



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FINAL DE GRADO

Estabilización de talud en la vía Cahuají- Pillate-Cotaló empate (Ambato-Baños) en el tramo entre los PKs 3+900 a 4+180 (Pichincha, Ecuador)

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Escuela Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos

Valencia, Junio 2016

Curso Académico: 2015-2016

Autor: Sergio Araújo Ortega

Tutor: Francisco Javier Torrijo Echarri

Cotutor: Rafael Cortés Gimeno

*Estabilización de talud en la vía Cahujá-Pillate-Cotaló
empate (Ambato-Baños) en el tramo entre los
PKs 3+900 a 4+180 (Pichincha, Ecuador)*



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

*Estabilización de talud en la vía Cahujá-Pillate-Cotaló
empate (Ambato-Baños) en el tramo entre los
PKs 3+900 a 4+180 (Pichincha, Ecuador)*



MEMORIA

ÍNDICE:

1.- Objeto del proyecto.....	6
2.- Antecedentes.....	7
3.- Descripción y justificación del proyecto.....	8
3.1.- Cartografía y topografía.....	8
3.2.- Climatología, hidrología y drenaje.....	10
3.3.- Geología, características geotécnicas.....	12
3.4.- Caracterización del talud.....	22
4.- Estudio de estabilidad de taludes, sin medidas correctoras.....	23
5.- Estudio de estabilidad de taludes, con medidas correctoras.....	31
6.- Organización y dimensionamiento de las obras.....	37
7.- Estudio de impacto ambiental.....	42
8.- Conclusiones.....	54
9.- ANEJOS	
ANEJO I RESULTADOS SLIDE	
ANEJO II RESULTADOS ROCFALL	
ANEJO III CÁLCULO MURO	

1.-OBJETO DEL PROYECTO

1.1.-Introducción:

El proyecto que nos ocupa trata sobre los problemas de estabilidad que presenta un talud en la carretera que une Riobamba y Baños, la cual bordea el flanco derecho del valle del río Chambo, que debido a los flujos volcánicos procedentes del volcán Tungurahua ha causado problemas sobre la vía.

Tras estos hechos se pretenden mitigar estos problemas con la mejor solución posible.

1.2.-Objetivos:

Determinar el comportamiento en las condiciones actuales del talud, zonas críticas, identificar donde pueden producirse movimientos dinámicos, principalmente deslizamiento y erosión, en las abscisas 3900-4180 y estabilizar el mismo con la solución más eficiente.

2.-ANTECEDENTES:

A causa de la actividad volcánica en el Tungurahua, la vía Cahuají – Pillate – Cotaló (Ambato-Baños) se ha visto afectada por una serie de flujos emanados por el volcán, en algunas zonas ha llegado a desaparecer bajo los mismos.

Por lo cual nos disponemos a solventar estos problemas de inestabilidad, para asegurar unas buenas condiciones de seguridad a los usuarios de la carretera.

3.-DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

3.1.-Cartografía y topografía.

3.1.1.-Situación geográfica.

El presente estudio se encuentra ubicado en la provincia del Chimborazo y Tungurahua, localizado en el flanco izquierdo del valle del río Chambo, el total de la vía inicia en el sector denominado Cahuají y empata a la carretera Ambato – Baños en el punto conocido con el nombre de El Chaupi. Realizaremos el estudio entre las abcisas 3+900 hasta 4+290:

ABSCISA 3+900 -----> N9835480 E776216

ABSCISA 4+290 -----> N9835696 E776160



Figura 1: Mapa general (Fuentes propias)

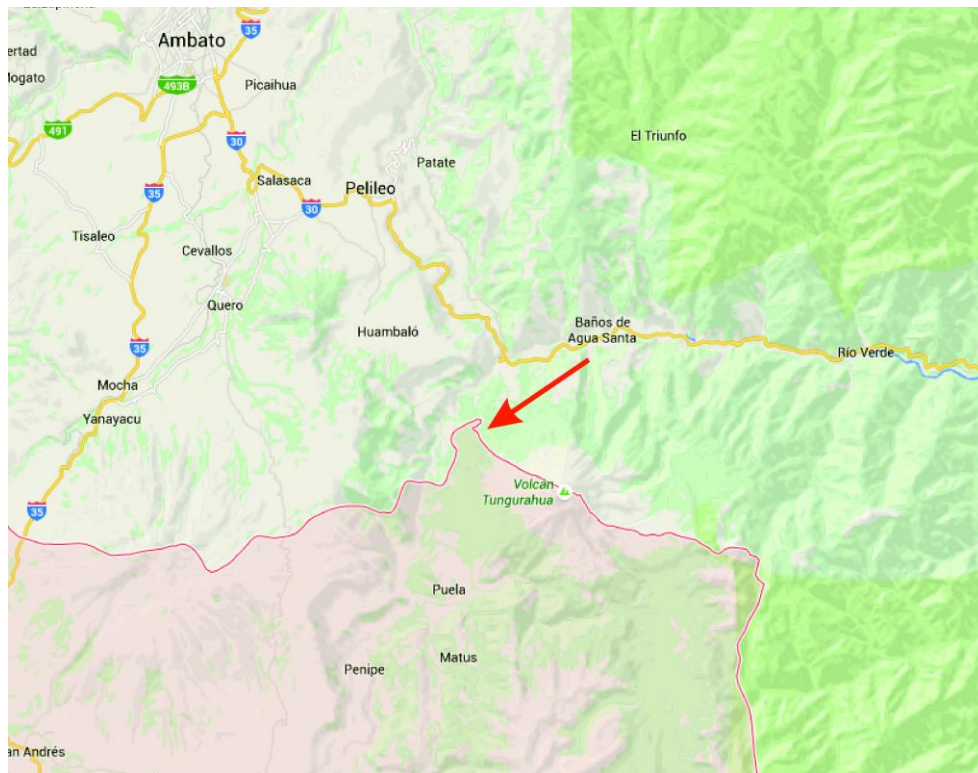


Figura 2: Ubicación (Fuente: Google Maps)

3.2.- Climatología, hidrología y drenaje.

El clima en la zona es templado, debido a que se ubica en un estrecho valle andino con temperaturas entre los 10 y los 25 °C, siendo la temperatura promedio de 15 °C. Existen zonas dentro de esta región con clima abrigado, otras más frías y pequeñas zonas con microclima propio.

Principalmente es una zona seca, concentrándose las lluvias principalmente entre septiembre y diciembre.

La hidrología de la zona de estudio viene dada básicamente por su sistema principal de drenaje correspondiente a una parte de las cuencas hidrográficas del río Chambo (Figura 3) y Patate, a los cuales confluyen drenajes menores en la zona.



Figura 3: río Chambo (Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/17764871>)

3.3.- Geología, características geotécnicas.

Las características más significativa es la existencia del volcán Tungurahua (Figura 4) en las proximidades, el cual ha aportado todo tipo de depósitos creando la geología típica de esta zona.



Figura 4: Volcán Tungurahua (Fuente: Google)

El Tungurahua es un volcán actualmente activo, y que recientemente ha registrado erupciones, localizado en la cordillera oriental de Ecuador. Normalmente cubierto de nieve y glaciares tiene sobre sus laderas, en la prolongación de las lenguas actuales, bellos valles glaciares (Figura 5). En su mayoría son herencias del retroceso de los glaciares cuspidados actuales durante los últimos siglos.



Figura 5: Tungurahua cubierto de nieve

Fuente: <http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101431586/-1/Volc%C3%A1n%20Tungurahua%20se%20mostr%C3%B3%20hoy%20cubierto%20de%20nieve.html#.VtgMWPnhCM8>

Situación del volcán **Tungurahua**:

Latitud Sur: 1°28', Longitud Oeste: 78° 27'

Altitud: 5.016 m

Desnivel relativo: alrededor de 3.000 m

El Tungurahua es un joven estrato-volcán constituido por un gran cono, de forma casi simétrica y con laderas escarpadas y rectilíneas cercanas al perfil de equilibrio, de 30 a 35°. Se localiza en el seno de la cordillera oriental en donde rebasa directamente el sustrato metamórfico, en la proximidad de la confluencia de los ríos Patate y Chambo, dominando la ciudad de Baños de alrededor 3.000 m.

La huella glaciaria no es visible más que en la parte superior del cono. La altitud más baja (5.016 m) del Tungurahua explica la existencia de un manto glaciario menos importante y menos extenso, a pesar de su posición en la garganta del Río Pastaza, lugar privilegiado de entrada del aire húmedo amazónico. Por otra parte, su vertiente occidental es en parte posterior al máximo glaciario.

Se trata de un cono históricamente muy activo (Figura 6), cuyas laderas muestran una zonificación notable:

- Testigos de la construcción de un volcán más antiguo con algunos restos de sus flancos bajo la forma de pequeñas "planèzes" triangulares inclinadas hacia el Norte, aparecen al Sur de Baños.
- Sus flancos orientales y meridionales son recortados por las profundas entalladuras de los glaciares cuaternarios y escurrimientos hídricos; algunas están ocupadas por derrames recientes. Esos paisajes pasan sin transición a los modelados glaciares que se extienden ampliamente en el flanco Sureste del edificio actual, donde se terminan mediante un abrupto de forma curva (una "Somma") que culmina hacia 4.300 m y que representa la línea de cresta del antiguo edificio.
- Su mitad occidental, esta por el contrario constituida por flancos rectilíneos, con pendiente fuerte y poco entallados, que descienden hasta el valle del río Chambo. Se trata en efecto de la última fase del volcán, representada por un cono reciente, encajonado en la parte noroccidental del volcán antiguo. Es evidentemente de modelado más reciente, ya que tiene muy pocas huellas de erosión glaciaria. Recubiertos por espesos depósitos de materiales piroclásticos finos (lapilli y cenizas), esos flancos son recorridos por pequeñas entalladuras radiales poco profundas, debidas a escurrimientos hídricos de superficie.

Los materiales emitidos, homogéneos en su conjunto, se componen principalmente de grandes cantidades de proyecciones piroclásticas asociando escorias, piedras pómez, lapilli y cenizas, y de depósitos peleanos (nubes ardientes) asociados con corrientes de lava y lahares. Las lavas más antiguas son andesitas porfíricas con fenocristales de plagioclasa, hornblenda, augita (diopsídica), hipersteno y olivino (DGGM, mapa geológico a 1:100.000 de Baños, 1980).

El Tungurahua presenta una gran actividad histórica. Así, desde 1850 por lo menos una decena de períodos de actividad se sucedieron. La mayoría de las últimas manifestaciones son de tipo

explosivo, vulcano-peleano, con fuertes explosiones y proyecciones de grandes cantidades de piroclastitas, emisiones de nubes ardientes, y en segundo lugar derrames de lava y lahares.

Actualmente está totalmente activo y con períodos de erupción, por lo que será un aspecto muy a tener en cuenta en el trabajo que nos ocupa ya que constituye un gran peligro potencial, sobre los flancos occidentales, recientes del volcán actual.



Figura 6: Tungurahua en erupción. (Fuente Google, Carlos Campana)

La zona viene determinada por las fallas del cuaternario, la Candelaria y la Patate.

La zona de estudio está formada principalmente por coluviones, relieves colinados y montañosos. Dichos coluviones han sido constituidos por deslizamientos en la zona (Figura 7), en los flancos de las laderas principalmente, hacia la margen izquierda del Río Chambo, formando depósitos heterogéneos con bloques angulares a subangulares en una matriz arenosa.

Los relieves colinados están formados por depósitos volcánicos procedentes del volcán Tungurahua con intensidad de drenajes baja.

