

## I. INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años, se ha observado un creciente número de deslizamientos en la carretera que conecta la Ciudad Guatemala con la Antigua Guatemala. Como es el caso de muchos daños a la infraestructura de nuestro país que pudieron haber sido prevenidos. Esta situación no sólo se da en esta carretera, sino en carreteras de todo el país, siendo esto un problema durante la temporada de lluvias. A causa de estos deslizamientos muchas rutas quedan bloqueadas o interrumpidas, generando congestión o dejando comunidades incomunicadas. Este fue el caso de un deslizamiento en una de las entradas a la Ciudad de Guatemala, en el km. 11, en Mixco, a causa del Huracán Mitch en 1998.

En este trabajo se propone una metodología para hacer una inspección de campo, un breve análisis de estabilidad de taludes y una propuesta de anteproyecto de solución, con el objeto de realizar un análisis de riesgo de los posibles deslizamientos. Dependiendo de los daños que pueda causar, este análisis permitirá clasificar los deslizamientos según su importancia.

Para esta inspección se propone como región de estudio el tramo de las Cañas, RN-10 en los kilómetros 35 al 39. Con objeto de análisis y ejemplo se tomaron cuatro posibles deslizamientos, estos son los más representativos del tramo en estudio.

## II. OBJETIVOS

### A. GENERALES

Proporcionar una metodología para determinar preliminarmente la situación de riesgo de deslizamientos en las Carreteras de Guatemala.

### B. ESPECÍFICOS

1. Llevar a cabo una investigación de campo sobre deslizamientos en la carretera RN-10, Las Cañas, Sacatepéquez.
2. Realizar un análisis de estabilidad de los deslizamientos en estudio.
3. Realizar un análisis del riesgo que representan los deslizamientos en estudio.
4. Crear un anteproyecto de posibles soluciones a los deslizamientos en estudio.
5. Preparar un cuadro que permita analizar el riesgo que representa cada deslizamiento.

### III. MARCO TEÓRICO

#### A. Factores antropogénicos:

1. La alteración de la geometría durante la construcción de la carretera: En carreteras de montaña normalmente se trabaja en sección de media ladera, que significa que la mitad de la carretera está sobre relleno y la otra mitad en corte.

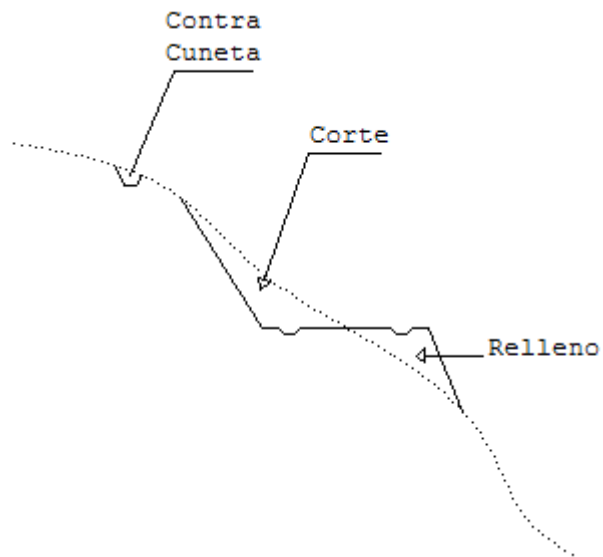


Fig. III.1

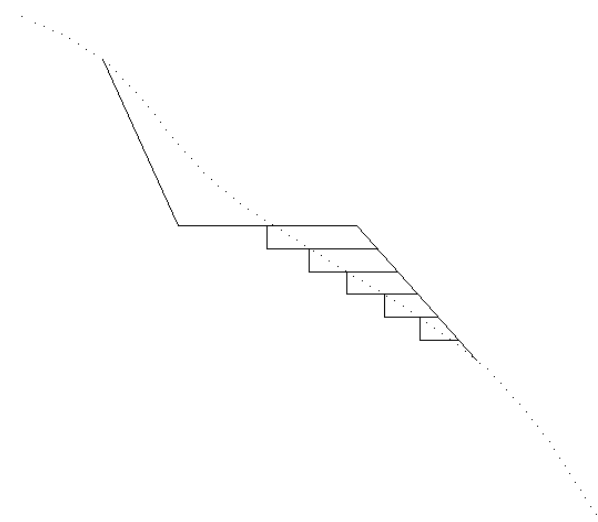


Fig. III.2

Factores que afectan el relleno tenemos:

- Conexión entre relleno y ladera: para poder optimizar esta interacción, se hacen gradas. De esta manera la interacción ladera montaña pasa a segundo plano, y la falla más probable pasa a estar determinada por la fricción interna del relleno.
- Rellenos mal hechos: esto sucede cuando el relleno no se compacta o no se coloca de la forma requerida por el diseño, lo cual a la larga ocasiona deslizamientos.
- La selección del material de relleno es sumamente importante, y es común que por cuestión de costos, se tome material existente en la región, al cual se le deberían hacer pruebas de laboratorio para conocer sus propiedades y comportamiento, para de esa manera garantizar la estabilidad de los rellenos.

2. **Deforestación del talud:** Durante la construcción de una carretera se tiene que remover una gran cantidad de vegetación. Esta vegetación ayuda a reducir la estabilización de los taludes.

3. **Evacuación de agua hacia el talud:** Un método que se utiliza en carreteras es la construcción de contracunetas (Fig. III.1), las cuales se encuentran en la parte superior del talud con el objeto de evitar que el agua sea evacuada hacia el talud y por consiguiente a la carretera.

Es común que se construyan estas contracunetas, pero el problema es que muchas veces, quien le da mantenimiento a las carreteras ignora la existencia de las mismas, ya que éstas no están a la vista, y no se les da mantenimiento, lo que a la larga implica el mal funcionamiento de las mismas.

Los drenajes superficiales de las carreteras son evacuados hacia el talud, pero el talud es protegido por disipadores de energía, que llegan hasta el pie del talud, para prevenir erosión.

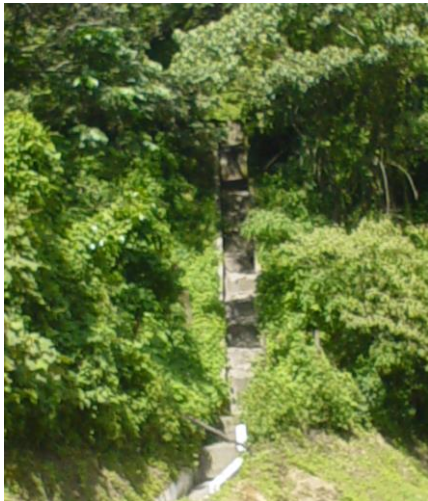


Foto III.1 (disipadores de energía)

4. **Sobrecarga del suelo:** La sobrecarga consiste en agregar peso en la parte superior del talud. Este peso no fue considerado en el diseño del talud.

La sobrecarga se da desde la construcción de la carretera, ya que se introduce maquinaria y transporte, sin embargo, cuando se tienen tramos que son hechos completamente en corte, puede que el peso del material removido haya sido tan grande que ninguna carga que se le puede agregar sea mayor.

Un problema de sobrecarga se puede dar en las secciones de media ladera, en el tramo que está hecho de material de relleno. Puede ser que en algún momento se deje maquinaria en esa sección, y el peso de la misma sea superior al del diseño. De igual manera puede suceder con el mismo material de relleno que éste se deje almacenado en áreas de relleno.

5. **Modificación de la geometría por las construcciones:**



Fig III.3 (sección de talud; corte y relleno)

Un relleno en la parte superior, desestabilizaría un talud. De la misma manera un corte en la base desestabilizaría el talud.

Por el contrario si se hace un corte en la parte superior y se rellena en la base, éstas son medidas que ayudan a la estabilidad del talud. Esto se debe a que si se corta en la parte superior, se reduce el peso, y si se rellena en la parte inferior se da un soporte en el pie del talud.

## B. Intemperismo

1. **Intemperismo Hídrico:** Son los procesos de disgregación de la roca o suelo que son causados por el Agua. Dependiendo de su forma de manifestarse, se pueden tener cuatro tipos diferentes:

**Laminar o de manto:** Consiste en una remoción de delgadas capas de suelo producida por el agua que discurre por terrenos uniformes y de poca pendiente, provocando la pérdida de la porción de suelo con mayor contenido en material orgánico, lo que conduce a un empobrecimiento en elementos nutrientes y a un descenso de la capacidad de almacenamiento de agua. Este es poco perceptible en las primeras fases, ya que

apenas se modifica la superficie del suelo, pero con el tiempo se produce una concentración importante de gravas y guijarros en esa superficie, las raíces de arbustos y otras plantas menores quedan al descubierto y se produce acumulación de tierra en el tramo final de los terrenos en pendiente.

En este tipo de erosión actúan dos procesos: el desprendimiento y arranque de partículas del suelo por efecto del impacto directo de las gotas de lluvia, ocasionando su desplazamiento por salpicadura y el transporte por una delgada lámina de agua denominada flujo laminar.

Arrollada anastomosado o trenzada: La lámina de agua no suele discurrir a mucha distancia, ya que lo más normal es que se concentre en las pequeñas depresiones e irregularidades del terreno formando pequeños hilos de corriente no jerarquizados y de trayectoria cambiante. Los efectos de este tipo de intemperismo sobre la superficie del terreno son similares a los producidos por el flujo laminar.

En Regueros o surcos: Los hilos de corriente de trayectoria cambiante se van concentrando a favor de las líneas de máxima pendiente del terreno apareciendo concentraciones de flujo y aumentos de la velocidad del agua con el consiguiente incremento de la potencia erosiva, llegándose a abrir pequeñas incisiones longitudinales, de hasta 30 cm. de profundidad, con sección en forma de U o V denominados regueros o surcos. Este tipo de erosión se ve favorecido por la caída de aguaceros intensos y por la existencia de una erosión laminar o por arrollada difusa previas.

Cárcavas o barrancos: Si las pequeñas incisiones por las que circula el agua en el terreno no se eliminan, éstas irán progresando en el sentido de aguas arriba captando desprendimientos de materiales de mayor tamaño debido a su falta de cohesión por exceso de humedad, llegando a producir profundas incisiones de más de 30 cm. hasta varios metros de profundidad, confecciones en forma de U, de V o una combinación de ambas. Las cárcavas se producen en terrenos que previamente han sufrido alguna de las anteriores modalidades de erosión. Crecen en profundidad y en anchura por erosión de la corriente de agua y de los materiales que ésta arrastra, por la caída de agua en la cabecera de la cárcava, lo que da lugar a una erosión remontante y por desmoronamiento de las paredes debido a la inestabilidad de la ladera en la que encaja.

La presencia de cárcavas en un terreno indica un estado avanzado de erosión. El daño que producen es muy importante y en ocasiones irreversible. Su estabilización y corrección requieren mover grandes cantidades de tierra, construir pequeñas presas, fijar taludes, frenar la erosión de los terrenos que desaguan en ella y otras acciones que en conjunto pueden llegar a representar un costo económico muy elevado.

2. **Intemperismo Eólico:** Éste es el proceso por el cual el viento recoge y transporta el material superficial suelto, al mismo tiempo que las partículas transportadas desgastan por abrasión las rocas y suelos. El viento por sí mismo no puede desgastar las rocas, la abrasión tiene lugar por la acción de los granos de arena o suelos arrastrados en suspensión. En terrenos despejados, si el viento se mueve en capas o paquetes de aire paralelos a la superficie ordenadamente, las porciones inferiores se desplazan con más lentitud y los efectos erosivos son menores. La rugosidad del terreno, las piedras, la vegetación y otros obstáculos provocan que la velocidad del viento sea mínima cerca de la superficie del suelo y que su poder de arranque sea bajo. Se considera que velocidades del viento de 5m/s o menores a 30 cm. de altura sobre el suelo no son erosivas. Por el contrario, si el viento se desplaza en régimen turbulento, unos paquetes de viento avanzan más

rápidamente que otros, adelantándose y chocando unos contra otros, llegando al suelo porciones de aire a tal velocidad con gran poder erosivo.

Sobre un talud de material seco, disgregado y no protegido por la vegetación, la propia variabilidad del viento en velocidad y dirección, que producen rachas con remolinos y corrientes cruzadas, los remolinos producidos por caldeoamiento del suelo, las concentraciones de flujo de aire por efecto del relieve en incluso las turbulencias creadas por el tráfico rodado en sus proximidades, pueden provocar el arrastre de partículas de suelo que una vez en movimiento son transportadas por suspensión, saltación o arrastre superficial. En suspensión se mueven las partículas finas, normalmente menores a 0.2 mm de diámetro. Una vez levantadas pueden permanecer en el aire durante mucho tiempo debido a las turbulencias y remolinos de aire. Por arrastre superficial, rodadura a lo largo de la superficie del terreno, se mueven las partículas gruesas, generalmente entre 0.5 y 2 mm. Por saltación se mueven las partículas de tamaño mediano, suficientemente ligeras para ser levantadas por ser demasiado grandes para permanecer en suspensión.

## C. Estabilidad de taludes

### 1. Diferentes métodos de análisis:

a. Equilibrio límite: El método de Equilibrio Límite se basa en condiciones de estabilidad, las cuales están expresadas en términos de un Factor de Seguridad, el cual puede definirse como un factor por el que los parámetros resistentes de corte deben reducirse para hacer llegar al talud a un estado de equilibrio límite a través de una superficie de deslizamiento.

