia de la vía y el fallo de drenaje debido a una acrecentada producida por la intensidad de la lluvia (Oyola, 2019).

Tabla 14. Valores de caudal máximo para cada periodo de retorno.

Q(m ³ /seg)					
T5	T5	T10	T25	T50	T100
0,27	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31

Con estos valores iniciales se procedió al cálculo de la cuneta de coronación considerando un canal de sección constante y trapezoidal por el que se debe pasar un caudal máximo (ver Fig. 26). Con estas dimensiones se planteó un nuevo corredor en Civil 3D para la obtención del volumen de corte (ver Fig. 27).

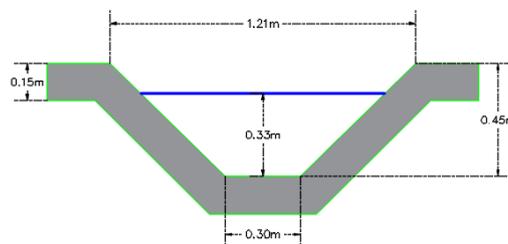


Fig. 26. Diseño de cuneta de coronación.

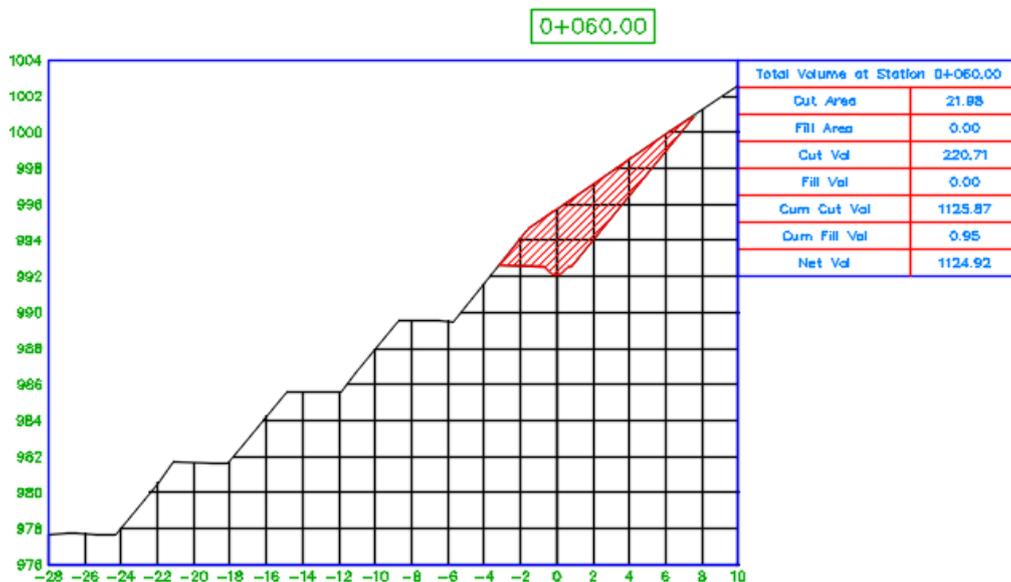


Fig. 27. Perfil de corte de cuneta de coronación.

Presupuesto.

La inversión planteada en este proyecto se acopla a las actividades a realizar para obtener el resultado deseado, por ello, se detalla cada rubro a ejecutar. Los costos unitarios de mano de obra, equipo y materiales se toman de la página de Contraloría

General del Estado Ecuador en su sección Reajuste de Precios y Salarios Mínimos Por Ley del presente año.

Tabla 15. Presupuesto y cantidad de obra.