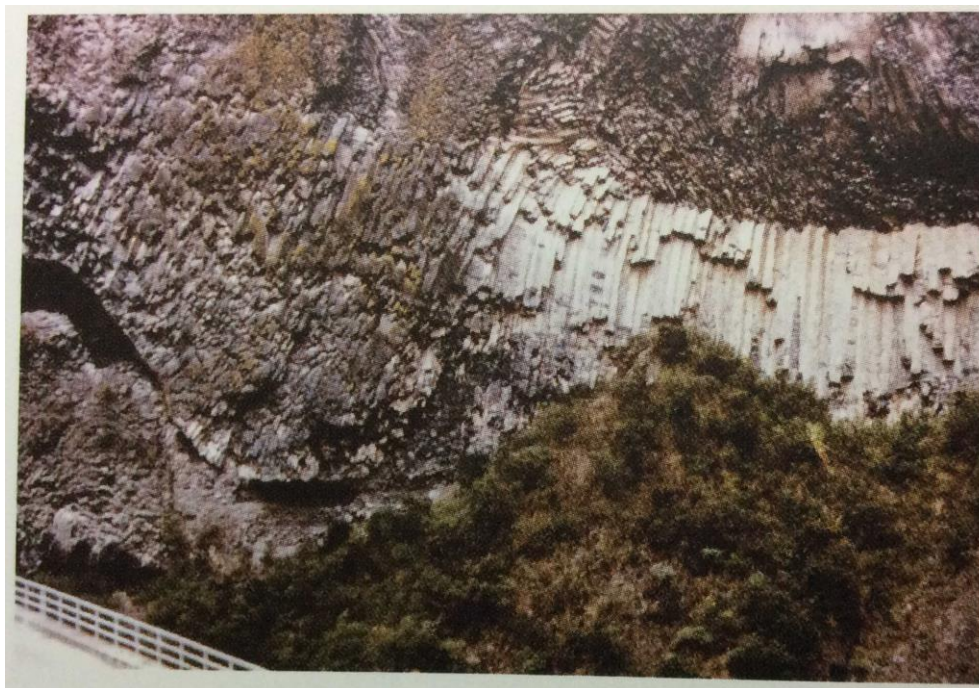


Figura 7: Columnas basálticas (Fuente: Geology of Ecuador)

Los Relieves Montañosos se encuentran expuestos a lo largo de la zona de estudio, se caracterizan por presentar cimas de crestas agudas (Figura 8) y laderas moderadas, abruptas y con pendientes entre 40° y 60° de inclinación aproximadamente.

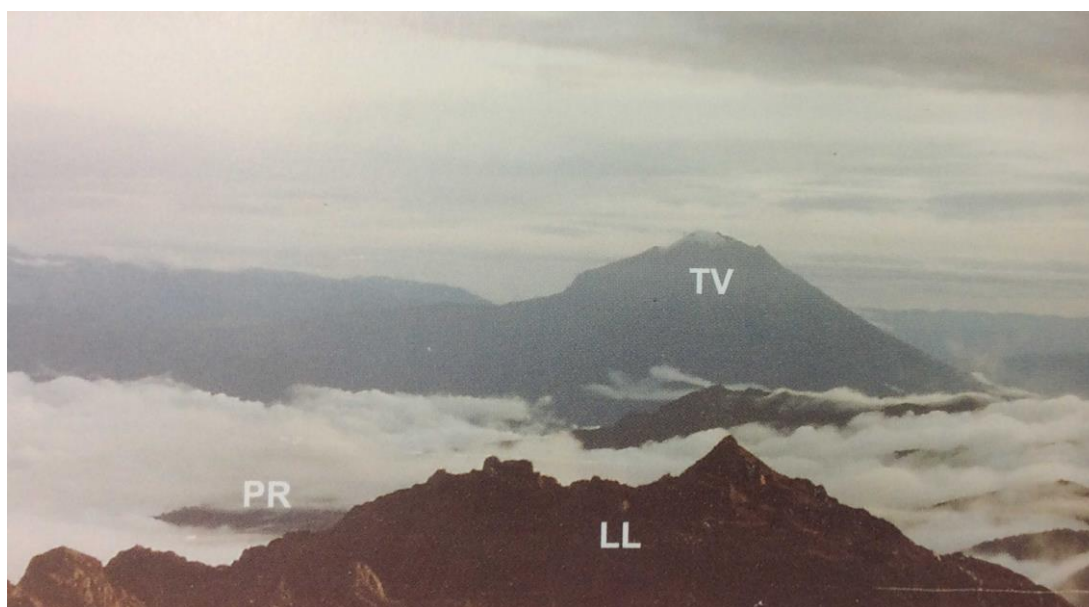


Figura 8: Relieves montañosos (TV: Tungurahua) (Fuente: Geology of Ecuador)

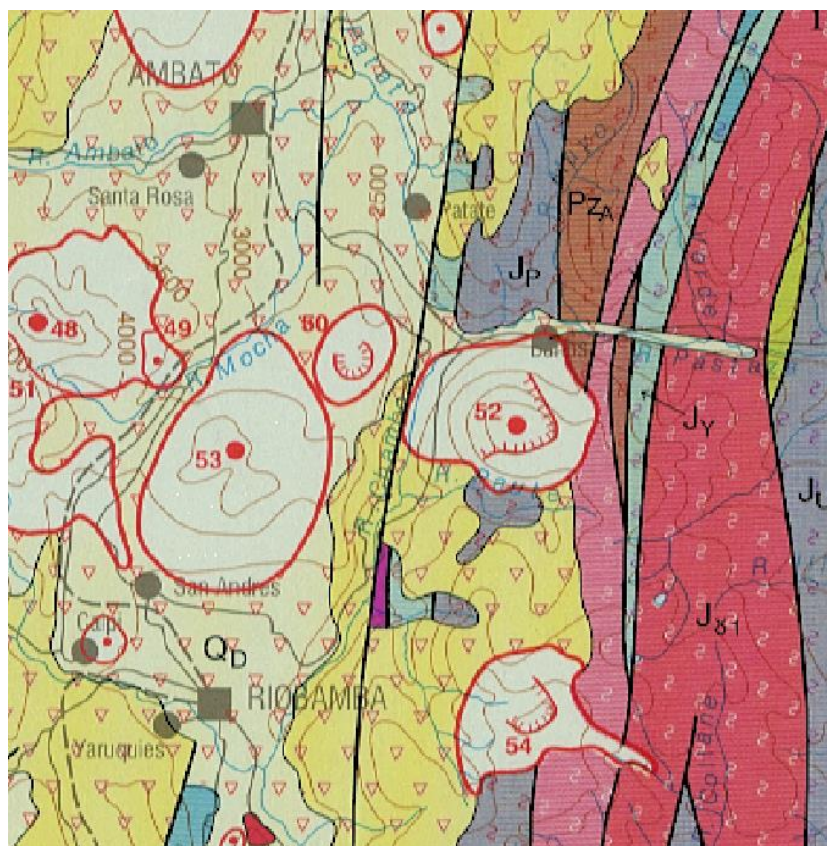


Figura 9: Mapa geológico (52, volcán Tungurahua)

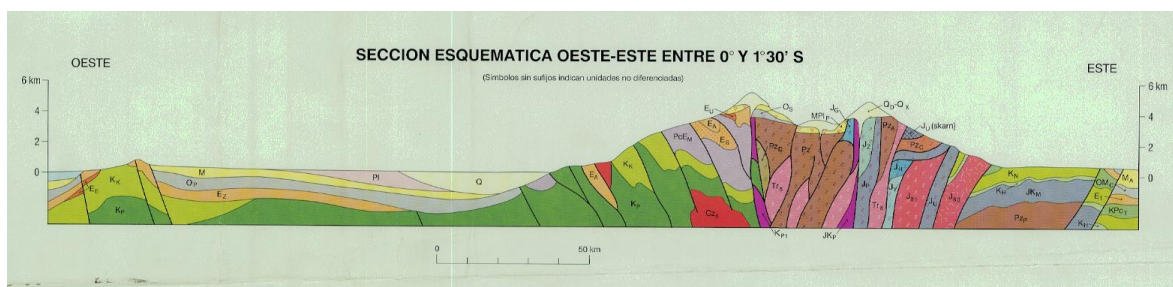
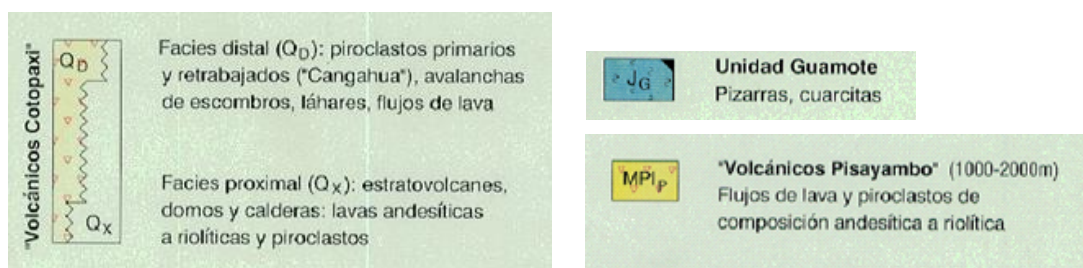


Figura 10: Sección geológica oeste-este (abajo leyendas relevantes)



En nuestra zona de estudio, en general, en superficie, como vemos en la sección esquemática, encontraremos piroclastos como el “Cangahua”, avalanchas de escombros, lahares y flujos lávicos.

Vista la visión general, vamos a ver brevemente un resumen de la historia geológica de la zona del volcán Tungurahua, centrándonos en el edificio actual en esta zona.

El edificio actual: Tungurahua III

Finalmente, el edificio actual, denominado Tungurahua 111, consiste en un cono aproximadamente simétrico, con pendientes de 30-35° y que ocupa la tercera parte occidental del complejo volcánico. Este cono joven rellena aproximadamente la caldera de avalancha formada en el flanco occidental por el último gran deslizamiento. La incipiente erosión ha excavado solamente pequeñas quebradas de 10 a 40 m de profundidad en este cono. El Tungurahua III se caracteriza por una casi continua actividad eruptiva desde hace 2.300 años (aproximadamente desde el año 350 a.C), caracterizada por la generación de flujos de lava, flujos piroclásticos y flujos de escombros, así como moderadas cantidades de material piroclástico lanzado al aire por el volcán y depositado principalmente sobre los flancos y sobre la región al occidente, noroccidente y suroccidente del volcán.

Estratigrafía simplificada del volcán Tungurahua III

Eventos	Edades, tipo de actividad
Erupción (caída de ceniza, lahares...)	→ 1999-2003...
Erupción (flujos piroclásticos)	→ 1916-1918
Erupción (flujos piroclásticos y de lava; caída de lapilli -piedra pómez-)	→ 1886
Erupción (flujos piroclásticos y de lava)	→ 1773
Erupción (flujos piroclásticos y caídas)	→ 1640
Importante serie de caídas de ceniza y flujos piroclásticos	
Erupción (flujos piroclásticos y caídas)	→ 1 350 años d.C.
Depósito de caída de ceniza	→ 1 060 años d.C.
Flujos piroclásticos de la quebrada Rea y del sector Las Juntas	→ 995 años d.C.
Flujos piroclásticos ricos en bloques de la quebrada Rea y del sector Las Juntas	
Secuencia superior de flujos piroclásticos del sector Las Juntas	→ 720 años d.C.
<i>Gran caída de lapilli (piedra pómez) y actividad piroclástica</i>	
Depósito de caída de ceniza	→ 480 años d.C.
Flujos de lava de Juive Chico y Vazcún	Actividad efusiva (lavas)
Secuencia inferior de flujos piroclásticos de Las Juntas y de las quebradas La Pirámide y Motilones.	Actividad piroclástica
Secuencia inferior de Las Juntas y del río Chambo (principalmente flujos de lava).	Actividad efusiva (lavas)
Flujos de lava dacíticos de Cusúa.	→ 265 años a.C.
Gran avalancha de escombros	Aprox. 1 050 años a.C.

Actividad principalmente piroclástica
 Segundo periodo
Tungurahua III
 Primer periodo

Figura 11: Estratigrafía Tungurahua III (El volcán Tungurahua, Ecuador)

La geología de la zona esta constituida por:

- **Depósitos Coluviales**

Se trata de depósitos superficiales de ladera, que han no han sufrido apenas transporte, muy heterogéneos, dependen de la zona y fenómeno que les dio el origen Están compuestos por mezclas de bloques y fragmentos angulares y subangulares en matriz fina arenosa o limosa.

- **Cangagua**

(PleHolC) (Bristow & Hoffstetter, 1977). Ceniza volcánica andesítica, en parte consolidada, largamente no estratificada, del Pleistoceno tardío al Holoceno.

Son depósitos no estratificados, parcialmente consolidados, compuestos de ceniza de grano fino a medio de color café amarillento; que se ha depositado sobre los rasgos de la superficie que implica una edad reciente. No sobrepasa los 20m de espesor.

- **Ceniza del Tungurahua**

En las inmediaciones al volcán Tungurahua, delgadas capas de ceniza volcánica joven.

- **Volcánicos del Tungurahua**

Rocas procedentes del volcán. Lavas andesíticas porfiríticas, las antiguas, y basálticas las más jóvenes.

- **Rocas volcánicas del Iqualata.**

Material piroclástico producto más común, variando de una toba fina a toba de grano más grueso; localmente se encuentran flujos de lavas andesíticas.