Todos los métodos existentes de Equilibrio Límite se basan en los siguientes principios:

- Se supone que existe un estado de equilibrio límite, al menos antes de la rotura.
- Calcula las fuerzas de corte necesarias para equilibrar las rebanadas mediante análisis estático.
- Calcula el Factor de Seguridad por medio de la relación de la resistencia al corte disponible entre la resistencia al corte requerida para alcanzar el equilibrio del deslizamiento.
- Se realiza una iteración para encontrar la superficie de deslizamiento con menor factor de seguridad.

b. Método de dovelas y rebanadas: Para calcular la estabilidad de los taludes en suelos cuya resistencia depende del esfuerzo normal, es necesario calcular el esfuerzo normal efectivo a lo largo de la superficie de falla. No se dispone de una solución rigurosa para los esfuerzos normales, pero el método de las dovelas, desarrollado por Fellenius, ha comprobado que es suficientemente aproximado para estos cálculos.

La zona de falla se divide en rebanadas verticales como se muestra en la figura III.4; no es necesario que todas tengan el mismo ancho y para facilitar los cálculos se hace que sus límites coincidan con las intersecciones de la circunferencia con los estratos de suelo por abajo y con el parámetro del talud por arriba.

Al hacer el análisis se considera que cada rebanada actúa independientemente de las colindantes: no se desarrolla esfuerzo cortante entre ellas y las presiones normales en cada lado de la dovela producidas por las colindantes son iguales.

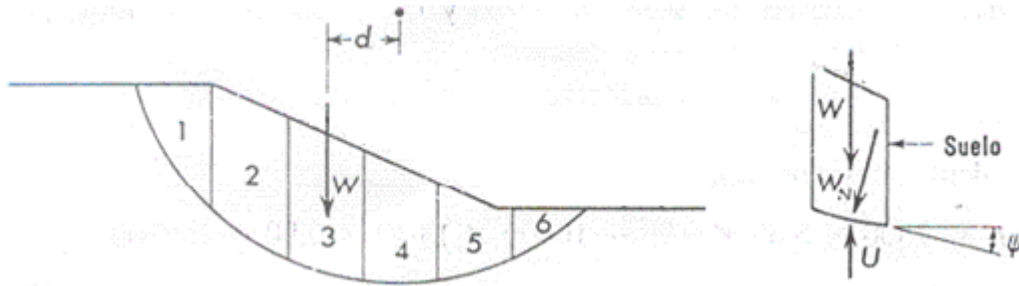


Figura III.4 (sección y forma de las dovelas y rebanadas de un talud)

La fuerza vertical que actúa en cada rebanada,  $W$ , que incluye el peso del suelo más el peso de cualquier carga externa; como una estructura. La fuerza neta o efectiva que actúa hacia abajo en la parte curva de la rebanada, es el peso total menos la fuerza hacia arriba debida la presión de poro,  $W' = W - U$ . La presión de poro  $U$ , se halla multiplicando el esfuerzo neutro  $u$  (que se calcula por la red de flujo) por el ancho de la dovela. Si la rebanada es suficientemente estrecha, la curva inferior se puede sustituir por una línea recta que forme el ángulo  $\psi$  con el eje horizontal. La componente de la fuerza vertical normal al plano,  $W'N$  se calcula, por la expresión  $W'N = W' \cos \psi$ . La resistencia a esfuerzo cortante en ese segmento de arco se puede expresar en la forma siguiente:

$$p' \tan \phi,$$

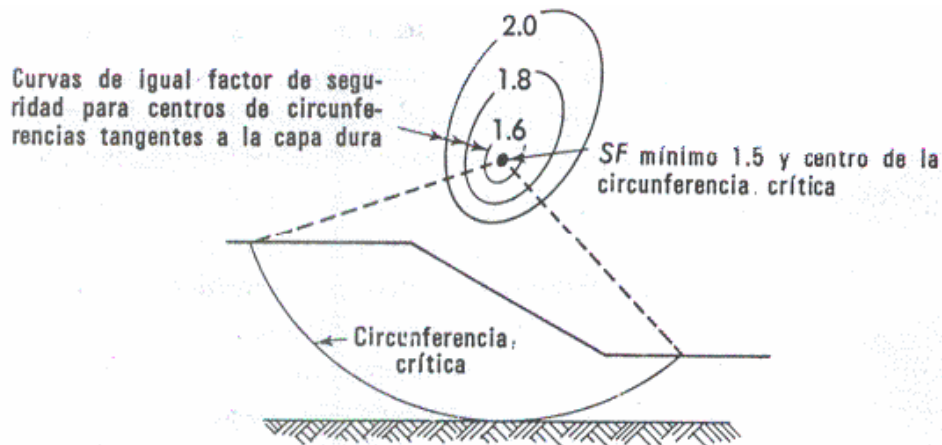
$$s = (c' + W'_N / \Delta L) \tan \phi$$

El momento de las fuerzas verticales es la suma algebraica de los momentos del peso total  $W$  de cada una de las dovelas con respecto al centro de la circunferencia,  $W_d$ . A este momento hay que añadir, algebraicamente, los momentos totales de la componente horizontal de la presión del agua sobre el talud y de la presión del agua en las grietas.

Se han hecho: muchas variaciones y refinamientos de este método básico. Aunque ninguno es riguroso, se ha comprobado que son suficientemente exactos para el análisis y proyecto.

Para hacer el análisis es necesario tantear un gran número de posibles superficies de falla; la que tenga el factor, de seguridad menor será la superficie más crítica, esto es, la superficie en la cual es más probable que ocurra la falla. La forma tabular o la computadora digital son las indicadas para resolver los problemas cuando se emplea esta forma de análisis, a las cuales se adapta bien. Se fija una cuadrícula donde se sitúan los centros de las posibles circunferencias de falla y se establece un rango de valor para los radios de las circunferencias correspondientes a cada centro. Una computadora puede dejar impreso directamente, todos los factores de seguridad o solamente el mínimo (y su radio) para cada centro de circunferencia. Si se dibujan curvas uniendo

los centros de las circunferencias que tienen iguales factores de seguridad mínimo, como si fueran curvas de nivel se puede determinar la ubicación de la circunferencia más crítica (es posible más de una circunferencia en masas no homogéneas) y el factor de seguridad mínimo.



Método para localizar el centro de la circunferencia crítica por las curvas que tienen igual factor de seguridad.

Figura III.5 (sección de círculo de falla del talud)

c. Método de Culmann: Este método se basa en la hipótesis de que la falla de un talud ocurre a lo largo de un plano cuando el esfuerzo cortante promedio que tiende a causar el deslizamiento es mayor que la resistencia a cortante del suelo. Además, el plano más crítico es aquel que tiene una razón mínima entre el esfuerzo cortante promedio que tiende a causar la falla y la resistencia cortante del suelo.

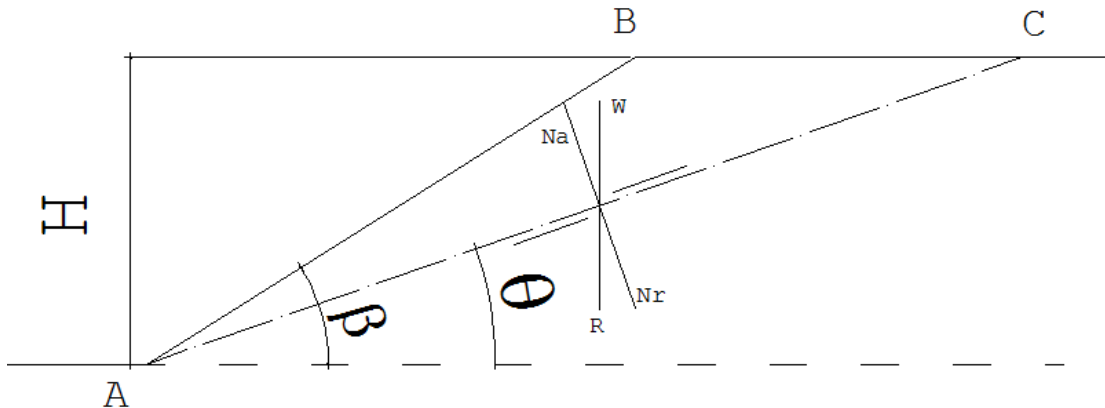


Figura III.6 (sección de falla de talud recta)

El esfuerzo cortante promedio resistente desarrollado a lo largo del plano AC puede ser expresado de la siguiente manera:

$$\tau_d = cd + \sigma' \tan \phi_d$$

Luego después de sustituir las constantes y variables, se plantea una ecuación diferencial, la cual se resuelve y finalmente se llega a:

$$cd = (\gamma H/4) ((1 - \cos(\beta - \phi d)) / (\sin \beta \cos \phi d))$$

De la cual se puede obtener una altura máxima del talud para la cual ocurre el equilibrio crítico, asumiendo que  $cd = c$  y  $\phi d = \phi$

$$H_{cr} = (4c/\gamma) ((\sin \beta \cos \phi d) / (1 - \cos(\beta - \phi d)))$$

d. Estabilidad de taludes infinitos: Un talud infinito es aquel en el que  $H$  es mucho mayor que la altura del talud. La resistencia cortante del suelo se da por:

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

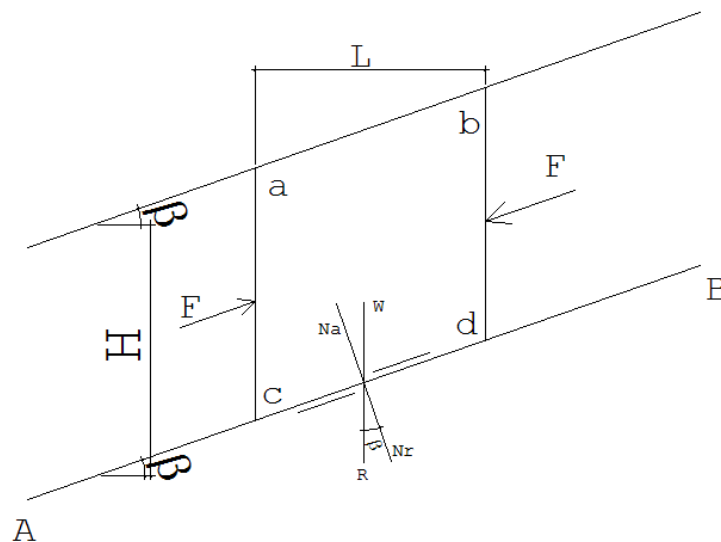


Figura III.7

Si se evalúa el factor de seguridad contra una posible falla del talud a lo largo de un plano  $AB$  a una profundidad  $H$  por debajo de la superficie del terreno. La falla del talud ocurre por el movimiento del suelo arriba del plano  $AB$  de derecha a izquierda.

Si se considera un elemento de talud  $abad$ , que tiene una longitud unitaria perpendicular al plano de la sección. Las fuerzas  $F$  que actúan sobre las caras  $ad$  y  $cd$  son iguales y opuestas y pueden despreciarse. El peso efectivo del elemento de suelo es

$$W = \gamma LH$$

Luego el esfuerzo  $\sigma'$  y el esfuerzo cortante  $\tau$  en la base del elemento del talud son:

$$s' = \gamma H \cos^2 \beta$$

y

$$\tau = \gamma H \cos \beta \sin \beta$$

Luego de determinar las reacciones, se puede determinar el FS, el cual es:

$$FS = (c/(\gamma H \cos^2 \beta \tan \beta) + (\tan \phi / \tan \beta))$$

En el caso de suelos granulares  $c = 0$ , y el FS resulta ser  $\tan \phi / \tan \beta$ , esto indica que, en un talud infinito de arena, el valor de FS, es independiente de la altura y que el talud es estable siempre que  $\beta < \phi$ . El ángulo  $\phi$  para suelos sin cohesión se llama ángulo de reposo. Si un suelo posee cohesión y fricción, la profundidad del plano a lo largo del cual ocurre el equilibrio crítico se determina sustituyendo  $FS = 1$ , en la ecuación anterior, entonces:

$$H_{cr} = (c/\gamma)(1/(\cos^2 \beta (\tan \beta - \tan \phi)))$$

e. Otros métodos: Taludes en arenas:

La estabilidad de un talud homogéneo con su suelo de cimentación, construido con un suelo "Puramente friccionante", tal como una arena limpia, es una consecuencia de la fricción que se desarrolla entre las partículas constituyentes, por lo cual, para garantizar estabilidad bastará que el ángulo del talud sea menor que el ángulo de fricción interna de la arena, que en un material suelto seco y limpio se acercará mucho al ángulo de reposo. Por lo tanto, la condición límite de estabilidad es, simplemente:

$$\alpha = \phi$$

Sin embargo, si el ángulo  $\alpha$  es muy próximo a  $\phi$ , los granos de arena próximos a la frontera del talud, no sujetos a ningún confinamiento importante, quedarán en una condición próxima a la de deslizamiento incipiente, que no es deseable por ser el talud muy fácilmente erosionable por el viento o el agua. Por ello es recomendable que en la práctica  $\alpha$  sea algo menor que  $\phi$ . La experiencia ha demostrado que si se define un factor de seguridad como la relación entre los valores de  $\alpha$  y  $\phi$ , basta que tal factor tenga un valor del orden 1.1 ó 1.2 para que la erosionabilidad superficial no sea excesiva.

f. Programa de cálculo de estabilidad de taludes (SLOPE/W):

i. La mayoría de programas utilizan el método de Mohr-Coulomb para calcular la estabilidad de un talud. Lo más común es que el usuario designe una cuadrícula de centros, para calcular el factor de seguridad de cada uno de los círculos. Para este proyecto se escogió GEO-Slope.

ii. El método de análisis utilizado es el Límite equilibrio con una función circular, se trabaja con esfuerzos últimos, por lo que el factor de seguridad que se busca es  $> 1.5$

iii. La versión estudiantil permite únicamente el uso de 2 materiales, el método utilizado es el de Mohr-Coulomb, los datos requeridos de suelo son peso específico del suelo ( $\gamma$ ), ángulo de falla interna ( $\phi$ ) y cohesión ( $c$ ), los cuales pueden ser obtenidos fácilmente de tablas o pruebas de laboratorio.

iv. Este programa de computadora, se puede obtener por medio de una descarga, desde la página: [www.geo-slope.com](http://www.geo-slope.com), esta descarga es de una versión estudiantil y es gratuita.

v. Esta versión de GeoStudio está designada a ayudar en el proceso de aprender análisis geotécnico. Es una herramienta ideal para profesores universitarios, tanto de pregrado como de postgrado. Esta versión incluye el programa y un cuaderno de trabajo en el cual incluye problemas de laboratorio.