N°	Rubros	U	Cantidad	Precio Unitario	Total	Porcentaje
1	Estudio de suelos	m	4,50	\$ 289,25	\$ 1.301,63	3,48%
2	Limpieza y desbroce	m ²	3.541,13	\$ 0,13	\$ 455,94	1,22%
3	Replanteo y nivelación	m ²	3.541,13	\$ 1,84	\$ 6.515,68	17,41%
4	Excavación y desalojo con maquinaria	m ³	4.744,53	\$ 3,63	\$ 17.222,63	46,02%
5	Excavación de zanja a mano	m ³	49,82	\$ 9,01	\$ 448,91	1,20%
6	Compactación	m ²	53,56	\$ 2,05	\$ 109,80	0,29%
7	Hormigón simple	m ³	38,61	\$ 93,44	\$ 3.608,05	9,64%
8	Protección de talud (Hidrosiembra)	m ²	2.495,25	\$ 3,11	\$ 7.760,23	20,74%
Total Presupuesto					\$ 37.422,87	100,00%

Conclusiones

Mediante la revisión bibliográfica en libros, tesis, revistas y artículos científicos sobre la problemática presentada se profundizó tres alternativas de estabilidad de taludes, como son: estabilización de taludes con material reciclable (llantas), muro de contención y bermas. El análisis de alternativas donde se consideró la mayor cantidad de factores que intervienen en el estudio, dio como resultado la última alternativa, que corresponde a la construcción de Bermas, ya que su metodología constructiva es viable para la implementación en las condiciones actuales en las que se encuentra la zona, su gasto es relativamente económico con respecto a las demás alternativas.

Se realizó la visita al Cerro de Pata Grande y al Hospital Básico Luis Moscoso Zambrano y se elaboró los ensayos de suelos correspondientes; para el ensayo de compresión simple en la muestra 1 se obtuvo una cohesión de 40 KPa, un ángulo de fricción de 79° y un peso específico de 18,05 KN/m³, en esta misma muestra para el ensayo de la obtención de los límites de Atterberg se obtuvo un límite líquido de 33,48%, un límite plástico de 29,59% y un índice de plasticidad de 3,89, logrando clasificar al suelo por medio del Ábaco de Casagrande como ML que corresponde a limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.

Para el ensayo de compresión simple en la muestra dos se obtuvo una cohesión de 232 KPa, un ángulo de fricción de 72° y un peso específico de 16,81 KN/m³, en esta misma muestra para el ensayo de la obtención de los límites de Atterberg se obtuvo un límite líquido de 34,47%, un límite plástico de 28,45% y un índice de plasticidad de 6,03, logrando clasificar al suelo por medio del Ábaco de Casagrande como ML que corresponde a limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.

Para el ensayo de compresión simple en la muestra tres se obtuvo una cohesión de 108 KPa, un ángulo de fricción de 66° y un peso específico de $19,98 \text{ KN/m}^3$, en esta misma muestra para el ensayo de la obtención de los límites de Atterberg se obtuvo un límite líquido de 27,81%, un límite plástico de 22,15% y un índice de plasticidad de 5,66, logrando clasificar al suelo por medio del Ábaco de Casagrande como ML que corresponde a limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos, estas variaciones geotécnicas se presenta debido a que en la zona inferior del talud se encuentra con mayor vegetación, por consiguiente, el suelo es más compacto a diferencia del suelo que se encuentra en la parte superior que contiene menor compactación.

De acuerdo a los estudios realizados se concluyó que es un talud estable y que la alternativa más factible es la construcción de bermas, por ende el problema presentado en esta zona es la erosión producida por las fuertes precipitaciones de la parte alta de El Oro; para la construcción de bermas se requiere del talud de diseño el cual se estableció por la Tabla 2 que propone una pendiente de 0.8H:1V a 1.2H:1V para suelos cohesivos, para este proyecto se utilizó la mayor inclinación que es de 0.8H:1V con un alto de 4 m y una berma de 3 m con una pendiente del 2% para asegurar que no se produzcan estancamientos de aguas lluvias. Las bermas requieren una protección adicional por lo que se implementó un rubro de hidrosiembra sobre la superficie de las bermas ya construidas con semillas de vetiver y la construcción de una cuneta de coronación en la parte alta de las bermas la cual cumplirá la función de protección de las escorrentías superficiales.