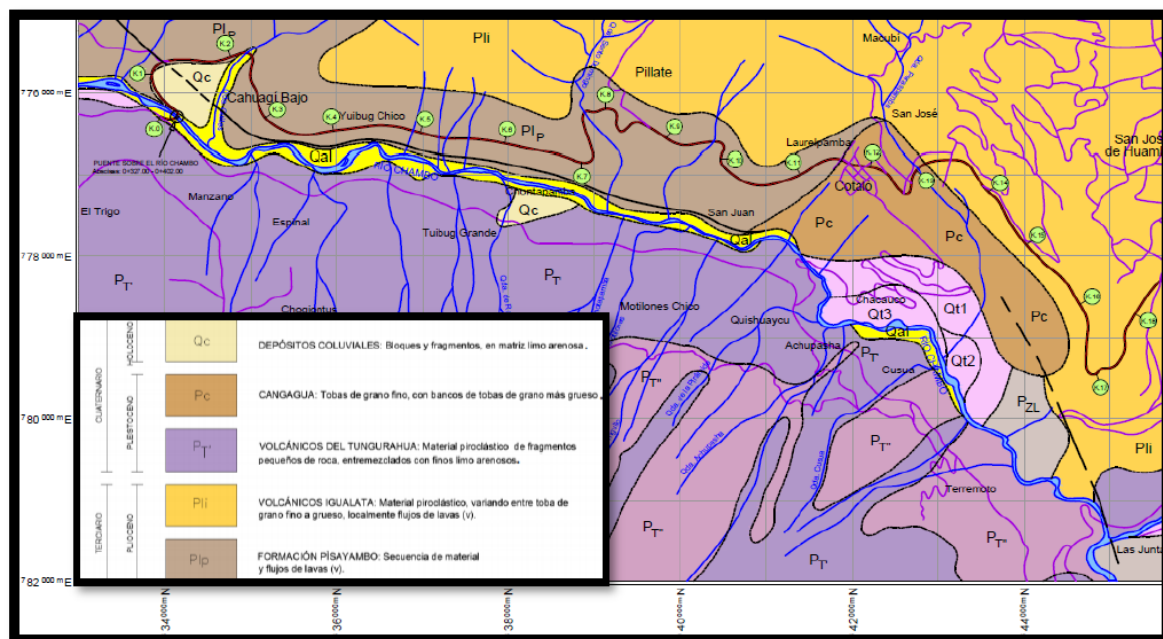


Figura 12: Geología zona. (Fuente: Propia)

En concreto la zona de estudio distribuye así su litología (Figura 13):

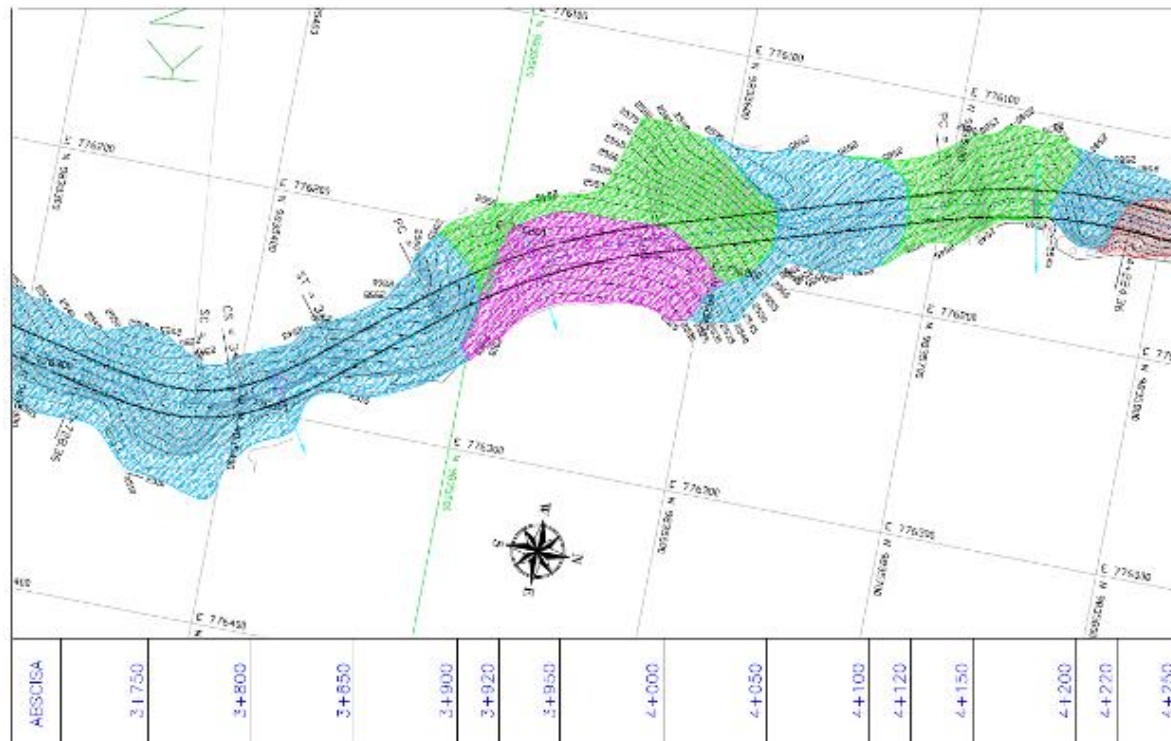


Figura 13: Distribución litología. (Fuente: Propia)

3.4.- Caracterización del talud.

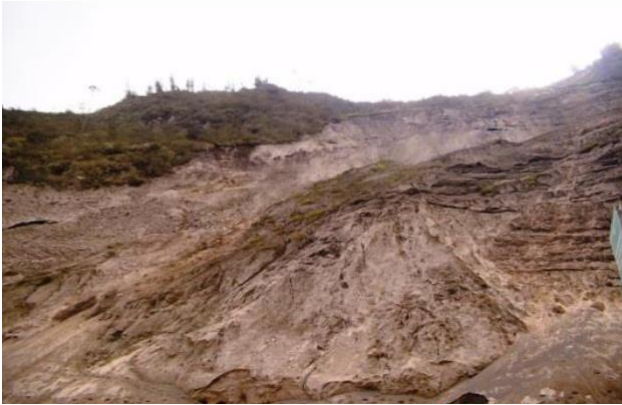


Figura 14.1: Talud +4.000 (Fuente propia)

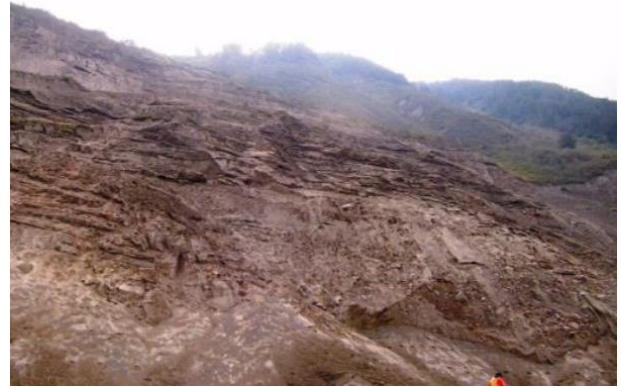


Figura 14.2: Talud +4.000 (Fuente propia)

La zona de estudio en concreto (4+000) consta de un deslizamiento de material de depósitos de caída, de gran espesor, se evidencia claramente la zona de escarpe (Figura 14.1, 14.2), su material es poco cohesivo, consta de gravas y fragmentos de roca de composición andesítica además de lapilli y pómez, el talud de pendiente abrupta, como se observa se puede encontrar material lavado al pie del talud. Por las características mencionadas de la zona se considera que es un sector inestable.

Respecto a las características geotécnicas de los materiales que vamos a encontrar en el talud de estudio, los cuales son los que deberemos estabilizar para así, garantizar la seguridad en la vía, tratándose estos de un deslizamiento de materiales.

De acuerdo con la diferenciación geológica realizada y los tipos de materiales geotécnicos definidos en la zona, tendremos principalmente este material:

Avalancha de escombros:

- Densidad aparente media: $\gamma = 2.3 \text{ t/m}^3$
- Resistencia media a compresión simple (fragmentos rocosos): $\sigma_{ci} = 11.5 \text{ Kg/cm}^2$
- Húmedo a seco
- Cohesión efectiva: $c' = 3 \text{ KN/m}^2$
- Ángulo de fricción $\phi = 36^\circ$

4.- Estudio estabilidad de taludes, sin medidas correctoras.

En este apartado, se llevará a cabo el análisis de estabilidad sin la existencia de medidas de sostenimiento, los cuales pasaremos a analizar en el siguiente apartado.

El análisis se ha llevado con el apoyo informático del programa "Slide V6.009" de la casa "Rocscience", utilizando el método de Bishop modificado (1955, 1967) ya que está indicado para deslizamientos rotacionales. Este método supone una superficie de deslizamiento en "n" rebanadas, para lo cual las fuerzas actuantes sobre cada franja de terreno se han representado en la figura .

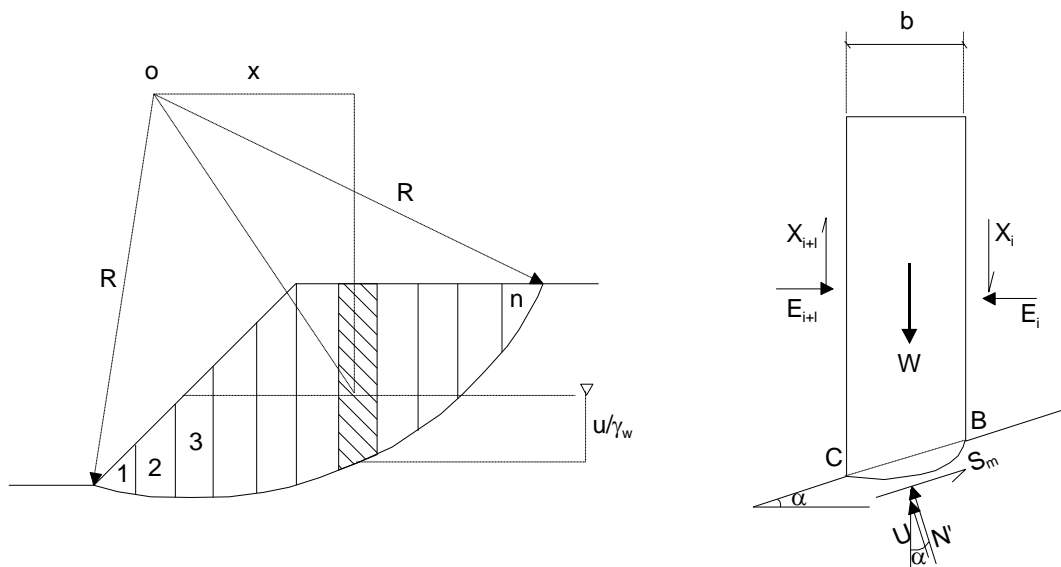


Figura 15: Supuestos y equilibrio de fuerzas para la utilización del método de Bishop simplificado.

En este método se realiza el cálculo por equilibrio de momentos y por fuerzas perpendiculares en la vertical de la rebanada. No aparecen fuerzas entre rebanadas al efectuar un sumatorio a lo largo de toda la superficie de deslizamiento.

Así, los pasos a realizar son:

- Resistencia frente a seguridad:

$$\tau_{\text{lim}} = c' + \sigma' \tan \phi'$$

$$\tau_{\text{mov}} = \frac{c'}{F} + \sigma' \frac{\tan \phi'}{F}$$

$$S_m = \frac{c' l}{F} + N' \frac{\tan \phi'}{F} \quad (1)$$

- Equilibrio de momentos, $\sum M_o = 0$:

$$\sum Wx = \sum S_m R \quad (2)$$

- Sustituyendo (1) en (2):

$$\sum Wx = \sum \left(\frac{c' l}{F} + N' \frac{\tan \phi'}{F} \right) R \quad (3)$$

- Asumiendo un factor de seguridad constante para cualquier valor del ángulo del talud α y despejando de (3):

$$F = \frac{R}{\sum Wx} \sum (c' l + N' \tan \phi') \quad (4)$$

- Así, sabiendo que $x = R \sin \alpha$ y que $N' = N - ul$, se obtiene:

$$F = \frac{\sum [c' l + (N - ul) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha} \quad (5)$$

- Realizando ahora el equilibrio de fuerzas verticales:

$$(N'+ul)\cos\alpha + S_m\text{sen}\alpha = W + \Delta T \quad (6)$$

siendo $\Delta T = x_i + x_{i+1}$.

- Sustituyendo S_m de (1):

$$(N'+ul)\cos\alpha + \frac{1}{F}(c'l + N'\tan\phi')\text{sen}\alpha = W + \Delta T \quad (7)$$

- Despejando N' :

$$N' = \frac{W + \Delta T - 1\left(u\cos\alpha + \frac{c'}{F}\text{sen}\alpha\right)}{\cos\alpha + \frac{\tan\phi'}{F}\text{sen}\alpha} \quad (8)$$

- Sustituyendo N' en la ecuación del coeficiente de seguridad, ecuación (5), y teniendo en cuenta que $\cos\alpha = b/l$, se tiene:

$$F = \frac{\sum \left[\left[c'b + (W + \Delta T - ub)\tan\phi' \right] \frac{\sec\alpha}{1 + \frac{\tan\phi'\tan\alpha}{F}} \right]}{\sum W\text{sen}\alpha} \quad (9)$$

La ecuación (9) anterior es la expresión del método riguroso de Bishop, a partir de la cual, y suponiendo $\Delta T = 0$, se tiene la expresión de "Bishop simplificado".