## 2. Métodos de estabilización de taludes:

a. **Revegetación:** La vegetación en los proyectos de ingeniería se utiliza generalmente para reducir el impacto visual ocasionado por las obras y para realzar la calidad paisajística de las zonas donde se ha actuado. Sin embargo, la vegetación también puede jugar un papel importante en el control de procesos y como elemento de protección y conservación del suelo, por la influencia que ejerce sobre él, tanto en superficie, protegiendo y sujetando el suelo, como en profundidad, al incrementar la resistencia y la cohesión de los terrenos. Además, tiene una influencia significativa en el nivel de humedad y en su capacidad de retención del agua. Todos estos efectos pueden resultar beneficiosos o adversos, dependiendo de las circunstancias, aunque indudablemente la mayoría de ellos resultan positivos y relevantes en los proyectos de ingeniería.

Junto con las plantas vivas es práctica común utilizar materiales auxiliares para lograr una estabilidad inicial mientras que el material vegetal se desarrolla y alcanza su efectividad óptima. Estos materiales secundarios van desde mamadera a la piedra, el concreto, las mallas plásticas y las metálicas, las emulsiones, los geotextiles, las redes y las mantas orgánicas, etc.

La vegetación influye en la forma en la que es transferida el agua de la atmósfera al suelo y modifica en cierta medida los sistemas de drenaje superficial y profundo de este. La existencia de una cubierta vegetal incrementa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y su tasa de infiltración. Como consecuencia, se produce una reducción del volumen y velocidad de la escorrentía, con el consiguiente efecto sobre la intensidad y extensión de los procesos erosivos.

También la existencia de una capa vegetal aumenta la resistencia y la estabilidad del suelo en el que se desarrolla, al tiempo que protege la superficie de los terrenos ante la acción de agentes externos, como pueden ser el viento o el pisoteo de personas y animales.

Efectos hidrológicos de la vegetación:

- Intercepción: esto se refiere a la proporción variable del volumen de agua de precipitación recibida.
- Evapotranspiración: este describe el conjunto de pérdidas de agua en forma de vapor debido a la evaporación de la lluvia interceptada por la vegetación y la transpiración de las plantas.
- Infiltración: se refiere a la tasa de permeabilidad del suelo, la cual es mayor en suelos provistos de vegetación que en suelos desnudos.
- Se debe resaltar que no cualquier planta es apropiada para ayudar en la estabilidad de un talud, por lo que la elección de la misma es crucial.

b. Remodelación de geometría: Este método es básicamente reducir las fuerzas desestabilizadoras en un talud. Los métodos existentes se utilizan cuando el material presenta características determinadas, como pueden ser la escasa cohesión y el bajo ángulo de fricción en un suelo producto de la alteración de un macizo rocoso.

Algunos métodos y una breve explicación

- Teoría de la Línea muerta: En este apartado se expone cuál es el proceso de desestabilización más común en suelos y a su vez, se explica, mediante la técnica de la representación de la línea neutra, donde sería más adecuado ejecutar cualquier tipo de obra.
- Descarga de Taludes: La descarga de taludes es una técnica utilizada para reducir las fuerzas que pueden provocar que una masa de terreno se deslice.
- Descabezamiento de los Taludes: Consiste en retirar cierta cantidad de material de la parte superior del talud
- Retirada de materiales inestables

- Tendido o reperfilado de los taludes: Este no sólo reduce las fuerzas desestabilizadoras, sino que además produce un soterramiento de la superficie potencial de rotura en el sustrato.
- Banqueo de los taludes: consiste en modificar la morfología de un talud de gran altura en varios de alturas más pequeñas o en otras palabras escalonar los taludes.

### c. Drenajes:

Funciones:

- Control del movimiento del agua superficial
- Control de la influencia del agua infiltrada en el comportamiento del nivel freático
- Reducción de la presión de poro.

Los drenajes profundos controlan de forma efectiva los efectos del agua de infiltración dentro del terreno. En general, suelen ser los más económicos y también son los más efectivos a la hora de desalojar grandes volúmenes de agua infiltrada, disminuyendo la presión de poro en los puntos de mayor posibilidad de deslizamiento.

1) Drenajes superficiales: La función de estos drenajes es el control del agua superficial, este control es sumamente importante, ya que previene el daño que el agua puede ocasionar a un talud.

Para los drenajes superficiales se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- Área y tipo de la cuenca de recepción
- Intensidad de la lluvia
- Pendiente y longitud del talud que se desea drenar
- Condiciones del terreno en superficie y en el sustrato
- Naturaleza y extensión de la vegetación

Dentro de estos drenajes superficiales se debe incluir los disipadores de energía.

2) Drenajes Subterráneos: El propósito principal de estos drenajes es el control de la infiltración.

Los posibles sistemas de drenajes profundos son los siguientes:

- Mantos drenantes: Estos son utilizados para coleccionar agua en terraplenes o rellenos, con el fin de evitar una sobrecarga y presión de poro.
- Zanjales de drenaje: Estas zanjales se construyen cuando existe flujo de agua subterránea y/o cuando los terrenos de baja calidad se encuentran a una profundidad que la retirada de los mismos no resulta práctica.

- Drenes horizontales o californianos: Este tipo de drenajes se emplea en aquellos casos en los que la profundidad del agua subterránea es tanta que el costo de retirar el terreno o de instalar zanjas de drenaje resulta prohibitivo. Los drenes horizontales suelen diseñar para reducir las presiones de infiltración en los taludes y prevenir su rotura.

- Pozos verticales: La función principal de estos pozos es la de reducir la presión de poro en aquellas capas en las que sea imposible llegar mediante métodos de excavación a cielo abierto o bien donde sea imposible practicar drenajes horizontales tanto por razones económicas como constructivas.

- Galerías de drenaje: Es un sistema de drenaje que debe ser considerado cuando se necesite desaguar un talud que sea tan amplio que solamente pueda drenarse con un número elevado de drenajes horizontales, lo cual no resultaría rentable, o bien cuando resulta impracticable realizar las excavaciones del terreno.

d. Muros de Gravedad: Los muros son una técnica utilizada para contrarrestar las fuerzas desestabilizadoras en un talud mediante la aplicación de una fuerza externa que incrementa las fuerzas resistentes.

En el caso de los muros de gravedad su propio peso actúa como elemento estabilizador.

Existen distintos tipos de muros de gravedad, entre los cuales tenemos:

1) Muros de concreto ciclópeo: Su relación altura y ancho suele estar entre 1.5 a 2. Se puede destacar su facilidad de contratación y su reducido costo cuando sean de poca altura.

Los inconvenientes de este tipo de obras, se relacionan directamente con el peso, ya que este determina su fuerza resistente y si existen materiales de tipo arcillosos en los cimientos, pueden plantear serios problemas. Tampoco es conveniente utilizar este tipo de estructuras para grandes alturas, por las relaciones que deben existir entre la base y la altura, ya que se dispararían los costos.

2) Muros de tierra armada: Estos son muros construidos mediante toneladas de material de relleno, colocando entre estos elementos tales como bandas metálicas, materiales plásticos, elementos prefabricados de concreto o geotextiles, reforzando el muro y proporcionando, mediante el rozamiento entre el suelo y los diferentes elementos estructurales, estabilidad al conjunto.

El uso de tierra armada en la estabilización de taludes en suelos es muy común, ya que presenta una serie de desventajas, entre las que se encuentran las siguientes:

- Construcción fácil y rápida

- Muy apropiados para sustratos rocosos de mala cimentación, ya que se transmiten tensiones muy pequeñas al terreno. También se ajustan fácilmente a los pequeños cambios en los asientos.

- No presenta límites en cuanto a la altura o a la longitud de construcción de los mismos.
- Resistentes a las corrosión, lo que los hace ser estructuras duraderas.
- La tierra armada presenta mayor resistencia al corte que el suelo sin tratamiento.

En general, no existen criterios de diseño estándar para este tipo de muros, sin embargo, siempre deben cumplir con dos condiciones:

- Debe existir suficiente fricción entre los elementos de refuerzo y el material de relleno, con el fin de evitar el deslizamiento.
- Debe procurarse una densidad de elementos de refuerzo.

El uso de los geosintéticos en la construcción de muros de tierra, son utilizado particularmente una vez se ha producido la falla o bien cuando el proceso de inestabilidad está próximo y siempre que el talud no se encuentre protegido con alguna medida de estabilización.

Los geotextiles, han aportado un gran número de soluciones para la construcción de terraplenes en carretera combinados con materiales como los suelos, aumentando la capacidad soporte de los mismos o solucionando problemas de inestabilidad por las propiedades resistentes derivadas de las interacciones entre estos dos elementos.

Ventajas:

- No requiere de cimentación
- Una vez finalizada la construcción del muro, éste se integra perfectamente con el entorno gracias a la cubierta de vegetación.
- Asimilan cualquier tipo de deformación debido a la flexibilidad de la estructura.
- La relación entre los costos y la resistencia del muro los hacen muy atractivos a la hora de escoger un sistema de estabilización.
- Los costos de mantenimiento son mínimos si el muro ha sido correctamente construido.

3) Muros de gaviones: Un gavión consiste en una estructura paralelepípedica elaborada con mallas metálicas de alambre galvanizado de triple torsión y rellenas con las piedras más cercanas a las obras.

Estos comenzaron a usarse en obras fluviales, pasando más tarde a emplearse en la construcción de estructuras de contención y sostenimiento.

Ventajas:

- No usan cimentación

- Adaptación al terreno
- Fácil diseño y construcción rápida
- Mano de obra no especializada
- Trabajan fundamentalmente por gravedad
- Son flexibles y capaces de soportar ciertos asentamientos sin fracturarse
- Presentan condiciones de drenaje y durabilidad excelentes
- Son económicos.

Existen 2 tipos de Gaviones:

- Gaviones tradicionales: muros, azudes, cabeceras de obras de fábrica, etc.
- . Gaviones para recubrimientos: protección de márgenes de ríos, canales, estribos de puentes, plataformas de cimentación.
- Los elementos fundamentales utilizados en la construcción de gaviones son:
  - La jaula: que es de alambre de acero galvanizado de triple torsión, con una resistencia a la tracción, con medidas de escuadría variables y una galvanizado de cinc.
  - Material de relleno: por lo general se utiliza piedra caliza, granito, cuarcita o productos procedentes de demoliciones de demoliciones como ladrillos o concreto.
  - Peso específico del material a usarse: este es un factor crítico en el diseño y construcción de gaviones, ya que de él depende la estabilidad del muro.

#### e. Muros de semigravedad

1) Muros de concreto en voladizo: Estos llevan por dentro una armadura de acero, la cual está diseñada para trabajar a flexión.

Su forma de trabajar, es una combinación del peso de la estructura, y los momentos generados por la forma de la estructura. En algunos casos se utilizan contrafuertes, que pueden estar en la cara expuesta del muro o bajo el talud.

Un contrafuerte le brinda un mayor momento de inercia a la estructura, que ayuda en la flexión del muro y lo hace más estable.

Estos muros de concreto, pueden ser divididos en dos: Fundidos en sitio y prefabricados: los prefabricados pueden ser pretensados.

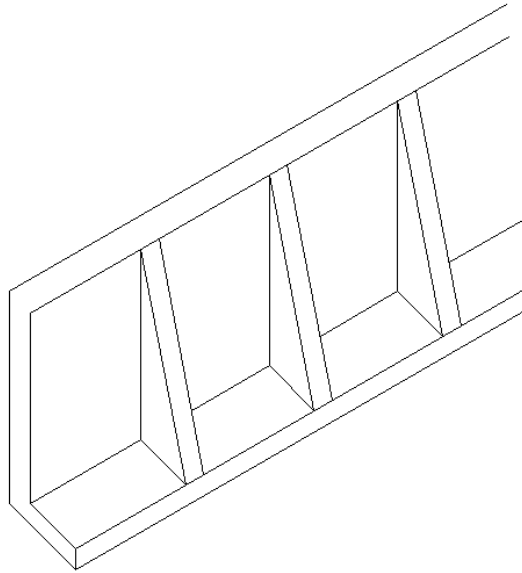


Figura III.8 (sección isométrica de un muro de concreto en voladizo con contrafuertes)

#### f. Muros de no gravedad:

1) Suelo clavado: Este consiste en la introducción de clavos en un talud, la construcción de estos muros debe hacerse de arriba hacia abajo, durante la excavación.

Las perforaciones oscilan entre 100 y 300 mm. de diámetro, donde se introducen varillas de acero de 25 a 35 mm. de diámetro, que son llamadas clavos, para luego cubrirlas con sabieta. Esta sabieta debe tener una depresión de 200mm o menos. El colocado se hace por medio de un tubo de 1" de diámetro, el cual se introduce hasta el fondo y se va retirando conforme se llena la perforación.

Luego de haber colocado los clavos, se le da un recubrimiento de concreto lanzado, el cual tiene un espesor típico de 100 mm en caso de muros temporales y de 250 mm en caso de muros definitivos, y es reforzado con acero.

La estabilidad del muro esta dividida en dos partes:

Estabilidad interna:

Cuerpo del clavo

Cabeza del clavo

- Esfuerzo de tensión
- Fricción clavo sabieta
- Fricción sabieta suelo.