Referencias Bibliográficas

- Avelino, R. (2016). *Análisis y diseño estructural de un muro de contención de hormigón armado en cerramiento perimetral, lado oeste del hospital de monte Sinaí*. TESIS, UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS, Guayaquil.
- Balcázar, L., Bâ, K., Díaz, C., Quentin, E., & Minga, S. (2019). Modelado de caudales diarios en una cuenca del sur del Ecuador con precipitación y temperatura estimadas por satélite. *Agrociencia*, 53(4), 465-486.
- Barón, J., & Sánchez, L. (2014). *Viabilidad de muros de llantas para la estabilización de taludes en el barrio la capilla – soacha cundinamarca*. TESIS, UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA, FACULTAD DE INGENIERIA, Bogotá.
- Echeverri, Ó. (2016). Caracterización geotécnica de los limos de la terraza del municipio de Olaya, Antioquia, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*(39), 49-56.
- España, I. G. (1987). *Manual de taludes*. MANUAL, España.
- Gámez, D., Pertuz, B., Daza, J., Tapia, L., & Rojas, E. (2017). Caracterización geotécnica y vulnerabilidad por movimientos en masas entre la vereda de Puente Quemao y el corregimiento de San Francisco de Asís, en El Copey, Cesar. *Ingeniare*(22), 37-57.
- Huaquisto, S. (2015). Efecto del aceite residual de vehículos motorizados en los factores físicos mecánicos del suelo arcilloso. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17(2), 207-214.
- INAMHI. (2015). *Estudio de lluvias intensas*. Ecuador.
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Ecuador.
- Marín, R., Guzmán, J., Martínez, H., García, E., Cadavid, J., & Agudelo, P. (2018). Evaluación del riesgo de deslizamientos superficiales para proyectos de infraestructura: caso de análisis en vereda El Cabuyal. *Ingeniería y Ciencia*, 14(27), 153–177.
- Ministerio De Transportes Y Comunicaciones. (2018). *Manual De Carreteras: Diseño Geométrico DG – 2018*. Peru.
- Molina, F., Ruge, J., & Camacho, J. (2018). Variabilidad espacial un suelo arcilloso del sector Sabana Centro para la confiabilidad de asentamientos por consolidación primaria: caso de estudio Campus Nueva Granada. *Ingeniería y Ciencia*, 14(27), 179-206.
- Oliva, A., & Gallardo, R. (2018). Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México. *Tecnura*, 22(55), 34-50.
- Orozco, S., Ramos, A., Escobar, J., & Garzón, A. (2017). Análisis cuantitativo en la influencia de la geomorfología en la estabilidad de taludes. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 13-28.
- Oyola, E. (2019). Metodología para el cálculo de drenajes transversales tipo alcantarilla en proyectos viales. *Repositorio Institucional Universidad de Cuenca*, 57. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31740>

- Rodríguez, P., Mora, J., & Briñez, Á. (2016). Cambios en el paisaje inducidos por dinámicas socioeconómicas: un estudio de caso cartográfico en una microcuenca del norte del Tolima (1955 a 2010). *Luna Azul*, 2(42), 3-14.
- Ruiz, A., Jaramillo, H., Gallardo, R., & Oliva, A. (2019). Landslide risk assessment in slopes and hillsides. Methodology and application in a real case. *Revista Dyna*, 86(208), 143-152.
- Sampaio, L., Pires, M., Cassaro, R., Silvestre, V., Pejon, O., Sígolo, J., & Ferreira, V. (2016). Gully erosion, land uses, water and soil dynamics: A case study of Nazareno (Minas Gerais, Brazil). *Revista Dyna*, 83(199), 198-206.
- Sampaio, L., Silvestre, V., Bressiani, D., & Martins, R. (2017). Simulación hidrológica e hidráulica para el diseño de macrodrenaje para la gestión y recuperación de cárcavas. *Revista Dyna*, 84(202), 129-136.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos. Tomo II: Técnicas de Remediación*. Bucaramanga.