Para resolver esta expresión es necesario iterar ya que F va implícito en la misma. Para ello hay que comenzar suponiendo un valor de F .

Además se ha considerado la inexistencia de agua en el talud ($r_u=0$), ya que en el momento actual el nivel freático se encuentra en una situación profunda y no afecta a la zona de estudio, y posteriormente, el proyecto contempla la ejecución de un drenaje del muro a ejecutar.

Utilizando los resultados devueltos por el programa también aplicaremos el método Janbu, el cual es más restrictivo, y por tanto aplica unos coeficientes de seguridad mayores.

De esta manera, en las figuras 15.1, 15.2 y 15.3, se muestra la salida gráfica que nos devuelve el programa "Slide V6.009" perteneciente a "Rocscience", utilizando el método de "Janbu simplificado", y en el anexo X se adjuntan los resultados de dichos cálculos. El talud de estudio se trata de un talud escarpado con varias zonas claramente diferenciadas por sus pendientes, de una magnitud considerable.

Coordenada: 9835480/776216 hasta 9835696/776160

Esta zona (4+000) (Figura 14.1, 14.2) tiene un deslizamiento de material de depósitos de caída de gran espesor, se evidencia claramente la zona de escarpe, su material es poco cohesivo, consta de fragmentos de gravas y cantos de composición andesítica además de lapilli y pómez, el talud tiene una pendiente abrupta. Se observa material lavado al pie del talud. Por estas características la zona de estudio se considera una zona inestable, y por ello procederemos a aportar soluciones al problema.

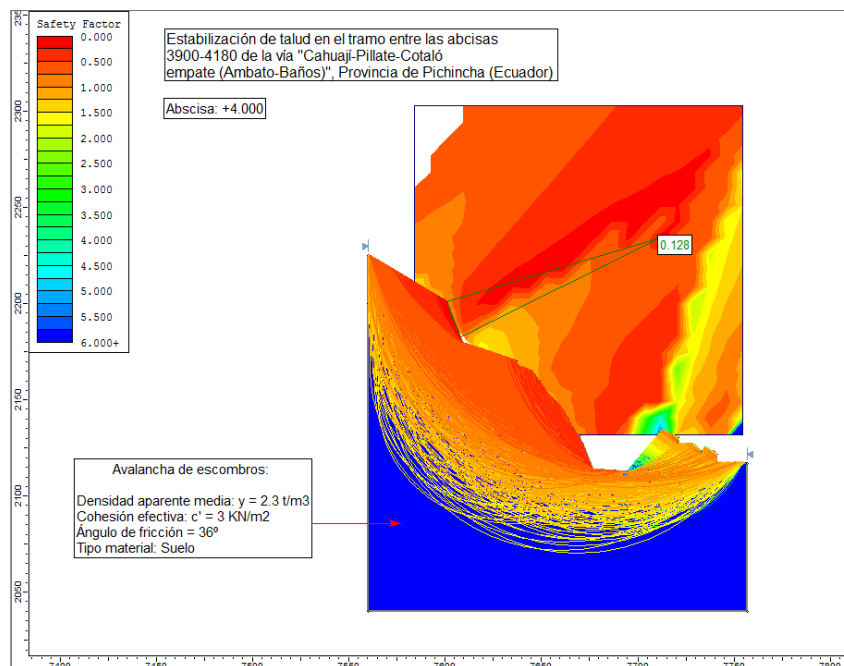


Figura 14.3: Resolución gráfica de las superficies de rotura con factor de seguridad mínimo para el talud 4+000. Modelización realizada mediante el programa "Slide 6.009" de la casa "Rocscience".

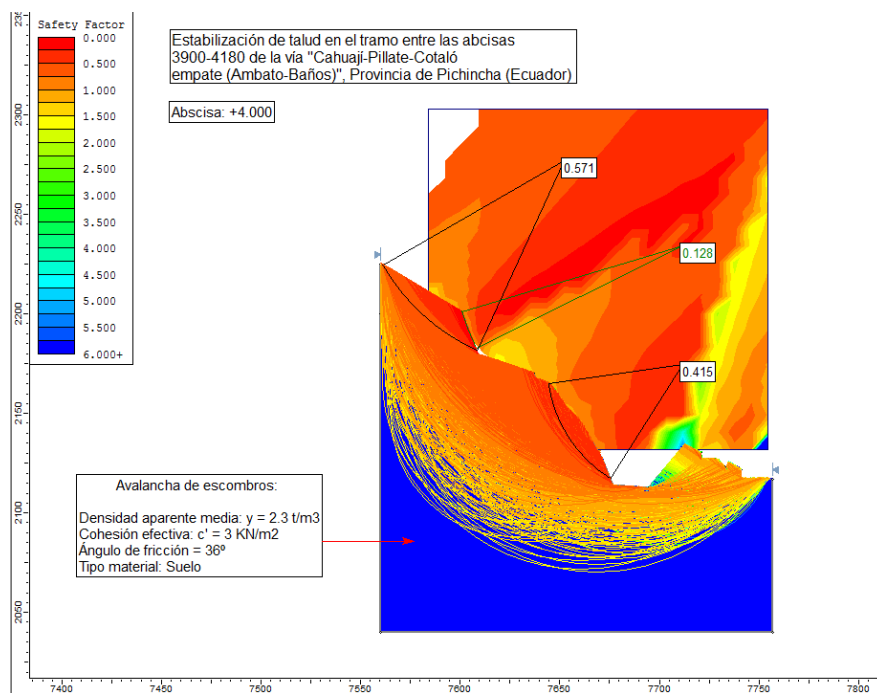


Figura 15: Resolución gráfica de las superficies de rotura con factor de seguridad mínimo para el talud 4+000. Modelización realizada mediante el programa "Slide 6.009" de la casa "Rocscience".

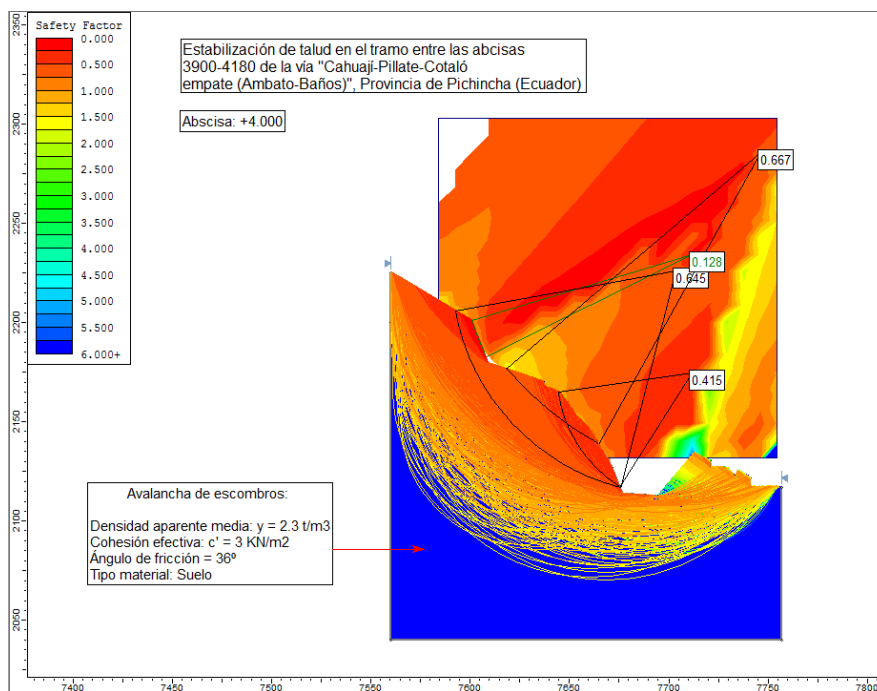


Figura 16: Resolución gráfica de las superficies de rotura con factor de seguridad mínimo para el talud 4+000. Modelización realizada mediante el programa "Slide 6.009" de la casa "Rocscience".

Análisis: Como puede verse el factor de seguridad del talud oscila entre 0.128 y 0.667 denotando una inestabilidad clara del talud, la cual vamos a aportar diferentes soluciones para su estabilización. Considerando la totalidad del talud, que comprometería mayormente la seguridad en la carretera, tenemos un factor de 0.6 aproximadamente, siendo importante estabilizar el mismo.

Muy importante a tener en cuenta es la situación de sismo en este caso, al programa debemos introducirle la mitad de cada una de las aceleraciones horizontales y verticales sísmicas. Siendo la aceleración horizontal 0,4 m/s y 0,2 m/s la vertical, en consecuencia en el programa tendremos estos valores (Figura 17).

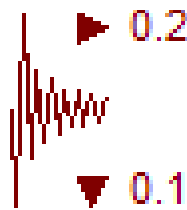


Figura 17: Aceleración sísmica en Slide

También obtenemos los resultados mediante el método Bishop simplificado. Figuras 18, 19, 20.

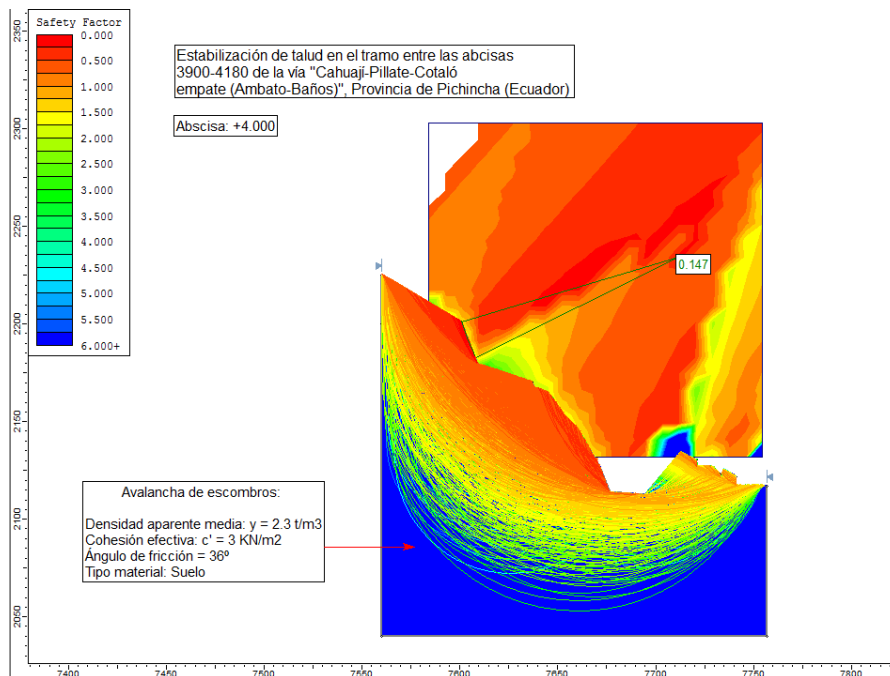


Figura 18: Resolución gráfica de las superficies de rotura con factor de seguridad mínimo para el talud 4+000. Modelización realizada mediante el programa "Slide 6.009" de la casa "Rocscience".

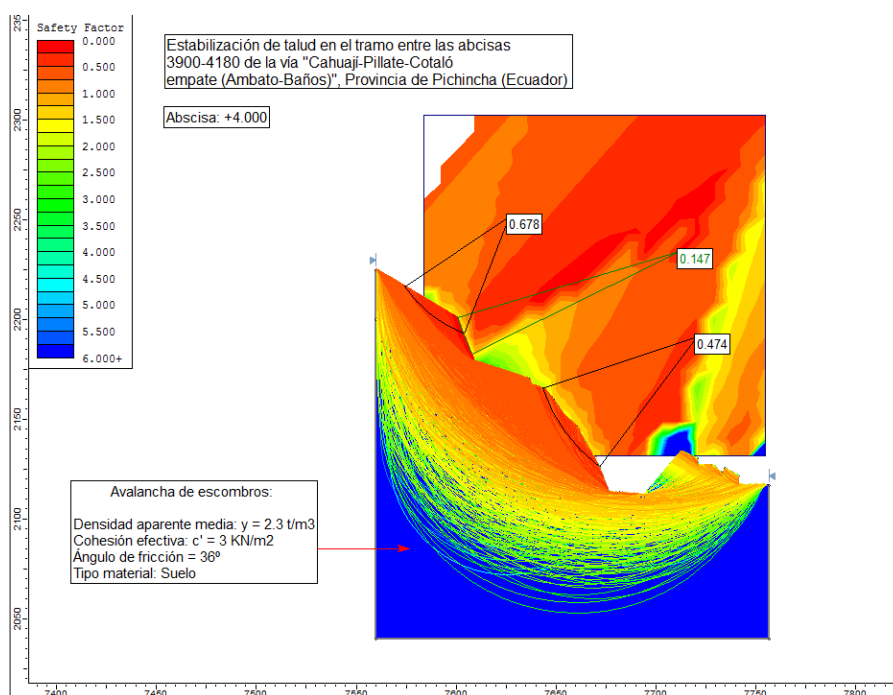


Figura 19: Resolución gráfica de las superficies de rotura con factor de seguridad mínimo para el talud 4+000. Modelización realizada mediante el programa "Slide 6.009" de la casa "Rocscience".