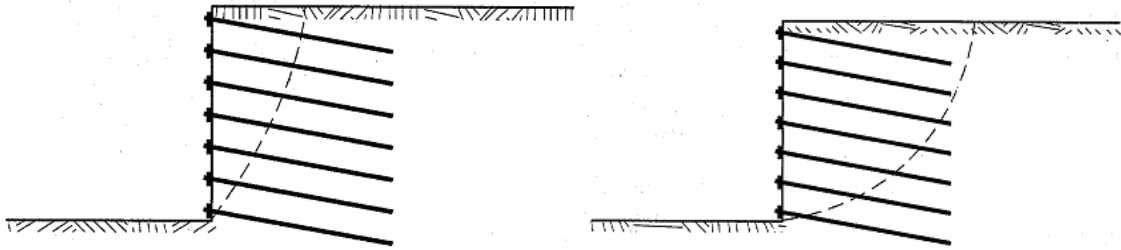


Fig III.9 (secciones de un muro de suelo clavado, y su falla típica)

Estabilidad externa

- Deslizamiento
- Volteo
- Capacidad soporte del suelo

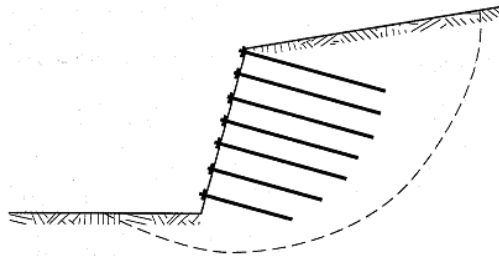


Fig III.10 (sección de un muro de suelo clavado, y su falla típica)

Una construcción exitosa del suelo clavado depende de:

- Selección de aplicaciones en suelo apropiado
- Habilidad de responder rápidamente a cambios en el suelo
- El uso racional del procedimiento de diseño para el muro y cada uno de sus componentes.

La idea del suelo clavado es que la masa de tierra en cuestión trabaje como un solo bloque, formando un muro de gravedad. El aporte de los clavos a la estabilidad del talud es principalmente a corte. Este corte se genera en el lugar donde el plano de falla atraviesa los clavos, de manera que en esta parte del plano de falla, el cortante de suelo a suelo es ayudado por el corte resistente de los clavos..

2) Muros anclados: Los anclajes en suelos consisten en cables o barras colocados dentro de taladros y tensionados después de que ha sido inyectado el concreto en los mismos. En el caso de excavaciones poco profundas, los anclajes en suelos trabajan más como elementos estructurales de sujeción.

La resistencia a tracción de un anclaje depende del coeficiente de fricción y de su resistencia en el punto de inicio de la inyección. En el caso de suelos granulares, la resistencia es función de la profundidad, de la densidad y del valor del ángulo de resistencia interna del material, así como de las dimensiones del propio anclaje.

Dependiendo del tipo de anclaje, éste puede tener una precarga o no, esto determina si el esfuerzo que sostiene al talud se genera conforme el movimiento o se tiene desde el principio. Este esfuerzo se genera a partir del bulbo de anclaje y la fricción del cable o barra. Este bulbo de anclaje tiene que estar fuera del área de falla para poder estabilizar un muro, de manera que este anclaje trabaja tanto a tensión como a corte en el lugar donde el plano de falla atraviesa la barra o cable.

- Partes de un anclaje:

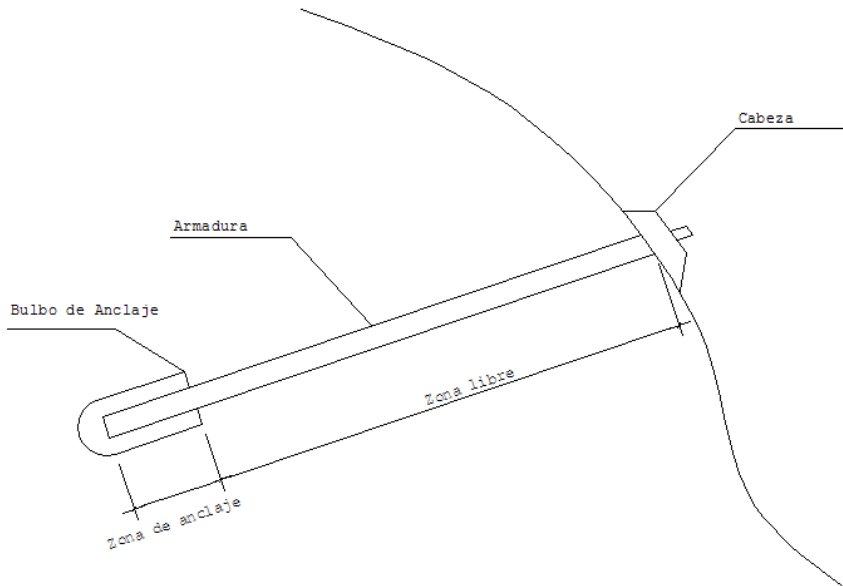


Fig III.11 (sección típica de un anclaje)

Tipos de anclajes:

- Por su funcionamiento:

- Pasivos: No se tensa luego de la instalación, sino que se carga conforme el talud entra en movimiento.
- Activos: Luego de la instalación se tensan hasta alcanzar su carga admisible.
- Mixtos: consiste en tensar el ancla con una carga inferior a la admisible.

- Por su fabricación:

- Anclajes de barra: tienen un diámetro entre 16 y 50 mm, longitud entre 1 a 12 m.
- Anclajes de cables: consisten en varios cables. Son flexibles y aptos para lugares con poco espacio.
- Anclajes mecánicos: estos anclajes son empujados en la tierra, que luego se giran desde la superficie, y se despliega un anclaje en el fondo.

Factores a tomar en cuenta previo a la instalación de los anclajes:

- Evaluar la fuerza total del anclaje que se requiere de forma detallada.
- Establecer el número, tamaño y localización de los anclajes individuales.
- Averiguar a qué profundidad se encuentra el suelo firme, y si soporta las cargas que se apliquen.

- Asegurarse de que los anclajes estén revestidos para evitar los procesos de deterioro de los mismos, como la corrosión.
- Realizar inspecciones periódicas para verificar que la obra ha sido realizada correctamente.

3) Pilotes: Estos son elementos de cimentación, los cuales pueden ser ubicados en pozos o pueden ser hincados en el suelo. Este método debe usarse cuando existan estratos estables y competentes a poca profundidad.

Los pilotes pueden trabajar de dos maneras:

- Como un muro a flexión: Este caso se da cuando se quiere estabilizar un corte vertical. Su forma de trabajar es similar a los muros de semigravedad, ya que trabajan a flexión en el punto A, con la diferencia en que éstos no son continuos.

La tierra que es contenida, genera una fuerza ( $F_V$ ), la cual empuja el muro, y como la otra mitad del pilote se encuentra bajo tierra ésta genera una fuerza resistente ( $F_R$ ), mayor que  $F_V$ . Estas dos fuerzas, a su vez generan momentos, de los cuales  $M_R$  debe ser mayor que  $M_V$  para que el talud sea estable.

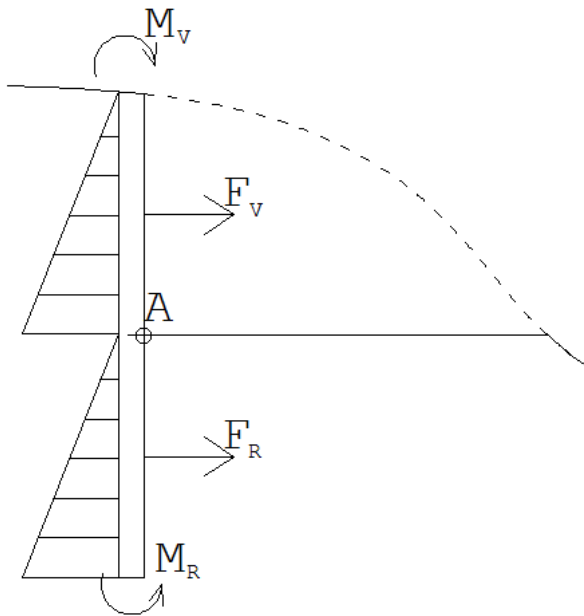


Fig. III.12 (sección de pilotes)

- A corte y Flexión: En este caso el pilote queda completamente cubierto por tierra, y lo atraviesa el plano de falla.

En el lugar donde el pilote es atravesado por el plano de falla, este ayuda a la estabilidad por medio de su resistencia al corte.

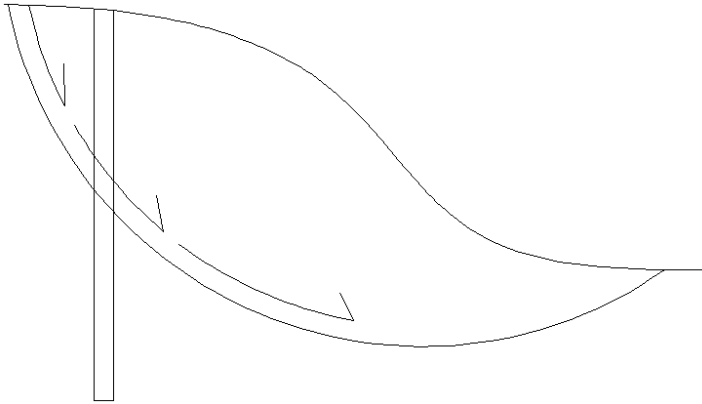


Fig. III.13 (sección de pilotes)

## Funciones:

- Medida estabilizadora de deslizamientos potenciales
- Como sostenimiento de taludes.

## 4) Estabilización en Roca:

- Remoción de material rocoso: este método consiste en remover el material rocoso inestable, y darle una menor pendiente al talud. Esta opción es similar al remodelado geométrico de un talud.
- Anclajes: Estos funcionan de la misma manera que los mencionados anteriormente. Generan un momento resistente.
- Mallas o redes metálicas: este consiste en el recubrimiento del talud por medio de mallas metálicas. Este método funciona como complemento a los anclajes.

## Métodos de estabilización de taludes en suelos (Holtz y Schuster, 1996)

Categoría	Actuación	Aplicación	Limitaciones	Observaciones
Evitar el problema	Cambiar el emplazamiento de obra	Siempre una alternativa	Ninguna en fase de planificación Altos costos si se ha realizado el diseño o se está ejecutando la obra.	Estudios detallados de la nuevas propuestas para asegurar la mejora de las obras
	Rellenar de materiales inestables	Excavación de pequeñas cantidades de material a poca profundidad en suelos pobres	Las excavaciones pueden ser costosas no es aconsejable para grandes deslizamientos	Se debe realizar un análisis previo de la situación
	Instalación de Puentes	En zonas de colina con movimiento de tierras en niveles superficiales	Pueden ser costosas y no proporcionan el soporte lateral suficiente para restar movimiento a los posibles deslizamientos	Estudios previos de las cargas para establecer una buena estabilidad en la obra

Reducir las Fuerzas desestabilizadoras	<p>Cambiar la línea de pendiente</p> <p>Drenajes superficiales</p> <p>Drenajes profundos</p> <p>Reducir el peso</p>	<p>Durante el diseño preliminar de proyecto</p> <p>En cualquier esquema del diseño como medidas correctas</p> <p>En cualquier talud donde se incremente la estabilidad reduciendo la cantidad de agua subterránea</p> <p>En cualquier fenómeno potencial real de deslizamiento</p>	<p>Afecta a la sección de las vías en la zona de remodelación</p> <p>Medida correctora que afecta sólo a la escorrentía superficial y procesos de infiltración de esta</p> <p>No son efectivos cuando la masa deslizante es insensible a los drenajes</p> <p>Se requieren de materiales poco pesados que pueden ser costosos; se necesitan escombreras; requieren expropiaciones</p>	<p>La instalación de la vegetación es fundamental para esta medida</p> <p>El análisis de estabilidad debe tener en cuenta las presiones intersticiales provocadas por la infiltración.</p> <p>Se requieren análisis de estabilidad para asegurar las zonas donde se van a situar los materiales ligeros.</p>
Incremento de los momentos resistentes aplicando fuerza externas	<p>Contra fuertes o muros</p> <p>Instalación de anclajes</p>	<p>En un deslizamiento existente en combinación con otros métodos</p> <p>Donde está limitado el derecho de expropiación</p>	<p>Pueden presentar problemas de asentamiento en ciertos tipos de suelos; requiere expropiaciones</p> <p>Requiere una resistencia del suelo a las fuerzas de cizalla de los anclajes</p>	<p>Se deben considerar la elaboración de bernas para limitar las expropiaciones</p> <p>Se requiere estudios de las propiedades del suelo in situ método económico dependiendo del sistema de anclaje que se vaya a utilizar</p>
Incremento de la resistencia interna	<p>Drenajes profundos</p> <p>Muros de tierra armada</p> <p>Instalación de refuerzos in situ</p> <p>Bioingeniería</p> <p>Tratamiento químico</p> <p>Electroósmosis</p> <p>Tratamiento térmico</p>	<p>En cualquier deslizamiento donde el nivel freático se encuentra por encima de la superficie de deslizamiento</p> <p>En diques y laderas donde se necesite reconstruir un deslizamiento</p> <p>Estructuras temporales en suelos resistentes</p> <p>En taludes de altura moderada</p> <p>Cuando la superficie de deslizamiento está bien definida y el suelo reacciona positivamente a esta medida</p> <p>Rebaja la presión intersticial incrementa la resistencia al corte de los suelos</p> <p>Para reducir la sensibilidad de las arcillas agua</p>	<p>Requiere personal especializado</p> <p>Se debe contar con la durabilidad de los materiales a largo plazo</p> <p>Se requiere que tanto los bulones o los anclajes como los micro pilotes perduren a largo plazo</p> <p>Climáticas; pueden requerir irrigación en épocas secas; vida de las especies vegetales</p> <p>Puede ser reversible; no se ha comprobado la efectividad a largo plazo; impacto medioambiental desconocido</p> <p>Requiere alimentación energética constante y mantenimiento</p> <p>Requiere costos de ejecución y mantenimiento elevados para el secado artificial o la congelación del subsuelo</p>	<p>Se deben considerar los cambios de los esfuerzos a los que los refuerzos son sometidos durante la construcción</p> <p>Se deben realizar ensayos de terreno; estos métodos no tienen un diseño bien establecido</p> <p>Diseño mediante prueba y error además de experiencia</p> <p>Estudios en laboratorio de la interacción entre el suelo y el tratamiento; requiere un estudio de impacto ambiental se utiliza como medida de energía cuando ningún otro mecanismo se puede utilizar</p> <p>Es un método experimental costoso</p>

Métodos de estabilización de taludes en suelos (Holtz y Schuster, 1996)

## D. Riesgos:

Riesgo es la probabilidad de que suceda un evento, en este caso deslizamientos, daños materiales y pérdida de vida humana.

El riesgo que se va a manejar en esta tesis, es el riesgo que representa un deslizamiento, o en otras palabras que pérdidas puede llegar a ocasionar el deslizamiento, y si este puede ser prevenido o no.

Las pérdidas que estos deslizamientos pueden generar son:

1. **Humanos:** En la Ciudad de Guatemala, muchas personas viven en laderas de montañas, y en barrancos, éste es un fenómeno que se da en todo el país. Podemos decir que en general la población en Guatemala no está consciente del riesgo que representa la construcción en laderas. Ya que al construir no sólo se está alterando el suelo, sino también se está sobrecargando el mismo, lo cual aumenta el riesgo a un deslizamiento.

Es importante concienciar a las personas sobre el riesgo que representa vivir en estos lugares, y no sólo esto, también se debe concienciar a las autoridades, para la realización de obras preventivas y, de ese modo, minimizar en lo posible el riesgo de pérdida de vida humana.



Fig. III.14 (sección con deslizamiento probable)

En el caso particular de una carretera, no sólo los habitantes de la región se ven expuestos a este riesgo, sino también los usuarios de la carretera, ya que por un evento fortuito ellos pueden quedar enterrados bajo los escombros, o irse con todo y derrumbe.

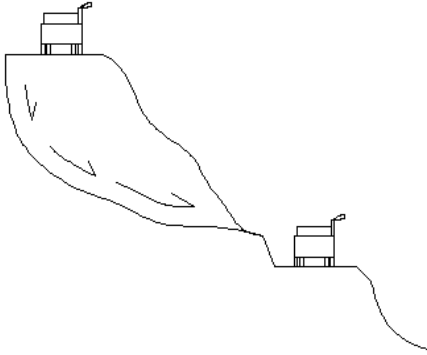


Fig III.15 (sección con deslizamiento probable)

## 2. Económicos

### a. Directos

1) Mantenimiento no previsto: A las carreteras se les tiene que dar un mantenimiento periódico, en el cual se incluye la limpieza de la carretera. Un mantenimiento no previsto sería la limpieza de un deslizamiento, que cubra una sección de la carretera y alguna de las cunetas.

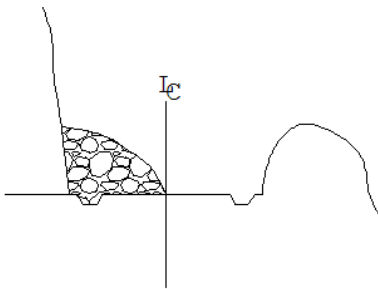


Fig III.16 (sección de carretera con deslizamiento)

2) Daño a la carretera: Estos daños se pueden dar por diversas razones, entre las cuales tenemos el daño que puede causar la mano de mica a la carretera, durante la limpieza de la misma si no se tiene cuidado. Otro caso es el deslizamiento de parte de la carretera, o el deslizamiento total de la misma.

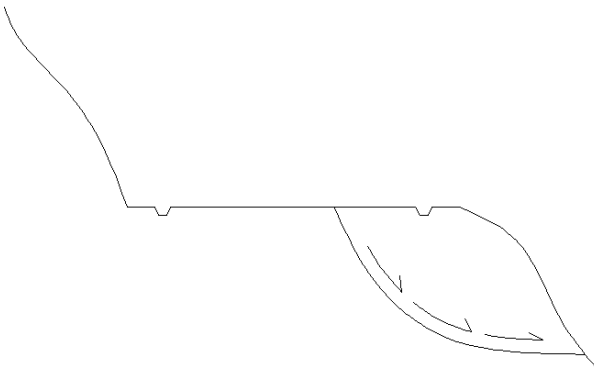


Fig III.17 (sección de carretera con deslizamiento)

3) Necesidad de muros de contención: Esta necesidad puede darse tanto para protección de deslizamientos que interrumpan la carretera, como para la protección del talud en donde se encuentra apoyada la carretera.

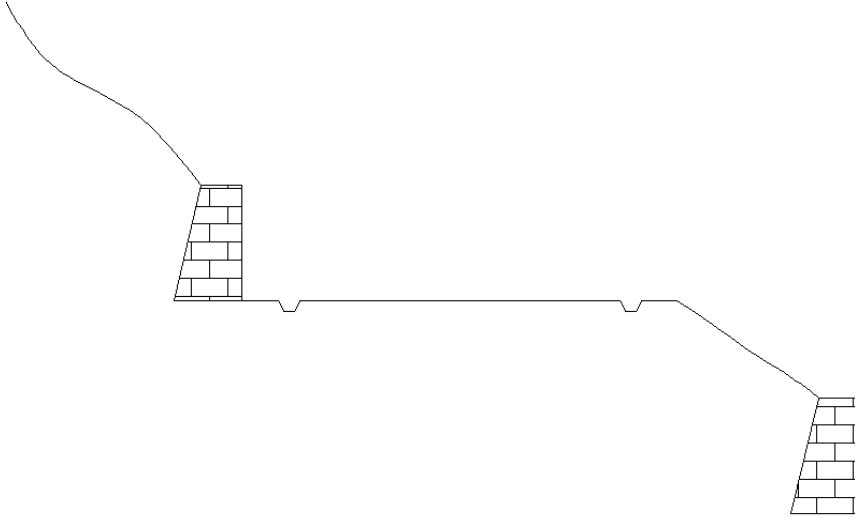


Fig III.18 (sección de carretera con muros de contención)

4) Embalses por deslizamientos: Este caso se da cuando el deslizamiento es lo suficientemente grande como para bloquear un río. Este embalse se va llenando con el tiempo, y finalmente éste llega a su punto crítico y falla, generando un deslave grande que puede llegar a causar daños en comunidades cercanas

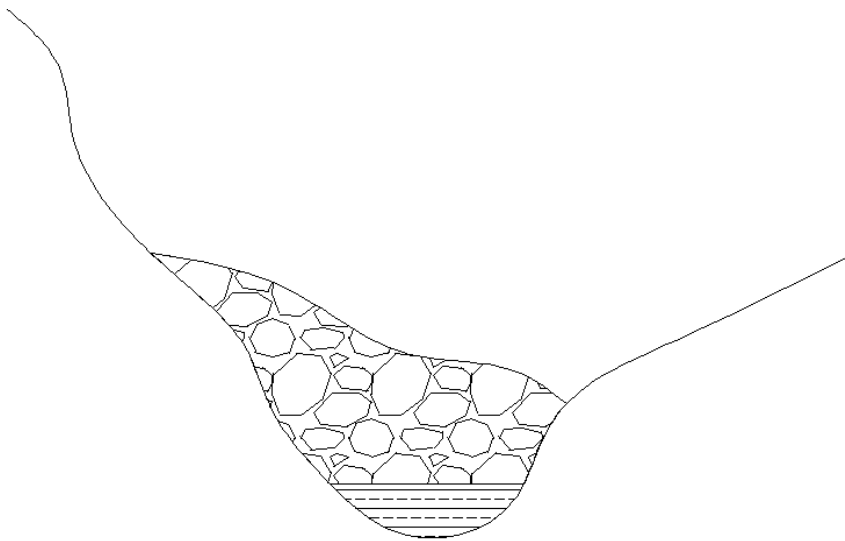


Fig III.19 (sección de río con deslizamiento)

b. Indirectos:

1) Impacto al turismo: La Antigua Guatemala es probablemente el centro turístico más importante de Guatemala. Debido a que no hay acceso por tren o avión, el tránsito en la carretera es el método utilizado por los turistas. La imposibilidad o incomodidad en el acceso podría dañar la imagen de la Antigua a corto y mediano plazo, esto afectará directamente en los ingresos debido al turismo.

Esta carretera es altamente transitada, en particular por tránsito proveniente de la Ciudad de Guatemala. Existen épocas altas para el turismo, entre las cuales se tienen a Semana Santa, y otra muy importante es agosto, ya que una gran cantidad de salvadoreños llegan a la Antigua durante este mes.

Si en determinado caso se llega a interrumpir la entrada principal de la Antigua, el turismo se vería afectado seriamente, ya que habría mucho tránsito para entrar a la ciudad.

2) Impacto al comercio: En los últimos años, ha ido creciendo la cantidad de transporte pesado, ya que se remodeló la ruta RN-14, llegando a Escuintla y conectando con la CA-2, la cual hacia el este conecta con Santa Rosa y luego El Salvador, y al Oeste Con Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango, y finalmente México. Por otro lado, hacia el Norte, se encuentra la RN-10, la cual es la región en estudio, que conecta con la CA-1, la cual llega a la Ciudad de Guatemala hacia el este y con Quetzaltenango el Oeste. Como se puede ver la Antigua G. se encuentra en medio de una red de carreteras, entre centros importantes de comercio.

## E. Monitoreo

El monitoreo de un talud es importante, ya que puede que este talud sea estable, pero por un evento fortuito como un terremoto o huracanes, este puede volverse inestable, estos eventos son conocidos como mecanismos de disparo.

### Tipos de monitoreo

1. **Inspección visual:** Esta consiste puramente en observación de cambios en los taludes. Las personas de mantenimiento de la carretera pueden observar cambios y reportarlos, también los mismos habitantes pueden informar, inclusive pueden hacerlo de una manera más precisa debido a su conocimiento de la zona.

2. **Mediciones topográficas:** En el caso de los taludes se pueden colocar mojones a lo largo del talud, con un punto de control. La ubicación de este punto de control debe ser en un lugar que no se mueva. Finalmente se toman medidas periódicas.

### 3. Instrumentación de taludes:

#### Piezómetro:

El piezómetro sirve para monitorear el cambio en el nivel freático. El nivel freático en el talud afecta directamente a la estabilidad del mismo.

#### Inclinómetros:

Estos son apropiados para mediciones de desplazamientos laterales y deformaciones en suelo, roca y estructuras de contención. Estos son precisos y estables.

Este método consiste en hacer perforaciones a lo largo de una línea definida en el talud e introduciendo tubos en las mismas. Luego en periodos determinados se baja a través del tubo un instrumento llamado inclinómetro.

El inclinómetro puede transmitir señales de su ubicación y su rumbo. Estas señales son interpretadas para determinar la forma exacta de la tubería. Si la tubería ha cambiado su forma, esto se interpreta como un movimiento. Si el movimiento es constante se asume que el talud está en movimiento y probablemente en un estado límite de equilibrio.

#### Colocación de inclinómetros:

- Monitoreo de taludes y deslizamientos, para detectar zonas de movimientos y establecer si este movimiento es constante, acelera, o está respondiendo a medidas de corrección.
- Monitoreo de muros, pantalla de pilotes para el chequeo de deflexiones, las cuales deberían de estar dentro de los límites establecidos. Para observar que las anclas estén actuando como se esperaba, o que edificios adyacentes no se vean afectados por los movimientos del suelo.

#### Extensiómetros:

Estos son apropiados para diversas aplicaciones, como monitoreo de bóvedas subterráneas, y estabilidad de grietas internas en concreto. También pueden ser usadas en monitoreo de taludes de roca y en túneles. Son fáciles de instalar y poseen una larga vida útil y son altamente confiables.

## IV. Región de estudio:

### A. Antecedentes de la región:

1. **Situación Demográfica:** Aproximadamente en el año 2000, hubo una explosión demográfica en el Km. 34 de la carretera RN-10, en lo que se conoce como Santa Lucía Milpas Altas, en este tramo, varias personas realizaron construcciones de vivienda en las orillas de la carretera. Conforme fue pasando el tiempo, este fenómeno se ha trasladado a otros sectores en la carretera y según se puede observar, sigue sucediendo.

Las casas observadas en el tramo de estudio no son construcciones temporales de madera y lámina, sino que son construcciones de mampostería. Para la construcción de muchas de estas casas se tuvieron que hacer cortes y rellenos, lo cual altera el talud y debe ser tomado en cuenta para el análisis de estabilidad de taludes.

2. **Importancia de la carretera:** Este tramo de la carretera RN-10 forma parte de una red de carreteras que llega a Escuintla por medio de la RN-14, por la cual circula transporte pesado comercial, lo cual coloca a la Antigua Guatemala en medio de lo que podríamos llamar una carretera comercial.

Esta ruta también es altamente transitada por turistas, tanto nacionales como internacionales. Se debe resaltar que la Antigua Guatemala es uno de los focos de atracción turística de Guatemala, por lo que sería extremadamente perjudicial que su ruta principal de acceso quedara bloqueada o dañada.

### B. Factores antropogénicos observados en la región de estudio

1. **La alteración de la geometría durante la construcción de la carretera:** Este es un factor presente en todos los taludes en estudio.