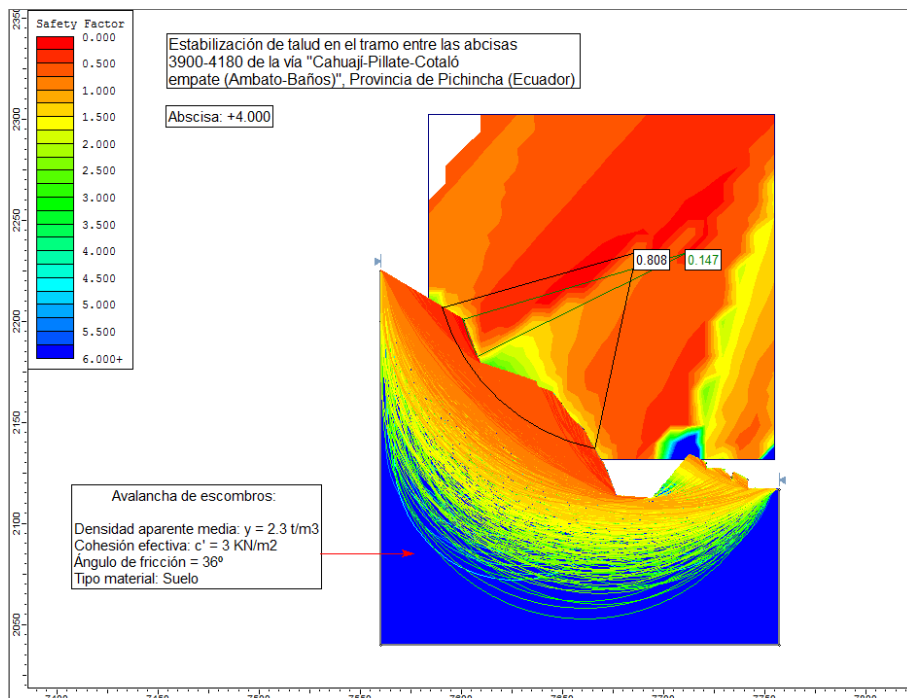


Figura 20: Resolución gráfica de las superficies de rotura con factor de seguridad mínimo para el talud 4+000. Modelización realizada mediante el programa "Slide 6.009" de la casa "Rocscience".

Por todo esto, pasaremos a estudiar posibilidades de refuerzo del talud para evitar posibles futuros problemas e imprevistos que comprometan la seguridad en la vía.

5.- Estudio estabilidad de taludes, con medidas correctoras.

En principio, nuestro propósito es obtener una solución que mitigue o minimice al máximo los problemas que puede causar el talud a la vía y a las personas que transitan a través de ella y sea medioambientalmente sostenible y con el menor impacto posible, intentando conseguir una integración lo más fiel posible al paisaje, teniendo en cuenta la imposibilidad total de dicha tarea.

Estamos ante fallas rototraslacionales, o lo que es lo mismo, son fallas que rompen rotacionalmente pero rompen respecto a un plano principal.

Podemos decir que en el interior del talud existe un estado de esfuerzos cortantes que vence en forma más o menos rápida la resistencia al esfuerzo cortante del suelo; a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo, con la formación de una superficie de deslizamiento, a lo largo de la cual se produce la falla. Estos movimientos son típicos de los cortes y terraplenes de una vía terrestre como es el caso de nuestro talud de estudio.

RECOMENDACIONES

En base al análisis realizado se recomienda realizar obras de mitigación con el fin de disminuir la afectación futura a la vía, entre las medidas a utilizarse esta la utilización de mallas para sostener y prevenir la caída de bloque en la vía, las cuales serán recogidas en una cuneta que tendrá que ser limpiada constantemente al igual que las mallas. La estimación de dichas cunetas se realizan en base a los ábacos propuestos por Ritchie(1962). Así como también muros de ménsula en sectores será necesario replantear la vía para la construcción de dichos muros.

Por la magnitud del talud, no podemos garantizar completamente la estabilización completa del mismo, habiendo valorado métodos como los anclajes, se determina que este, por ejemplo, sería un método inviable por una longitud de anclaje mayor de 50 metros.

Debido a esto, se propone la solución que aporte seguridad a la carretera, escogiendo un método que garantice la seguridad en la vía en el caso de que se presente una eventualidad, frenando y mitigando el desplazamiento de la gran masa de suelo.

Siendo considerando el talud como un suelo, proyectamos en base a esto la estabilización oportuna.

Analizando la situación, se proponen también algunas soluciones adicionales, descartando otras muchas por su no viabilidad en el talud de estudio.

- Retirada materiales más inestables, fragmentos sueltos con caída inminente hacia la vía. No solucionamos el problema más relevante pero mitigamos un posible peligro para las posteriores soluciones. Así, además quitaremos peso sobre el talud, el cual a más carga será más probable que deslice.

Incrementando momentos resistentes aplicando fuerzas externas:

- Muros o contrafuertes, combinando con otros métodos, pueden presentar por contra problemas de asentamiento en ciertos tipos de suelo.
- Instalación de anclajes: aunque el derecho de expropiaciones no esté limitado. Solución menos agresiva visualmente. Por contra se requieren resistencias a cizalla del suelo en los anclajes. Se requieren además estudios de las propiedades del suelo in situ, método económico dependiendo de los sistemas de anclaje que se vayan a utilizar. En nuestro caso, por longitud necesaria de anclaje este método no será factible.

Incremento de la resistencia interna:

- Muros de tierra armada: en diques y laderas donde se necesite reconstruir un deslizamiento. Se debe contar con la durabilidad de los materiales a largo plazo.

En cuanto a las mallas de retención de desprendimientos, se considera que la solución Geobrugg de barreras RXE de 3000, 5000 y 8000, sería la correcta para detener los fragmentos que vayan hacia la vía.



Figura 21: Barrera RXE en funcionamiento (Fuente: Geobrugg)

CAÍDA DE ROCAS, CUNETAS A PIE DE TALUD.

En los caso en el que el talud no está estabilizado, las rocas que se desprenden pueden llegar a la base en caída libre, dando saltos o rodando; esta trayectoria dependerá de su forma, volumen, rugosidad de la superficie y pendiente del talud, entre otros factores.

La construcción de una cuneta en el pie del talud o de amplias bermas en el caso de cortes muy profundos, es un método sencillo y efectivo. La cuneta permite recolectar las rocas que caen, evitando que lleguen a la plataforma de la vía.

Estas cunetas se suelen complementar con una barrera o pantalla para detener bloques o fragmentos, que puedan rebotar y llegar a la calzada.

La figura 16 nos muestra la trayectoria más probables que siguen los fragmentos de roca en función de la inclinación del talud, según el método Ritchie, el cual utilizaremos para el cálculo de nuestra cuneta apreciándose la combinación de elementos que se pueden presentar.

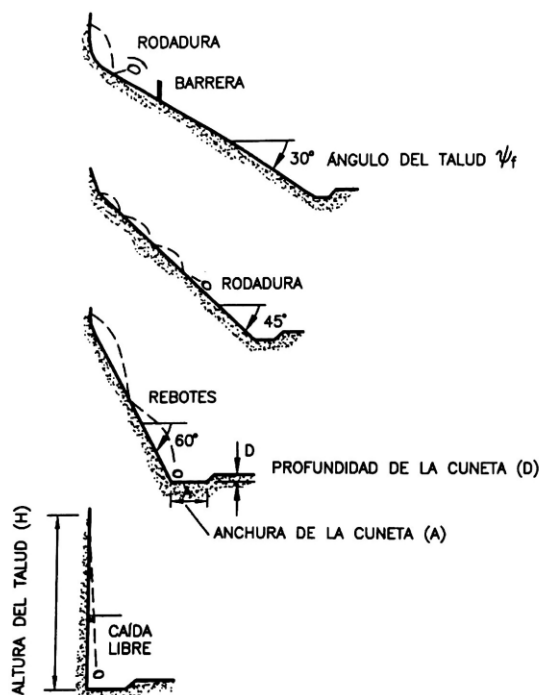


Figura 22: Trayectoria esperada de las rocas en un talud en función de la pendiente (Ritchie, 1963) (Fuente: Manual estabilización y revegetación de taludes)

Para el desarrollo de los parámetros de diseño para nuestra cuneta utilizaremos el método Ritchie, el cual ya hemos mencionado.

En nuestro caso, empezamos rechazando la construcción de bermas en el talud, ya que aumenta el riesgo de caída de rocas a la calzada, debido a que estas rebotan sobre estas, siendo las rocas que rebotan sin duda mucho más impredecibles en su trayectoria que las que simplemente ruedan por el talud y pueden ser controladas por barreras o caer simplemente en la cuneta.

Ateniendonos al estudio de los taludes y la cuneta necesaria efectuado por Ritchie (1963) a continuación mediante el diagrama de la figura 23, obtendremos los parámetros según la figura 24. En este caso veremos la relación existente entre el la anchura y profundidad de la cuneta, así como la altura y el ángulo del talud y su efecto en la trayectoria más probable seguida por las rocas en en su caída.

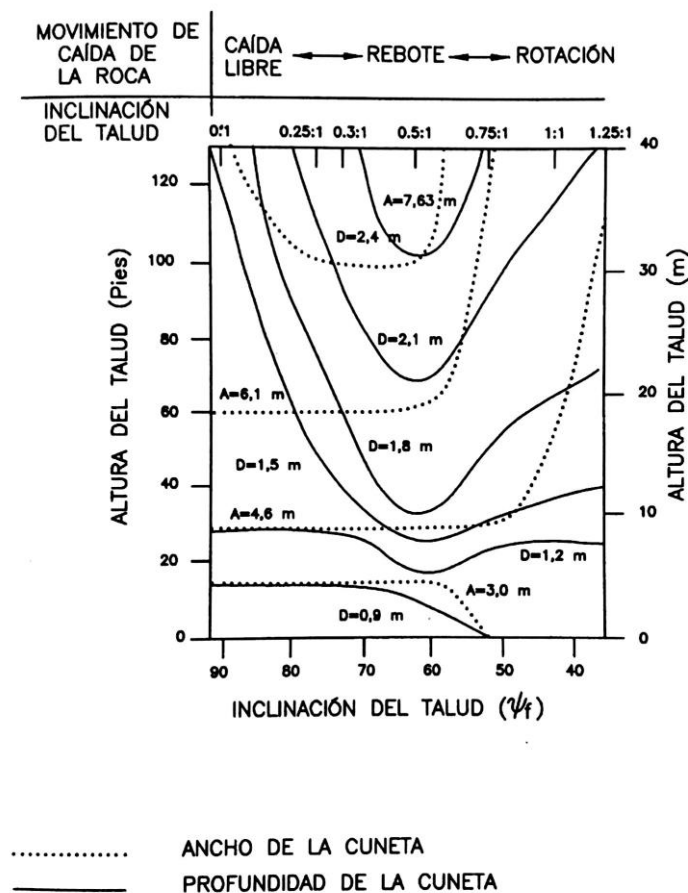


Figura 23: Diagrama de diseño de la anchura y profundidad de las cunetas en función de la altura y la pendiente del talud (Ritchie, 1963) (Manual de estabilización y revegetación de taludes)

Nuestra altura de talud sería la máxima, ya que tiene 50 metros aproximadamente el último tramo, y una angulación de unos 75 grados.

Por lo que extraemos del diagrama que nuestra cuneta deberá tener una $D=2,4\text{m}$ y $A=7,7\text{m}$

Siendo estos parámetros correspondientes con la figura 18.