2. **Sobrecarga del suelo:** La sobrecarga del suelo empezó con la construcción de la carretera, y el flujo transporte (pesado y liviano), pero éstos son factores que se tuvieron que haber tomado en cuenta cuando se diseñó la carretera. Las sobrecargas no contempladas son las ocasionadas por construcciones de rellenos para las edificaciones.

3. **Deforestación del talud:** Como se ha mencionado anteriormente, las orillas de carretera están llenas de casas, y como consecuencia de la urbanización se tuvo una deforestación bastante extensa, no sólo para construir, sino también para siembras.

Durante una de las visitas de campo se pudo observar la base del talud Norte en el Km. 35, el cual estaba sumamente deforestado, no sólo por la tala de árboles, sino también por un incendio pequeño en el área.

La deforestación no es un fenómeno aislado a esta área, ya que a aproximadamente a 5 Km. se encuentra el basurero municipal.

4. **Evacuación de agua hacia el talud:** El problema principal de estos taludes, es la evacuación de agua. Un método que se utiliza en carreteras es la construcción de contra cunetas (Fig. A), las cuales se encuentran en la parte superior del talud con el objeto de evitar que el agua sea evacuada hacia el talud y por consiguiente a la carretera.

Es común que se construyan estas contra cunetas, pero el problema es que muchas veces, quien le da mantenimiento a las carreteras ignora la existencia de las misma, ya que éstas no están a la vista, y no se les da mantenimiento, lo que a la larga implica el malfuncionamiento de las mismas.

Idealmente la evacuación del agua de la carretera, y de los taludes debió haber sido contemplada durante la construcción de la carretera, y al control de agua superficial (cunetas), se le debió de haber dado un mantenimiento periódico.

Esta falta de mantenimiento o falta de planificación ha permitido que el agua erosione el talud, haciendo a éste más propenso a sufrir derrumbes.

*En esta foto se puede observar como el agua baja por el talud en forma de humedad*

Foto IV.1



*En esta foto se puede observar la consecuencia de la erosión del agua*

Foto IV.2



Sin embargo, el agua de lluvia no es el único factor con respecto a la erosión, sino también obras hechas por los habitantes, que no han contemplado las consecuencias de la falta de planificación. Como lo es el caso de un rampa en el Km34.7

*En este caso el agua que se evacua desde la rampa ha erosionado el talud, y no sólo eso, también ha acarreado basura que a largo plazo puede tapar los drenajes superficiales de la carretera.*



Foto IV.3

Otro caso es el del Km35.5, en este caso sí se pensó en la erosión del talud, pero no se considero la evacuación de agua directamente a la carretera, ya que cuando hay lluvia, las cunetas no se dan abasto con toda el agua evacuada desde la rampa.



Foto IV.4

También se debe tomar en cuenta que las casas de la región no cuentan con drenajes, y las agua negras generadas por las personas son evacuadas muchas veces por drenajes superficiales, para luego ser evacuadas al talud o a la carretera (dependiendo de en qué lado de la carretera sea la casa).

5. **Modificación de la geometría por las construcciones:** Este factor consiste en el relleno o corte a los lados de la carretera a causa de construcciones. Estas construcciones pueden ser casas, señales de tránsito, drenajes, etc.

### C. Sección típica de la carretera:

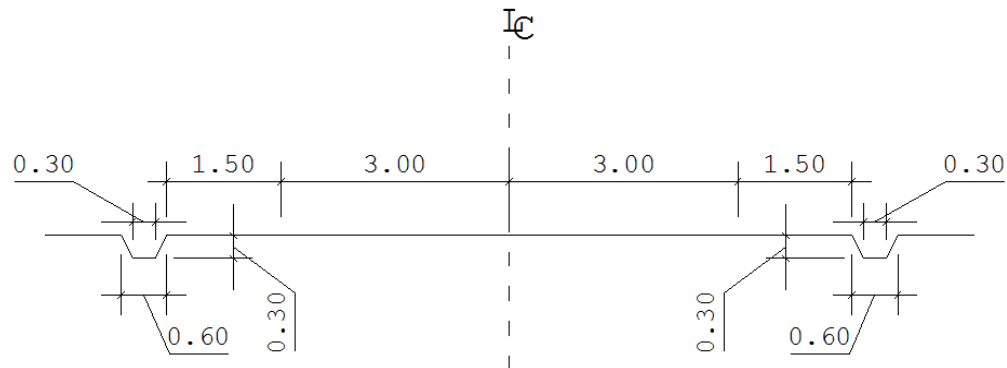


Fig. IV.1 (garavito o sección típica de la carretera)

### D. Ubicación:

Km. 35 a 39, RN-10 Las Cañas, Sacatepéquez.

#### 1. Acceso

Partiendo de la Ciudad de Guatemala, se toma la carretera interamericana CA-12, para luego en San Lucas se toma la RN-10, En el Km. 35.1.

## V. Análisis de estabilidad de taludes:

### A. Métodos simplificados

#### 1. Deslizamiento 1. Km. 35.3

##### a. Antecedentes



Foto V.1

*En esta foto se puede observar una clara tendencia del movimiento del talud, ya que originalmente este tramo era recto. También se pueden observar grietas en la cuneta, las cuales se han ido separando con forme el paso del tiempo.*

1) Comportamiento Previo: en el año 2000, se empezó a ver un movimiento, el cual se presentó como un cambio del nivel en la carretera, y con cuero de lagarto en un área relativamente pequeña. Este movimiento continuó hasta que se pudo observar una grieta con forma de parábola.

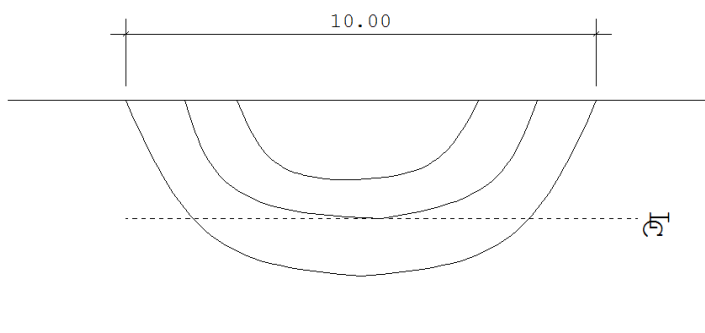


Fig. V.1 (planta con curvas a nivel)

## 2) Factores antropogénicos observados en el sector

a) La alteración de la geometría durante la construcción de la carretera, este es un factor presente en todos los deslizamientos en estudio.

b) Modificación de la geometría por las construcciones, en este caso existen construcciones en ambos lados de la carretera. Y en este caso se han hecho cortes y relleno para la construcción de las mismas.

c) Deforestación del talud: Este sector se ha deforestado por la expansión de las construcciones, y por la contaminación que representan las mismas. También en una de las visitas de campo se pudo observar que algunas partes del talud se habían incendiado recientemente. Estos incendios pueden haber sido ocasionados por eventos naturales o antropogénicos.

d) Evacuación de agua hacia el talud: este talud no cuenta con contra cunetas, por lo que el agua corre por el talud directamente a la carretera, deteriorando de esta manera la cara del talud.

También existe el problema de drenaje de las casas, las cuales, en su mayoría cuentan con drenaje a flor de tierra, la cual posteriormente es evacuada hacia el talud o hacia las cunetas de la carretera.

e) Sobrecarga del suelo: Las cargas observadas son la carretera, que es de  $1 \text{ ton/m}^2$ , las casas en las orillas y finalmente postes de luz.

### b. Geometría:

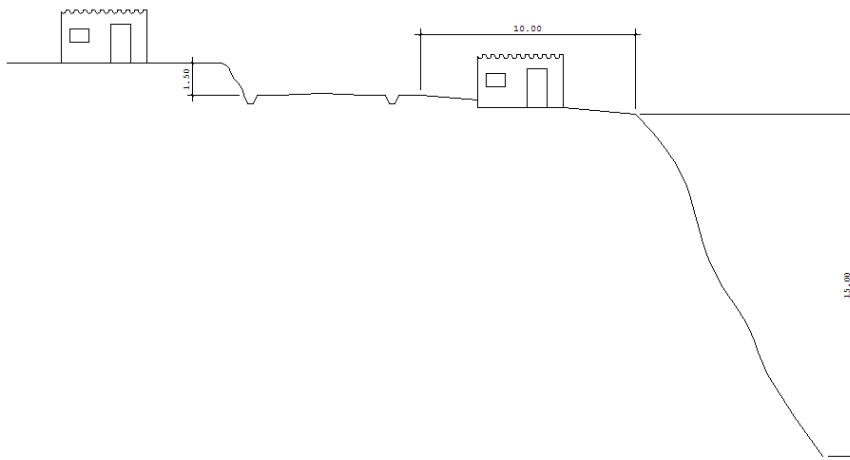


Fig. V.2 (sección transversal de la carretera)

c. Perfil estratigráfico: En este caso se pudo observar un cambio de pendiente en el talud, por lo cual se propuso la existencia de dos estratos de suelo, de los cuales se tomaron muestras de cada uno de ellos. Y se determinaron sus propiedades en el laboratorio.

	$\gamma$	$\phi$	C
Arena 1	$14 \text{ KN/m}^3$	$25^\circ$	$13 \text{ KN/m}^3$
Arena 2	$15 \text{ KN/m}^3$	$27^\circ$	$15 \text{ KN/m}^3$

Propiedades de materiales V.1

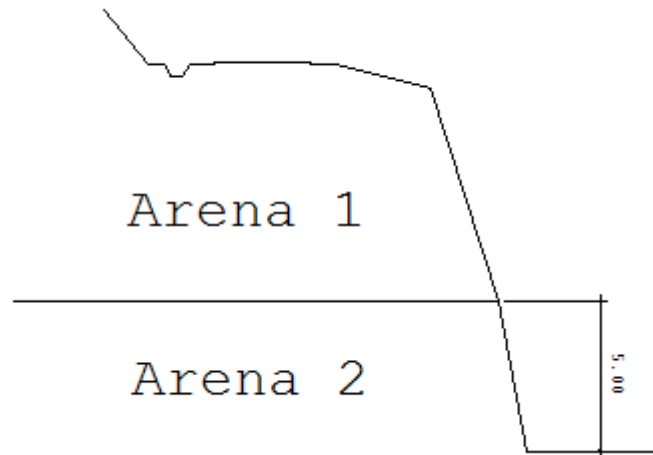


Fig. V.3 (perfil estratigráfico)

d. Cargas Externas: Las cargas que se tienen en este tramo son las de la carretera, que es  $1 \text{ ton/m}^2$ , también se debe considerar el peso de las casas que se encuentran en el sector, y finalmente las cargas puntuales de los postes de alumbrado público.

e. Análisis de Estabilidad:

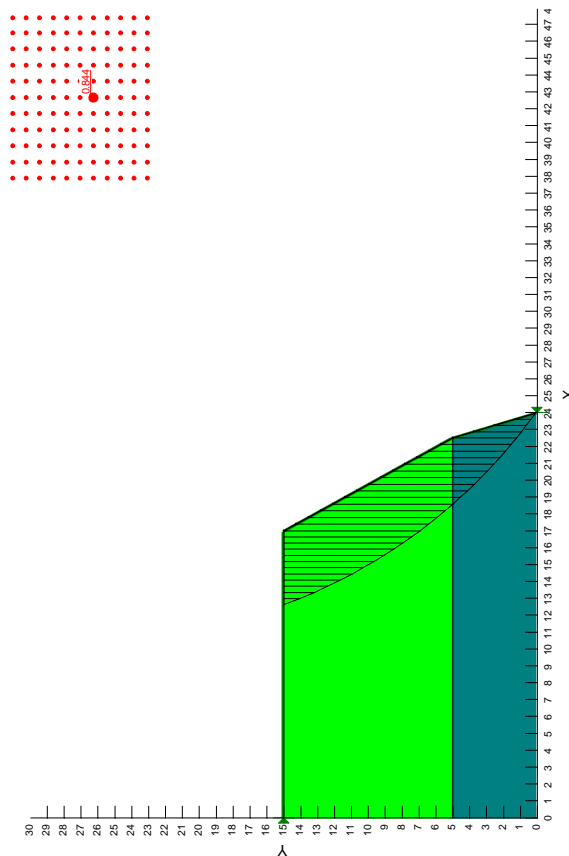


Fig. V.4 (sección de talud con círculo de falla crítico)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	43,26
Radio	32

Parámetros de análisis V.1

*Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.*

Según el análisis en Slope-W, por medio del método de Equilibrio Límite el factor de seguridad de este talud es de 0.84.

## 2. Deslizamiento 2. Km. 36.1

### a. Antecedentes:



Foto V.2

1) Comportamiento previo: En los años anteriores se han podido observar varios deslizamientos en esta área en particular. Lo que ha sucedido es el desprendimiento del material del que consta el talud.

2) Factores antropogénicos observados en el sector:

- a) La alteración de la geometría durante la construcción de la carretera.
- b) Evacuación de agua hacia el talud: este talud no cuenta con contra cunetas, por lo que el agua corre por el talud directamente a la carretera, deteriorando la cara del talud.
- c) Sobrecarga del suelo: Las cargas observadas son la carretera, que es de  $1 \text{ ton/m}^2$ .

b. Perfil estratigráfico: En este caso sólo se cuenta con un material, del cual se tomó muestra y se realizaron sus respectivas pruebas de laboratorio. Este material es similar a los dos anteriores.

	$\gamma$	$\phi$	C
Arena 1	$14 \text{KN/m}^3$	$25^\circ$	$13 \text{KN/m}^2$

Propiedades de materiales V.2

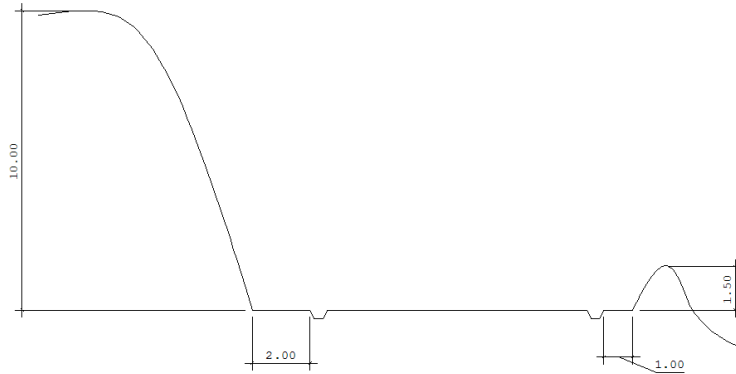


Fig. V.5 (sección transversal de la carretera)

c. Cargas Externas: Las cargas que se tienen en este tramo son las de la carretera, que es  $1 \text{ ton/m}^2$ .

d. Análisis de Estabilidad:

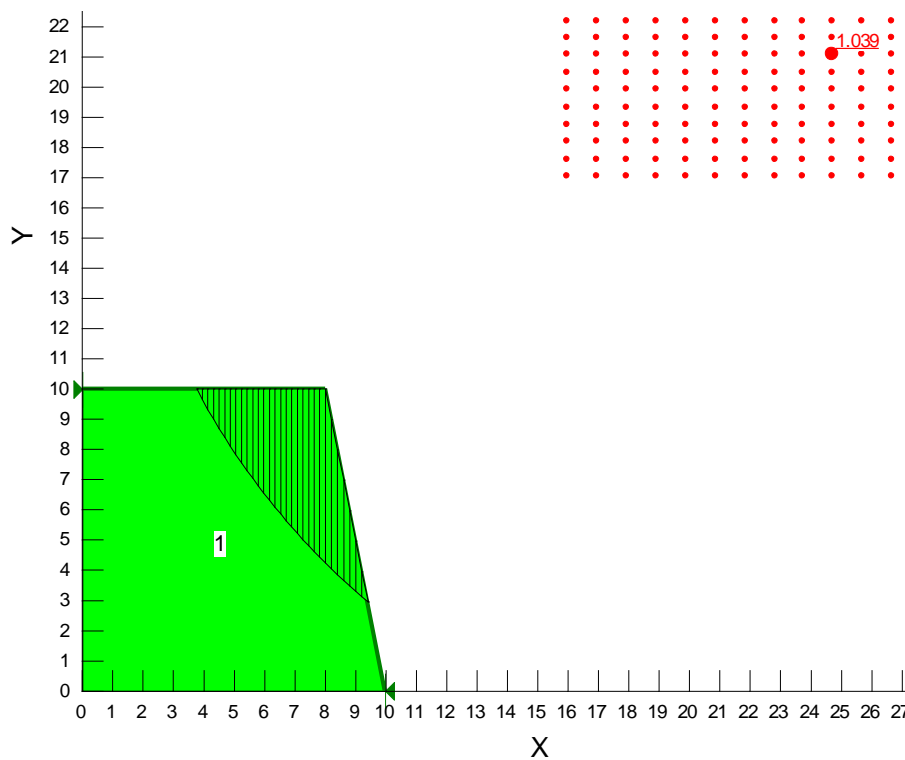


Fig. V.6 (sección de talud con círculo de falla crítico)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	24.5,21
Radio	23.71

Parámetros de análisis V.2

*Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.*

El factor de seguridad en este caso es 1.039, ello nos indica que se encuentra en un estado límite.

### 3. Deslizamiento 3. Km. 36.8

#### a. Antecedentes:



Foto V.3

En esta foto se puede observar, una grieta que esta separando una sección del talud.

1) Comportamiento previo: este talud, da problemas en cada invierno, debido a la erosión del agua, y la falta de protección de la cara del talud. Estos desprendimientos de material han llegado a cubrir un carril de la carretera completo.

#### 2) Factores antropogénicos observados en el sector:

a) La alteración de la geometría durante la construcción de la carretera. Este es un corte relativamente reciente, ya que hace aproximadamente nueve años, durante la remodelación de la cuesta las cañas, se realizó este corte, junto con la rampa de emergencia que se encuentra adyacente.

b) Deforestación del talud: Éste por ser un corte casi vertical, es difícil el crecimiento de plantas, y cuando éstas logran crecer, normalmente son removidas por los desprendimientos de material el cada invierno.

c) Evacuación de agua hacia el talud: este talud no cuenta con contra cunetas, por lo que el agua corre por el talud directamente a la carretera.

d) Sobrecarga del suelo: Las cargas observadas son la carretera, que es de  $1 \text{ ton/m}^2$

b. Perfil estratigráfico: Este talud está compuesto por un solo material. Este material es muy similar al material 1 del deslizamiento 1.

	$\gamma$	$\phi$	C
Arena 1	$15 \text{KN/m}^3$	$26^\circ$	$14 \text{KN/m}^2$

Propiedades de materiales V.3

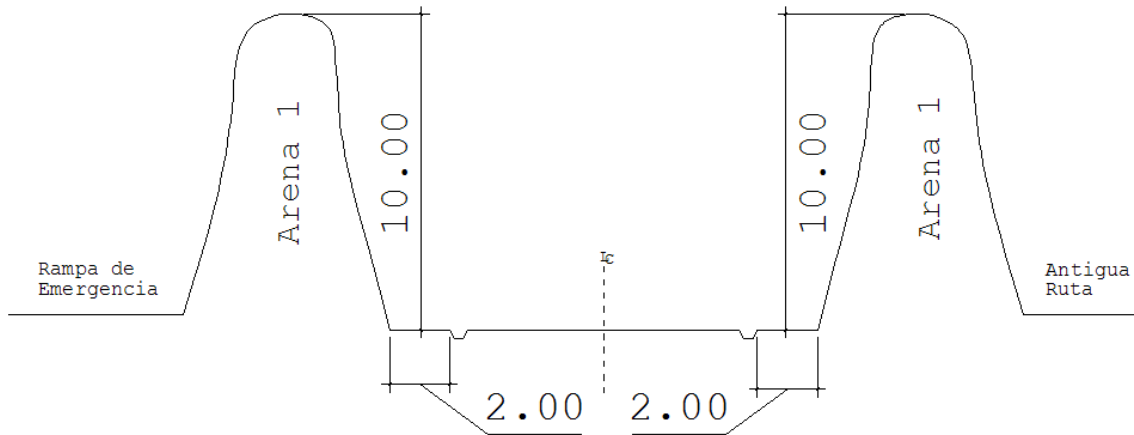


Fig. V.7 (perfil estratigráfico)

c. **Cargas Externas:** Las cargas que se tienen en este tramo son las de la carretera, que es  $1 \text{ ton/m}^2$ , también se debe considerar el peso de las casas que se encuentran en el sector, y finalmente las cargas puntuales de los postes de alumbrado público.

d. **Análisis de Estabilidad:**

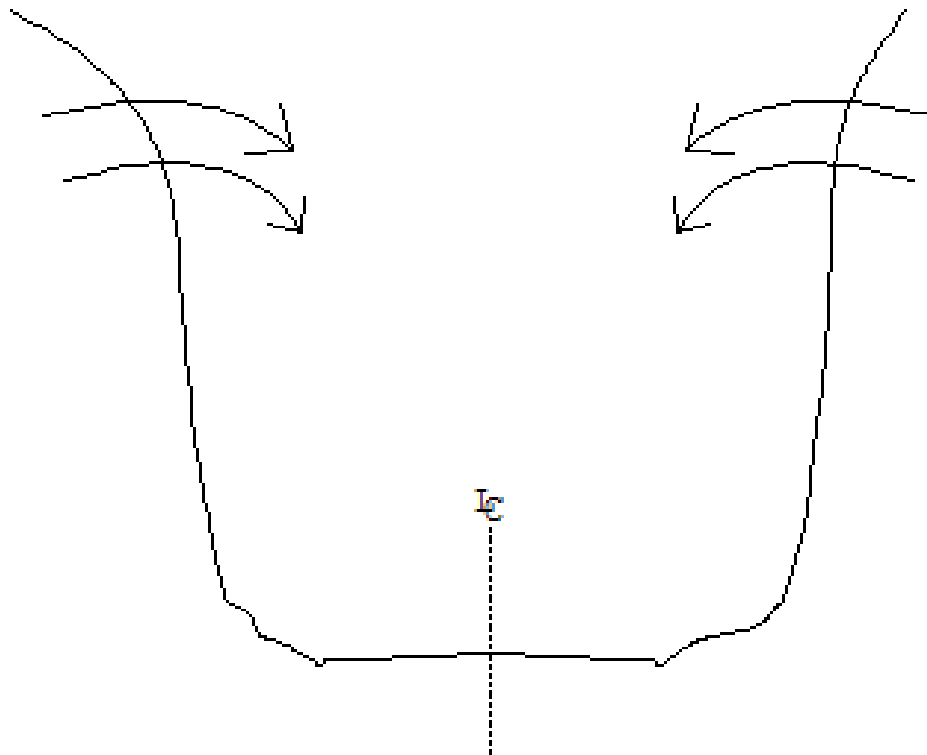


Fig. V.8 (sección transversal de la carretera)

*Como ambos taludes son aproximadamente del mismo alto (15m aprox.) se asume que su factor de seguridad es el mismo.*

Para el análisis de estabilidad, se toma una falla circular, en el pie del talud.

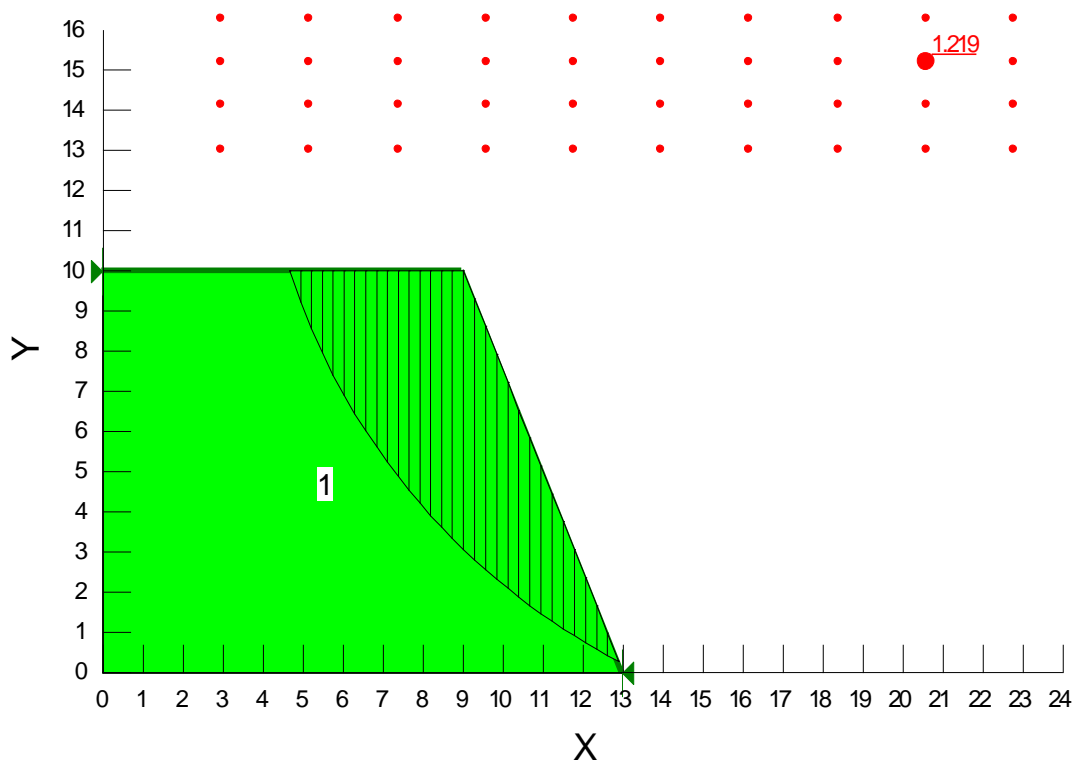


Fig V.9 (sección del talud con círculo de falla crítico)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	20.5,15
Radio	16.75

Parámetros de análisis V.3

*Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.*

El FS = 1.219

#### 4. Deslizamiento 4. Km. 37.3

##### a. Antecedentes:

1) Comportamiento Previo: Este problema se presentó a principios del invierno de 2005, ya que se pudo observar el paso de una corriente de agua por encima de la carretera. Y luego se pudo observar los daños a los lados de la protección existente.

##### 2) Factores antropogénicos observados en el sector:

- a) La alteración de la montaña, durante la construcción de la carretera.
- b) Evacuación de agua hacia el talud: en este caso el agua viene de una canalización de agua en el talud, que se encuentra protegido por disipadores de energía. Este flujo pasa por debajo de la

carretera, por medio del drenaje transversal, para ser evacuado por medio de más disipadores de energía. Luego este flujo llega al río Pensativo.

c) Sobrecarga del suelo: Las cargas observadas son la carretera, que es de  $1 \text{ ton/m}^2$ .

b. Geometría:

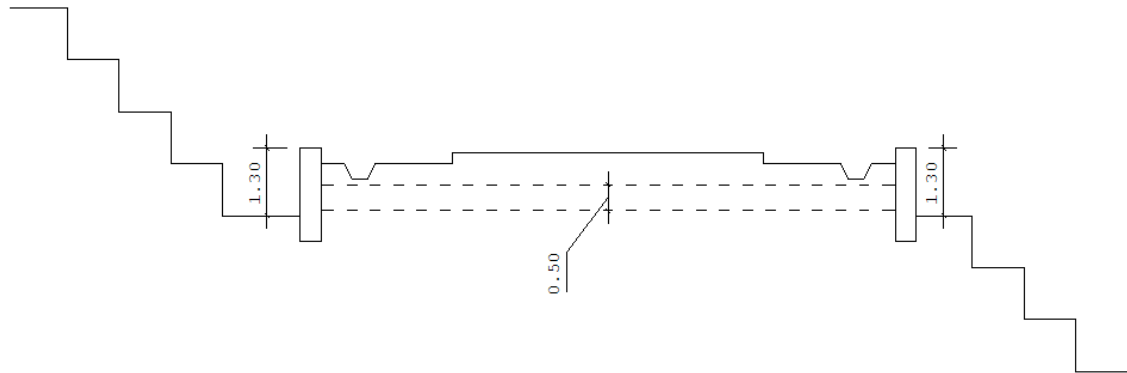


Fig. V.10 (sección de la carretera)

c. Perfil estratigráfico: En este caso sólo se cuenta con un material.