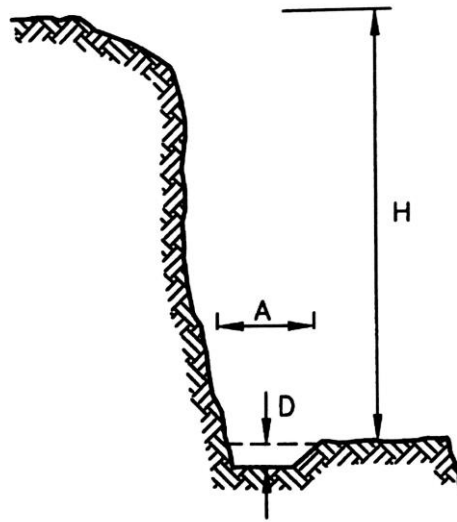


Figura 24: Parámetros geométricos de diseño de la cuneta (Ritchie, 1963) (Manual de estabilización y revegetación de taludes)

ESTUDIO CAIDA ROCAS, ROCKFALL

La cuneta citada anteriormente tiene como objetivo recoger las rocas que precipitarán desde el último tramo de talud, pero no podemos dejar que las rocas precipiten desde el tramo más arriba, ya que el cambio de pendiente que encontramos puede actuar de tobogán y hacer de catapulta a rocas que pueden comprometer la seguridad en la vía (Figura 25), por lo que se propone la instalación de una barrera en la coronación del último tramo de talud, como podemos ver en la (Figura 26).

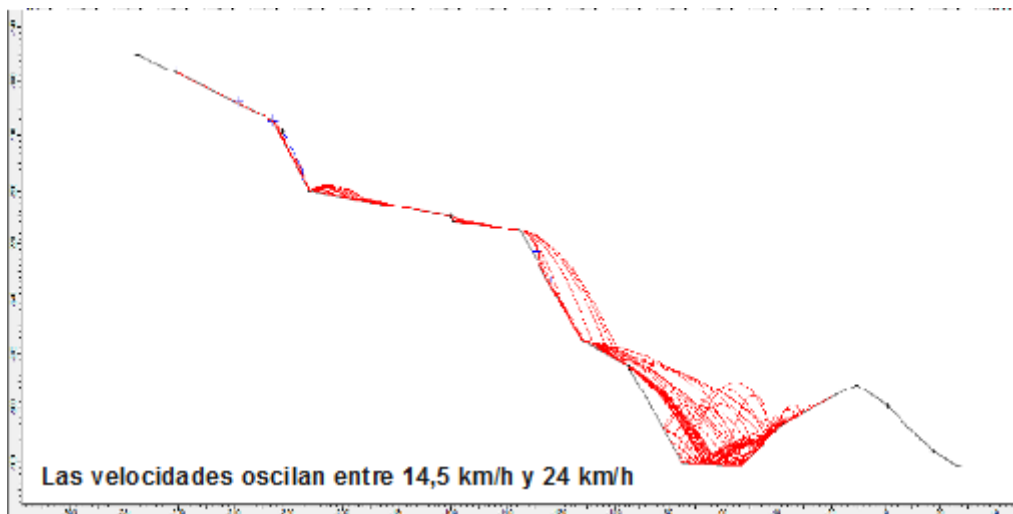


Figura 25: RockFall sin barreras (Fuente: Realización propia)

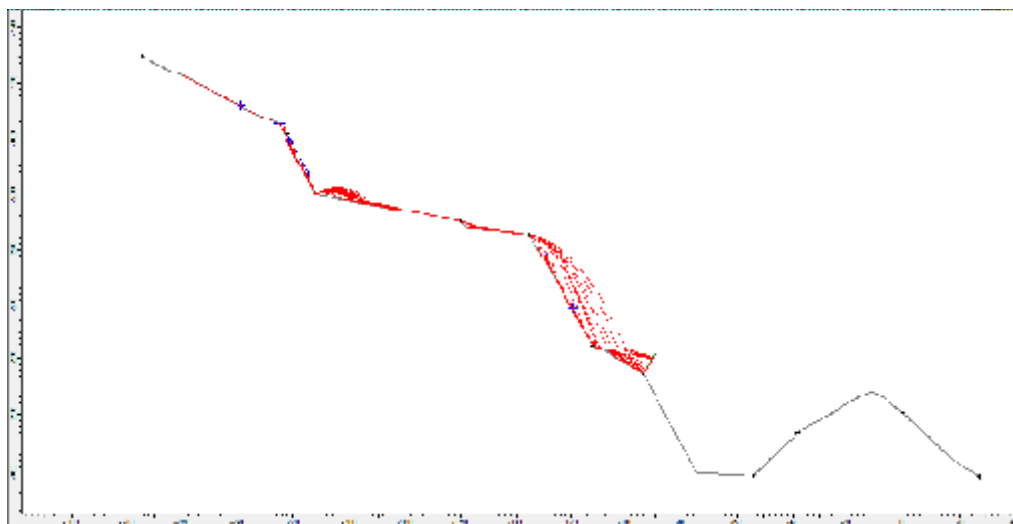


Figura 26: RockFall con barreras (Fuente: Realización propia)

Como vemos en los cálculos aproximados de RockFall, en principio con una barrera de entre 5 y 8 metros de altura sería suficiente para evitar que los desprendimientos de la parte superior alcancen la vía, estando nuestra barrera a unos 40 metros de altura sobre la vía.

La velocidad a la que impactan las rocas sobre la barrera, según el estudio realizado oscilará entre 14,5 km/h y 24 km/h.

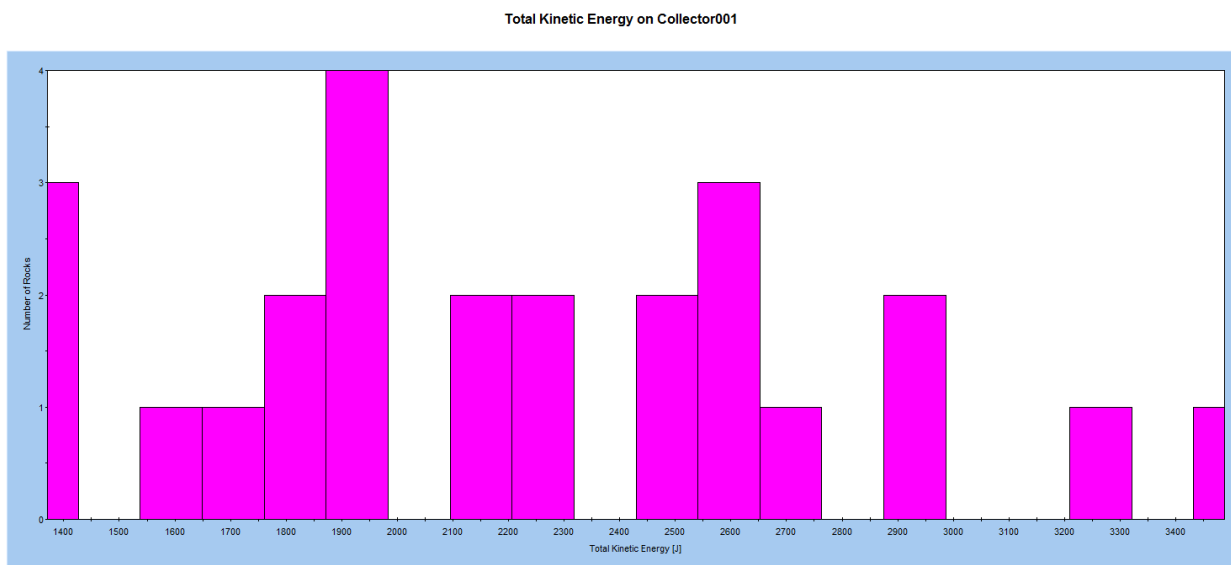


Figura 27: Histograma de Energía de impacto de rocas en barrera (Fuente: RockFall, Elaboración propia)

Además, el programa nos permite determinar aproximadamente cual será la fuerza con la que las rocas impactarán sobre la barrera a disponer. Situamos un colector de medición de caída de rocas inmediatamente antes de nuestra barrera y los resultados nos los devuelve en el histograma que vemos en la Figura 27.

Por lo que podemos determinar que la barrera a disponer deberá ser una RXE 5000.

6.- Organización y dimensionamiento de las obras.

6.1.- Introducción

Las obras que nos ocupan serán la construcción del muro de hormigón armado para impedir el paso a la vía de deslizamientos de ladera y caída de rocas del último tramo, además de la instalación de una barrera RXE 5000 para impedir que rocas de la parte superior de la ladera puedan alcanzar la vía, poniendo en peligro el servicio de la misma y la vida de los usuarios.

6.2.- Construcción Muro

El muro de contención a construir constará de 75 metros de longitud, con una altura de 4 metros, su finalidad será la de recoger a sus pies los desprendimientos de ladera y deslizamientos, estando en su estado inicial el trasdós vacío, debiéndose mantener así en la medida de lo posible, limpiando periódicamente la zona de acumulación de material.

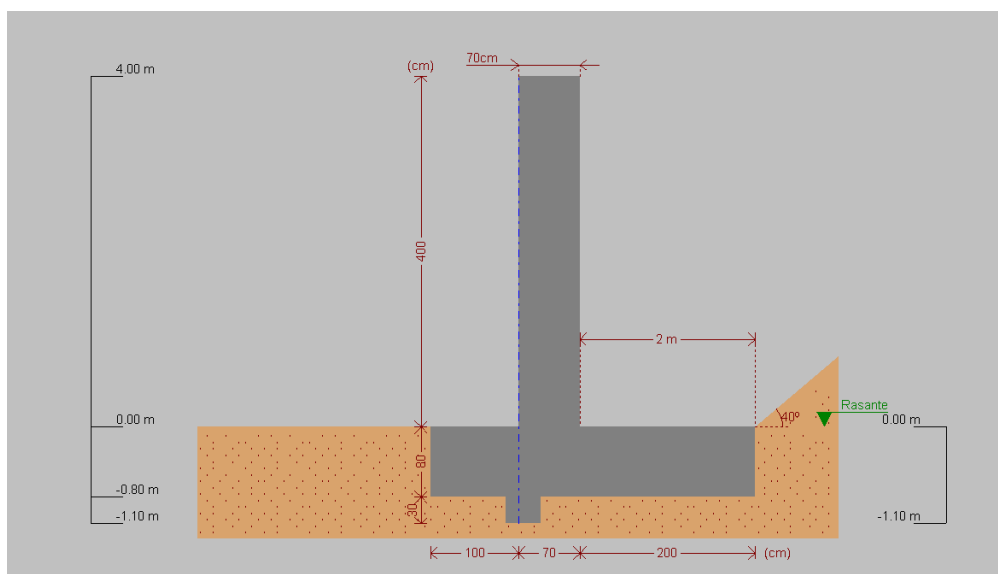


Figura 28: Muro, estado inicial (Fuente: Elaboración propia)

Dicho muro principalmente soportará esfuerzos horizontales, los cuales provocan tendencia en el mismo al vuelco y al deslizamiento, teniendo en cuenta esto y las cualidades del terreno, siendo la

presión que ejerce el terreno sobre el muro función de las dimensiones y peso, siendo este último dependiente de la naturaleza del terreno se ha calculado, siendo el estado pésimo el cual en el que el trasdós del muro se encuentra lleno de material hasta su coronación, como vemos en la figura a continuación.

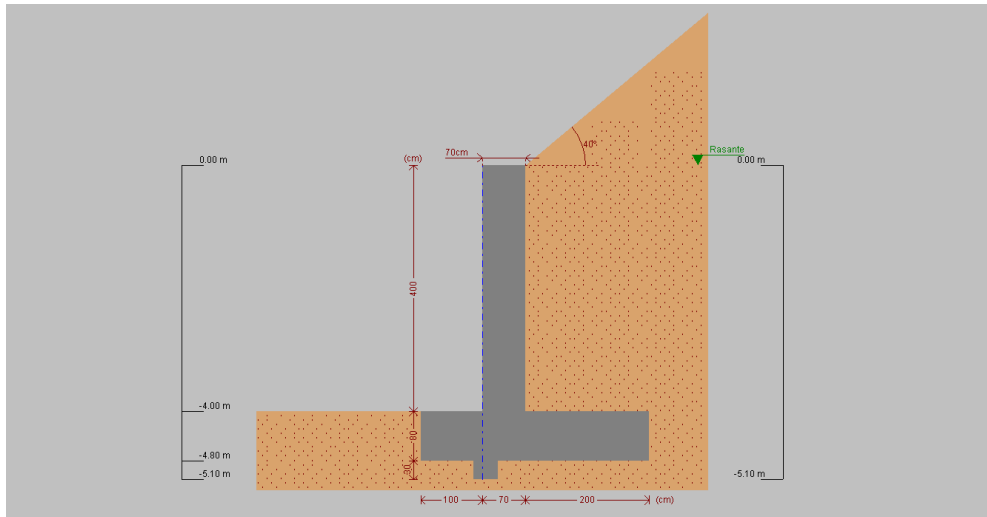


Figura 29: Estado pésimo (Fuente: Elaboración propia)

Proceso constructivo:

- 1.- En primer lugar haremos el replanteo del muro
- 2.- En segundo lugar se iniciará la excavación y los movimientos de tierras necesarios para la preparación de la superficie de apoyo de la cimentación del muro.
- 3.- A continuación se procederá a la ejecución del Hormigón de Limpieza para evitar el contacto directo de nuestra estructura con el terreno, evitando problemas de hormigonado.
- 4.- Una vez hecho esto, se iniciará la colocación de la Armadura de la zapata, previniendo las esperas para el alzado del muro.
- 5.- Ejecutada la armadura de la zapata, procederemos al hormigonado de la misma.
- 6.- Finalizada la zapata, colocaremos el encofrado de la cara más cercana al talud (interior) del muro, trasdós.
- 7.- Colocación armadura del alzado del muro.

8.- Encofrado de la otra cara del muro, intradós.

9.- Hormigonado y vibrado del alzado del muro.

10.- Una vez fraguado el hormigón retirar encofrado.

Será realizado por tramos de 7,5 metros, disponiendo así justas de contracción en estos puntos.

6.2.- Instalación barrera RXE

Para retener los desprendimientos de la parte superior de la ladera, los cuales por el cambio de rasante existente podrían ser catapultados a la vía, comprometiendo la seguridad en la misma, se instalarán barreras RXE 5000 a unos 50 metros de altura sobre la vía, justo en el cambio de pendiente de la ladera.

Las barreras RXE se suministran en paquetes compactos, listos para el montaje. Previamente se deberán haber preparado las placas base para las cuales se instalarán tres anclajes.

Los postes HEA utilizados en la estructura de la barrera se articularán en la placa base mediante un tornillo pasador.

Dichos postes junto con la red y los cables de retención podrán instalarse con facilidad con una grúa o un helicóptero.

Se colocarán en los extremos los frenos U.

La red se extiende similar a una cortina a lo largo del cable de soporte superior, uniendo las diferentes partes de la red mediante grilletes.



Figura 30: Paquetes Barrera RXE (Fuente Geobrugg)



Figura 31: Barrera Tipo RXE (Fuente Geobruigg)

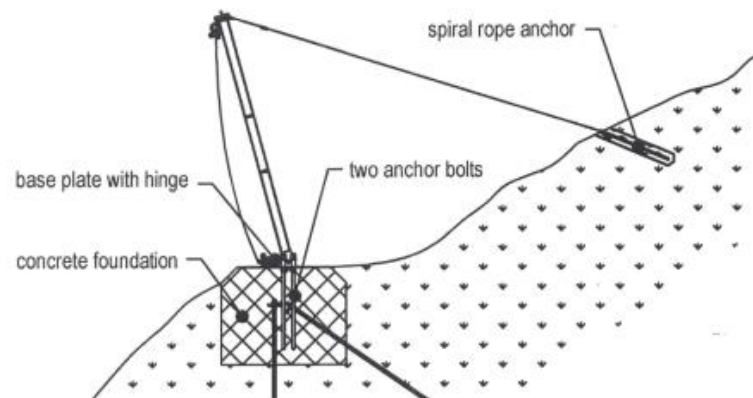


Figura 32: Plano Perfil Barrera RXE (Fuente Geobruigg)

7.- Estudio de impacto ambiental.

7.1.- Introducción.

El Anejo de Integración Ambiental tiene como objetivo proponer y concretar las medidas protectoras y correctoras de los impactos ambientales, así como la integración ecológica y paisajística de las actuaciones propuestas en el Proyecto de Estabilización de talud en el tramo entre las abcisas 3900-4180 de la vía “Cahuají-Pillate Cotaló empate (Ambato-Baños)”, en la Provincia de Pichincha (Ecuador). Se aportarán al Proyecto propuestas para conseguir una menor afección a los valores ambientales, evitando, reduciendo o corrigiendo los efectos negativos de la actuación, y para lograr su mayor integración en el entorno.

7.1.1.- Antecedentes.

Se redacta el siguiente estudio de impacto ambiental con motivo de la realización del proyecto de Estabilización de talud en el tramo entre las abcisas 3900-4180 de la vía “Cahuají-Pillate Cotaló empate (Ambato-Baños)”, en la Provincia de Pichincha (Ecuador).

En este tipo de proyectos es necesario considerar la posible incidencia que puedan generar sobre el Medio físico, biótico y socioeconómico circundante. En consecuencia, el presente informe tiene por objeto recoger los estudios realizados para analizar las alteraciones socioeconómicas y ambientales derivadas de la construcción y puesta en servicio de dicha estabilización.

La Ley de Gestión Ambiental de Ecuador, en su Artículo 21 establece lo siguiente: *“Los Sistemas de manejo ambiental incluirán estudios de línea base; evaluación del impacto ambiental, evaluación de riesgos; planes de manejo; planes de manejo de riesgo; sistemas de monitoreo; planes de contingencia y mitigación; auditorías ambientales y planes de abandono. Una vez cumplidos estos requisitos y de conformidad con la calificación de los mismos. El Ministerio del ramo podrá otorgar o negar la licencia correspondiente”*.

Por su parte, el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (en adelante TULAS), en su Artículo 24 del Libro VI – De la Calidad Ambiental, establece lo siguiente: *“El estudio de impacto ambiental se realizará bajo responsabilidad del promotor y conforme al artículo 17 de este Título y las regulaciones específicas del correspondiente sub-sistema de evaluación de impactos ambientales sectorial o seccional acreditado”*.

Por lo tanto como cumplimiento de la legislación vigente, se elabora el Estudio de Impacto Ambiental que alcanzará al menos las siguientes cuestiones:

- Descripción general del proyecto, especificando las exigencias previsibles en el tiempo en cuanto a la utilización del suelo y otros recursos naturales, así como la estimación de los tipos y cantidad de residuos, vertidos y emisiones que se vayan a producir.
- Evaluación de los efectos previsibles, directos e indirectos, que el proyecto tendrá sobre la población, la flora, la fauna, el suelo, el aire, el agua, los factores climáticos, el paisaje y los patrimonios histórico-artístico y arqueológico.
- Análisis de las medidas que puedan reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales negativos que sean significativos.
- Medidas correctoras y de recuperación, que compensen los efectos negativos del proyecto sobre el medio ambiente.
- Programa de vigilancia ambiental.

7.1.2.- Objetivos del impacto ambiental

El progresivo deterioro del medio ambiente, ocasionado generalmente por la propia actividad humana, induce la imperante necesidad de llevar a cabo labores de protección a través de la regulación de las acciones que puedan incidir en su alteración o agresión. Por otra parte, es lógica la puesta en práctica de ciertas medidas correctoras o protectoras y compensatorias de los impactos, debido a que dicha protección global reporta un claro beneficio para el hombre, ya que, gracias a la conservación de los sistemas naturales, se preserva la estabilidad del soporte social, siendo aquellos el substrato y lugar de retorno de los residuos que genera su actividad.

En síntesis, se consideran como objetivos del trabajo:

- Un objetivo general, consiste en predecir y evaluar globalmente las consecuencias que las obras, y posteriormente su puesta en servicio, ocasionen en el contexto natural y social en el que se localizan.
- Varios objetivos particulares, que son los siguientes:
 - 1) Análisis y definición del medio donde se desarrollará el proyecto.
 - 2) Identificación y evaluación de los impactos tanto positivos como negativos.
 - 3) Promover las acciones correctoras que resulten necesarias para que posibles impactos detectados tengan un nivel admisible.

En definitiva, se realiza el estudio de las posibles alteraciones ambientales ocasionadas por la impulsión, así como la valoración de las mismas y la determinación de los límites de los valores de las variables que entran en juego.

7.1.3.- Fases del estudio

El estudio propuesto se desarrolla en el entorno del proyecto, entendiendo como el conjunto de los marcos físico, biológico, humano, socioeconómico, político y administrativo, en los que aquel ha de desenvolverse y que son susceptibles de alteración.

El estudio comprende cinco partes:

- Descripción general del proyecto.
- Inventario ambiental.
- Identificación y valoración de impactos.
- Propuesta de medidas correctoras y compensatorias, y Programa de Vigilancia Ambiental

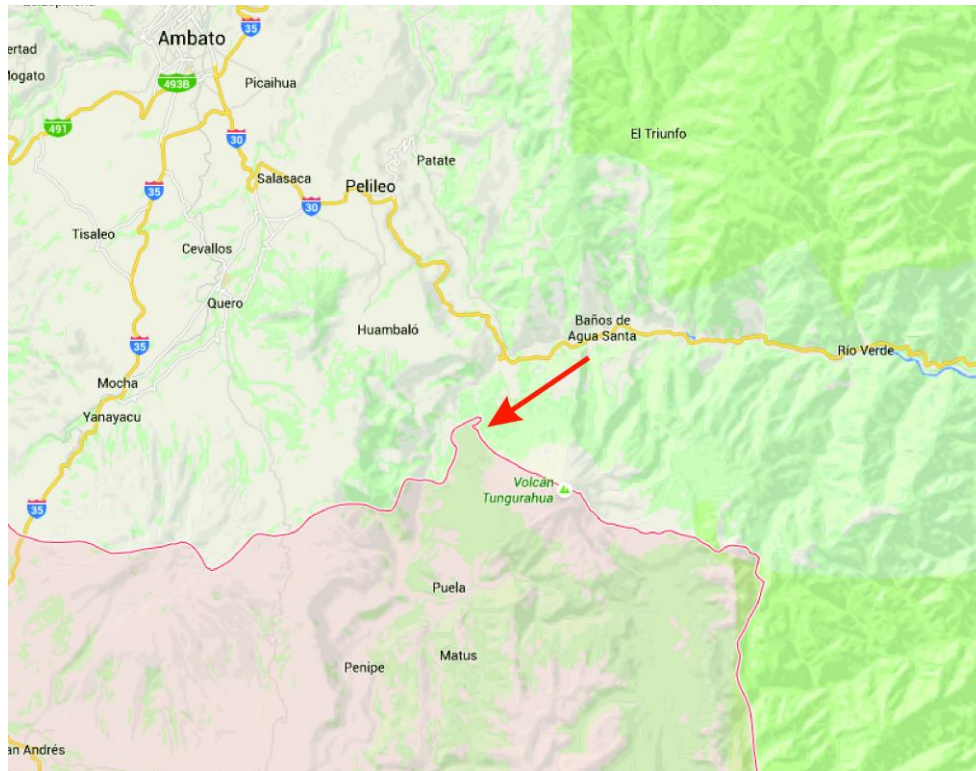


Figura 33: Localización del estudio (Fuente: Google Maps)

7.2.- Inventario ambiental

7.2.1.- Descripción del entorno

7.2.1.1.- Introducción

Con objeto de llevar a cabo la propuesta de medidas de restauración ambiental es necesaria la realización previa de un inventario medioambiental, en el que se relacionen e identifiquen todos los elementos y condicionantes que sirvan de base para la propuesta y desarrollo de las medidas de integración ambiental.

Se pretende aportar aquella información sobre el medio físico de la zona estudiada que resulte relevante para la identificación de las posibles alteraciones ocasionadas por el proyecto y para la planificación, diseño y ejecución de las medidas para su prevención o corrección y de las de integración ambiental de la estabilización del talud. La información que se obtiene del análisis del entorno circundante permite identificar los impactos ambientales que pudiera ocasionar la ejecución del proyecto, y sirve de base para el desarrollo de las medidas necesarias para su corrección.

Para el inventario ambiental se ha considerado un ámbito de referencia general que abarca un entorno amplio centrado en el eje de la carretera a proteger en este proyecto.

En la fase de inventario ambiental se han consultado diversas fuentes bibliográficas y cartográficas y fotografía aérea, así como a distintos Organismos del gobierno de Ecuador competentes en diferentes materias. Entre estos últimos cabe citar el Ministerio del Ambiente.

Se incluyen también las conclusiones del estudio específico de fauna realizado para la zona del Volcán Tungurahua, y las de la prospección arqueológica en el entorno del talud.

7.2.1.2.- Medio físico

Clima

Los datos analizados son los de la estación meteorológica del Aeropuerto de Ambato, la más cercana a la zona de estudio, con medidas sin mucho historial, los datos vienen desde principios de el año 2013, pero todas las estaciones de la zona iniciaron su funcionamiento sobre esas fechas.

Tungurahua goza generalmente de un clima templado y seco. Existen zonas de clima abrigado, zonas frías y pequeñas zonas con características climáticas propias. La temperatura ambiente promedio es de 15 grados centígrados. Las lluvias se presentan entre septiembre y diciembre, siendo aprovechadas para el cultivo de frutales. La precipitación anual se sitúa alrededor de 500mm.

Los gráficos siguientes, muestran las temperaturas y precipitaciones de los dos últimos años, 2014 y 2015. Observamos como varían las precipitaciones, presentando en 2015 un periodo lluvioso que por ejemplo en 2014 no aparece, siendo este una posible eventualidad.

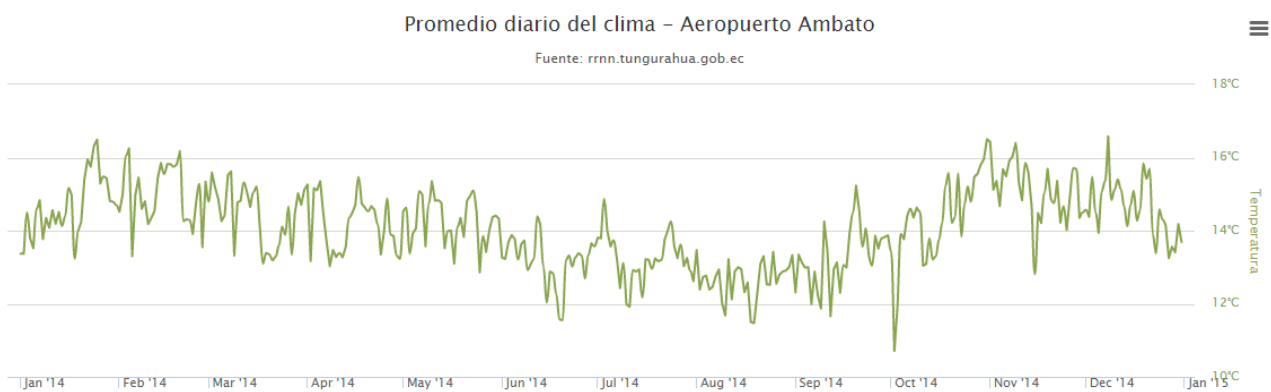


Figura 34: Promedio diario de temperatura en el año 2014

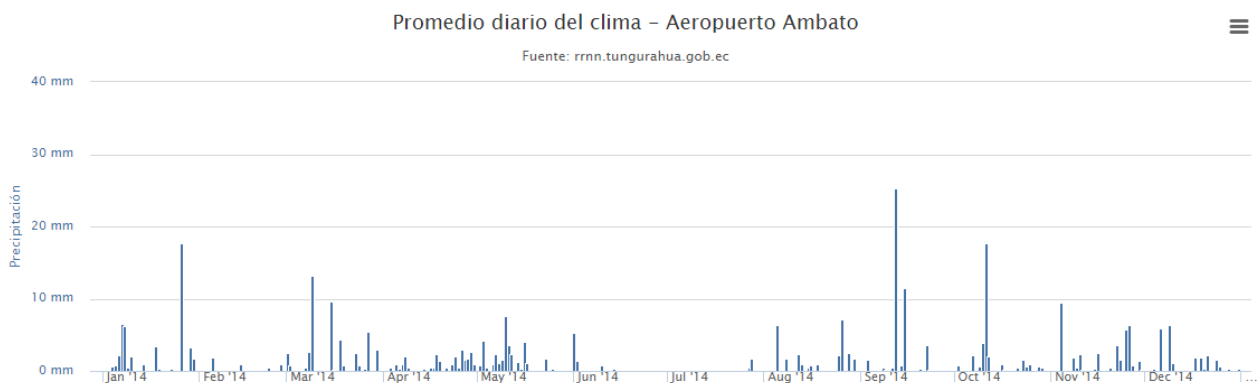


Figura 35: Promedio diario de precipitación en el año 2014

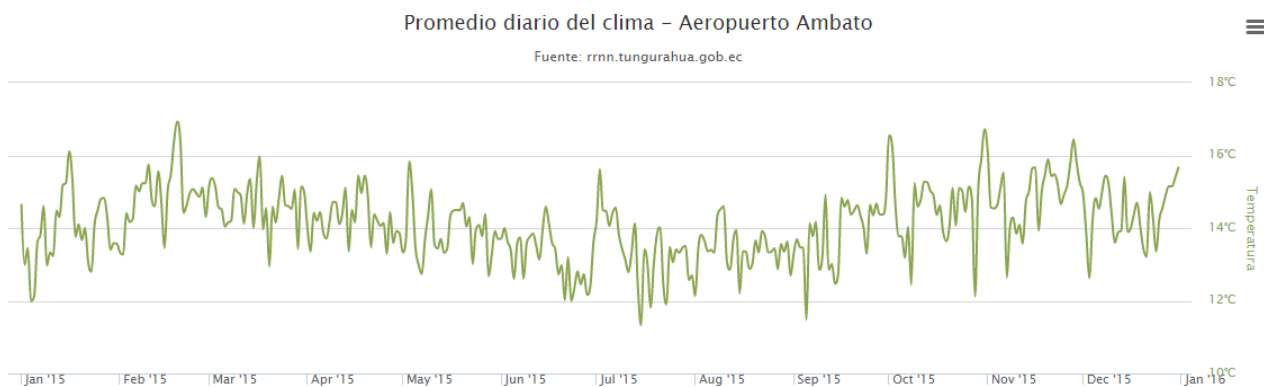


Figura 36: Promedio diario de temperatura en el año 2015

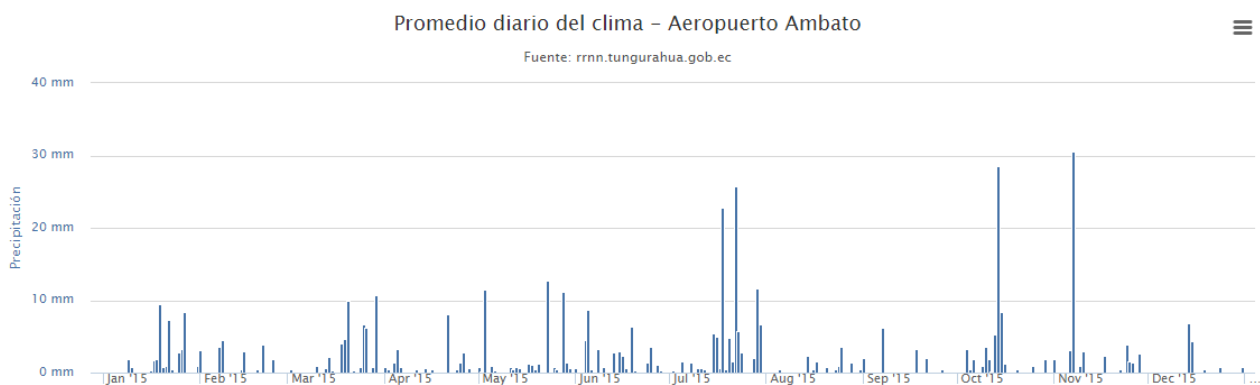


Figura 37: Promedio diario de precipitación en el año 2015

7.2.1.3.- Geología y Geomorfología

La geología y geomorfología ya ha sido anteriormente mencionadas y explicadas al detalle en el apartado 3 de este proyecto, por lo que no entraremos otra vez en materia.

7.2.1.4.- Hidrología

Lo mismo ocurre con la hidrología, la hemos mencionado en apartados anteriores, siendo el dato más relevante en ella la existencia de el río Chambo y Patate en los alrededores a la zona de estudio además de afluentes de los mismos.

7.2.2.- Medio biológico

7.2.2.1.- Vegetación y usos del suelo

La zona consta de una gran variedad de flora natural entre la que podemos mencionar La Chuquiragua, Almohadilla, Achupalla, Pega Pega, Aliso, Bromelias, Arrayán, Pumamaqui, Frailejones, Mortiños, Motilón, Orquídeas, Árbol De Papel, Chocho y el Romero.

La zona rural alrededor de la zona de estudio posee grandes extensiones agrícolas, los principales cultivos son: trigo, cebada, maíz, papas, avena, tomates y cebolla.

7.2.2.2.- Fauna

La fauna que podemos encontrar en la zona va desde conejos, lobos de páramo, pumas, osos de anteojos, cervicabras, ranas, sachacuy, dantas, erizos, liebres hasta venados.

Además cabe destacar también las aves que habitan la zona, como las golondrinas, tórtolas, mirlos, quillícos, chirotes, cóndores, colibríes, plateros, azulejos, gavilanes, águilas, entre otras.

7.2.2.- Patrimonio cultural

El Estudio de Impacto Ambiental no sitúa ningún punto de interés cultural en el entorno de la obra.

7.3.- Medidas protectoras y correctoras.

En las líneas a continuación encontraremos una pequeña descripción de las medidas preventivas y correctoras de los impactos ambientales que pueda ocasionar la construcción del muro y las obras auxiliares y en su fase de uso y explotación, teniendo en cuenta para ello el inventario ambiental antes expuesto.

7.3.1 Accesos, préstamos y vertederos.

Con la finalidad de reducir y eliminar en la medida de lo posible los impactos ocasionados por las instalaciones auxiliares de obra, accesos a la misma y zonas de vertedero y préstamo que puedan ser necesarias, se ha realizado un análisis ambiental de las zonas aledañas a nuestra obra para valorar su ubicación.

Teniendo en cuenta que disponemos de un vial ya existente, podemos utilizar el mismo para el acceso de maquinaria y trabajadores, también para el acopio de materiales, estorbando lo menos posible al posible paso de vehículos.

En cuanto al trabajo de préstamos y vertidos, en este proyecto sólo se contempla la limpieza del talud, que consistirá en la retirada de fragmentos y rocas que comprometan la seguridad en la vía, habrá que tener en cuenta que el material retirado, deberá ser debidamente reubicado o vertido cumpliendo con la norma de Ambiente de Ecuador.

Los accesos que por los trabajos se vean afectados por la circulación de los vehículos de obra y maquinaria, deberán ser restaurados a su estado inicial por cuenta del contratista.

7.3.2 Protección de la calidad del aire

7.3.2.1 Precauciones generales en obra

Se regarán las superficies afectadas por las obras con el fin de minimizar y prevenir en la medida de lo posible el efecto de el polvo sobre construcciones cercanas, cultivos y vegetación arbórea.

Consistirá en el riego periódico de las zonas del talud en las que se requiera la retirada de fragmentos peligrosos, además de efectuar estos riegos cuando en la fase de uso y explotación se realicen los trabajos de limpieza de material en la zona del trasdós del muro. También se regarán los posibles accesos de tierra.

7.3.2.2 Precauciones en el transporte de materiales

Si hay que realizar movimientos de tierra importantes, estos no se producirán en períodos en los que la productividad agrícola sea alta.

Los materiales que deban ser transportados y puedan emitir polvo lo harán debidamente tapados.

7.3.3 Protección y conservación de suelos y vegetación natural.

7.3.3.1 Delimitación de perímetro de actividad de las obras. Jalonamiento temporal.

Con la finalidad de minimizar las zonas afectadas por los trabajos, antes del inicio de los mismos, un replanteo de las zonas de actuación, tanto donde se realizarán las obras, como en zonas auxiliares.

7.3.3.2 Prevención de incendios.

La redacción de un Plan de Prevención y Extinción de Incendios deberá llevarla a cabo el contratista y deberá cumplir con las normas básicas de la Normativa de Incendios de Ecuador.

8.- Conclusiones.

Nos han ocupado en este proyecto los problemas de estabilidad que presenta cierto talud en la carretera que une Riobamba y Baños en las abscisas 3900-4180, la cual bordea el flanco derecho del valle del río Chambo, en Ecuador, que debido a los flujos volcánicos procedentes del volcán Tungurahua ha causado problemas sobre la vía. Nuestro trabajo ha sido por tanto, garantizar la seguridad de los usuarios de dicha vía.

El talud tratado consta de un material poco cohesivo, que consta de fragmentos de roca y de gravas de composición andesítica además de lapilli y pómez, tratándose de un talud de pendiente abrupta, observando material lavado al pie del talud. Por las características mencionadas de la zona se considera que es un sector inestable y del cual nuestro fin será retener la posible masa deslizada y caída de rocas y fragmentos de ellas para que no alcancen la vía.

Se han utilizado programas de análisis geotécnico para estudiar la peligrosidad de dicho talud, los programas han sido RocFall y Slide, ambos de la casa Rocscience. Se han tenido en cuenta, por supuesto, la clara actividad sísmica de la zona, la cual ha provocado en los últimos meses grandes desperfectos y se ha cobrado un gran número de víctimas.

Mediante los resultados obtenidos y ante la imposibilidad de retener la ladera entera, se ha optado por la colocación de un muro en ménsula de hormigón armado para la retención de los fragmentos que pretendan alcanzar la vía y en su caso la contención de un deslizamiento de la ladera, habiendo sido calculado el muro para este estado, considerado como pésimo, puesto que se deberá despejar la zona interior del muro periódicamente para evitar que se de dicho estado pésimo.

Además para evitar que rocas de la parte superior de la ladera puedan ser catapultadas a la vía a través del claro cambio de rasante existente en la misma se procederá a la instalación de una barrera tipo RXE 5000.

Valencia, Junio 2016

AUTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Sergio Araújo Ortega

DNI: 20845691-D