	$\gamma$	$\phi$	C
Arena 1	$17 \text{KN/m}^3$	$28^\circ$	$16 \text{KN/m}^2$

Propiedades de materiales V.4

d. Cargas Externas: Las cargas que se tienen en este tramo son las de la carretera, que es  $1 \text{ ton/m}^2$ .

e. Análisis de Estabilidad: En este caso el talud es estable, y el problema es puramente de erosión.

## B. Propuesta de Soluciones

### 1. Deslizamiento 1. Km. 35.3

Opciones de Estabilización de Talud:

a) Remodelación geométrica: Ésta es una opción que necesita de mucho espacio, y bancos de material cerca para rellenos o un terreno para tirar el material retirado. Si los bancos de material o tiraderos se encuentran muy lejos el costo de la remodelación sería muy alto.

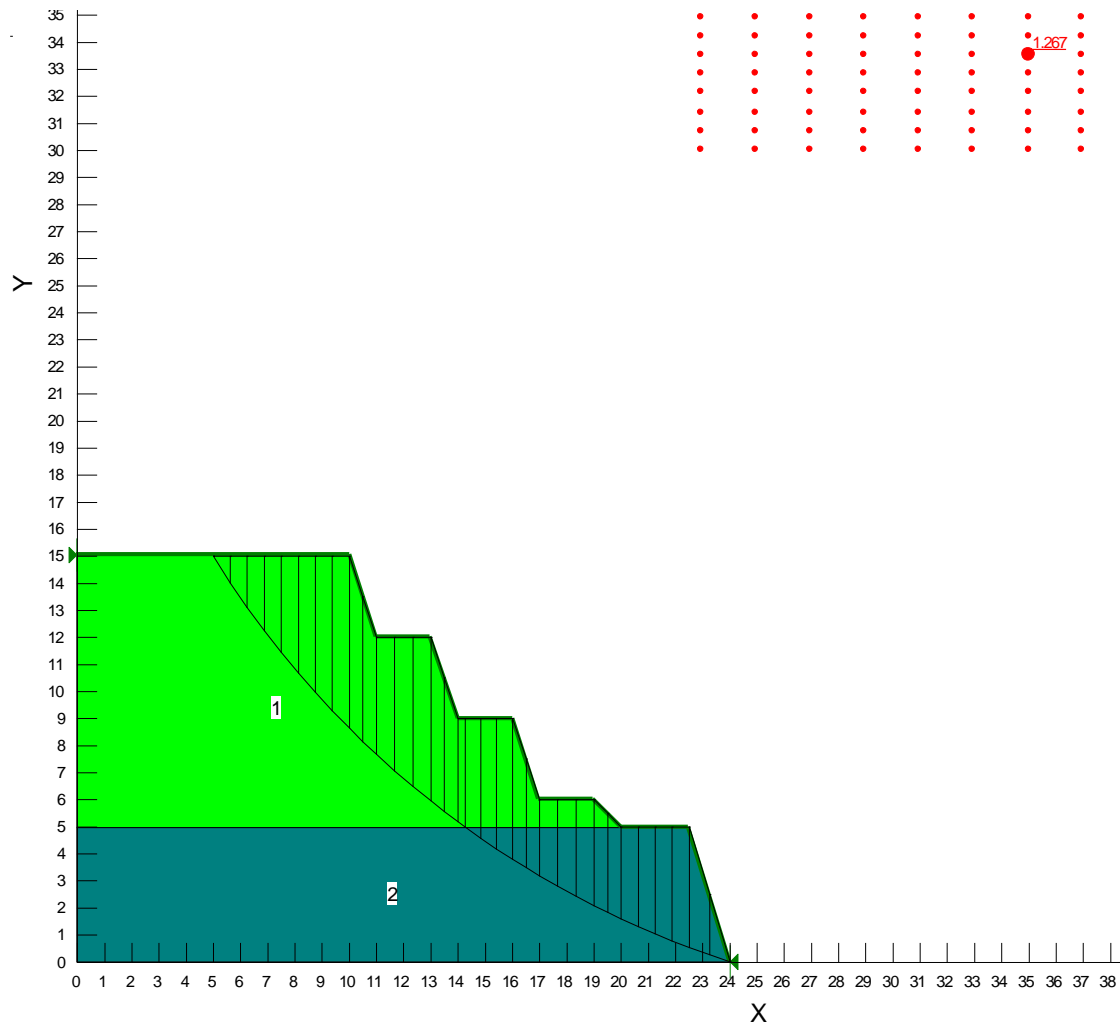


Fig. V.9 (sección con remodelado geométrico)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	35,33
Radio	34.6

Parámetros de análisis V.4

*Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.*

Se pueden dejar gradas para remover peso y disminuir la pendiente, y de esa manera subir el factor de seguridad. En esta opción el factor de seguridad subió a 1.267.

Uno de los problemas que representa esta opción es la movilización de tierras, ya que si no se tiene un lugar cercano donde tirar la tierra, los costos tienden a subir.

Esta opción se descarta ya que el factor de seguridad es menor que 1.5, que es el mínimo requerido con respecto a los criterios de diseño.

b) Muros de gravedad: Todos los muros de gravedad representan un mismo problema, la capacidad soporte del suelo. Este es un factor determinante para la construcción de estos muros. Otro factor es el espacio.

Gaviones:

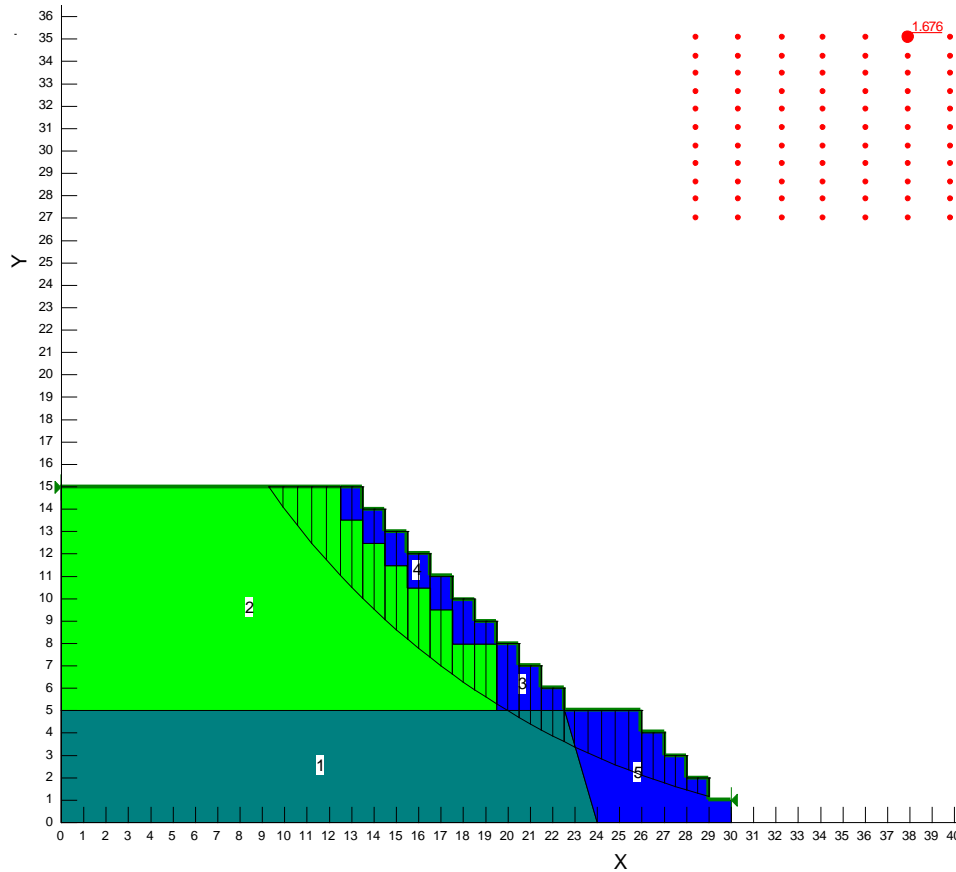


Fig. V.10 (sección con muro de gaviones)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	38,35
Radio	35.23

Parámetros de análisis V.5

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

$$FS = 1.676$$

El problema que representa este muro es el transporte del material hasta el pie del talud, esto se debe a la inexistencia de una ruta formal que pase cerca, por lo que el material se tendría que bajar con grúa.

A aproximadamente 20m del pie del talud se encuentra el río Pensativo, por lo que es recomendable que se diseñe la malla de gavión para corrosión. La construcción de este muro es relativamente sencilla, y no requiere de mano de obra calificada. Esta opción es la que se recomienda debido a la facilidad de construcción y a su versatilidad.

Concreto ciclópeo:

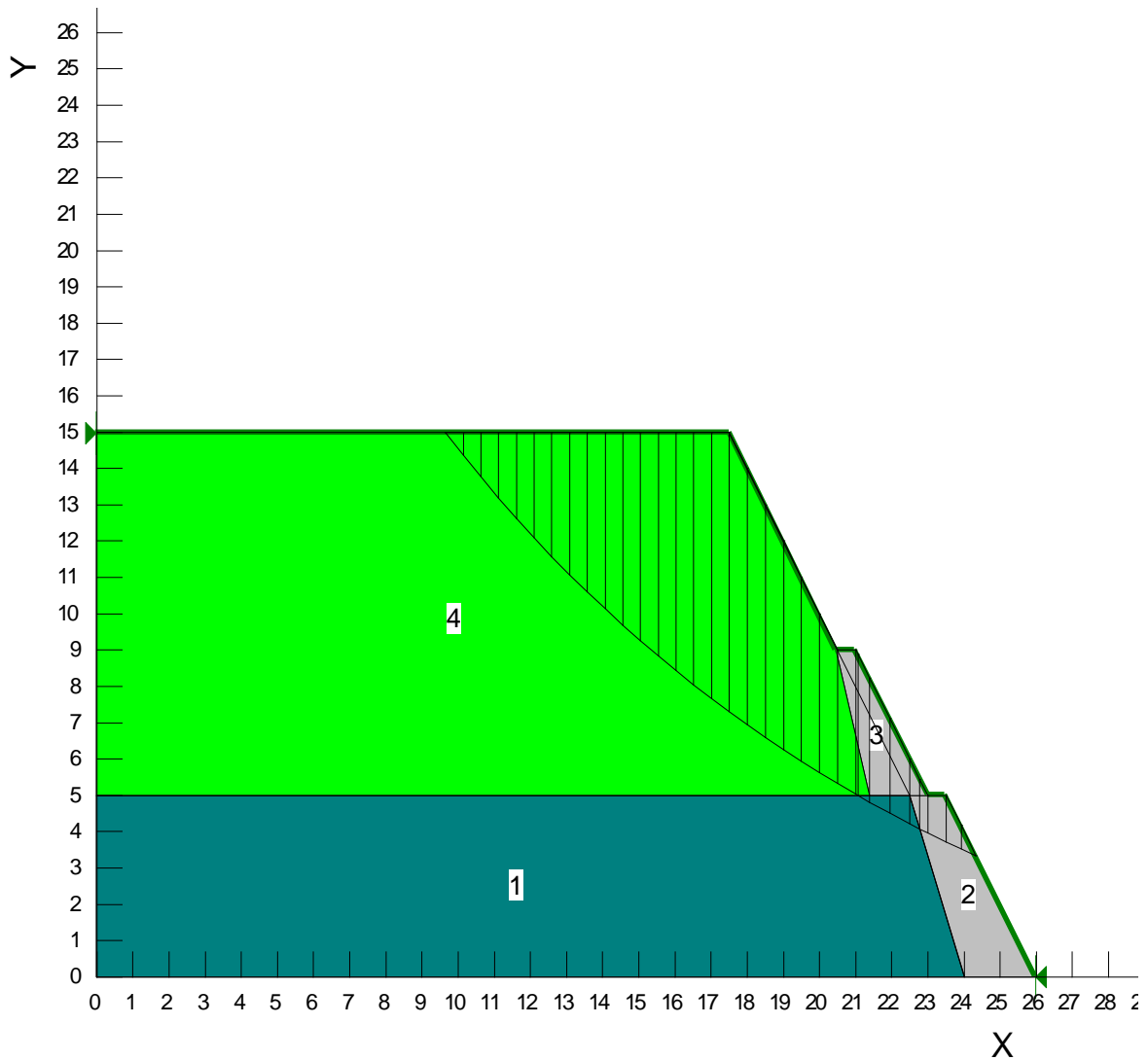


Fig. V.11 (sección con muro de concreto ciclópeo)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	38,38
Radio	37

Parámetros de análisis V.6

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

Para este caso el FS es 1.8.

Uno de los problemas que representa este muro es el bombeo del concreto al pie del talud. También un factor determinante es la longitud del muro, que es de 15m aproximadamente, lo cual haría este muro sumamente caro, debido al volumen de concreto necesario, razón por la que se descarta.

Tierra armada:

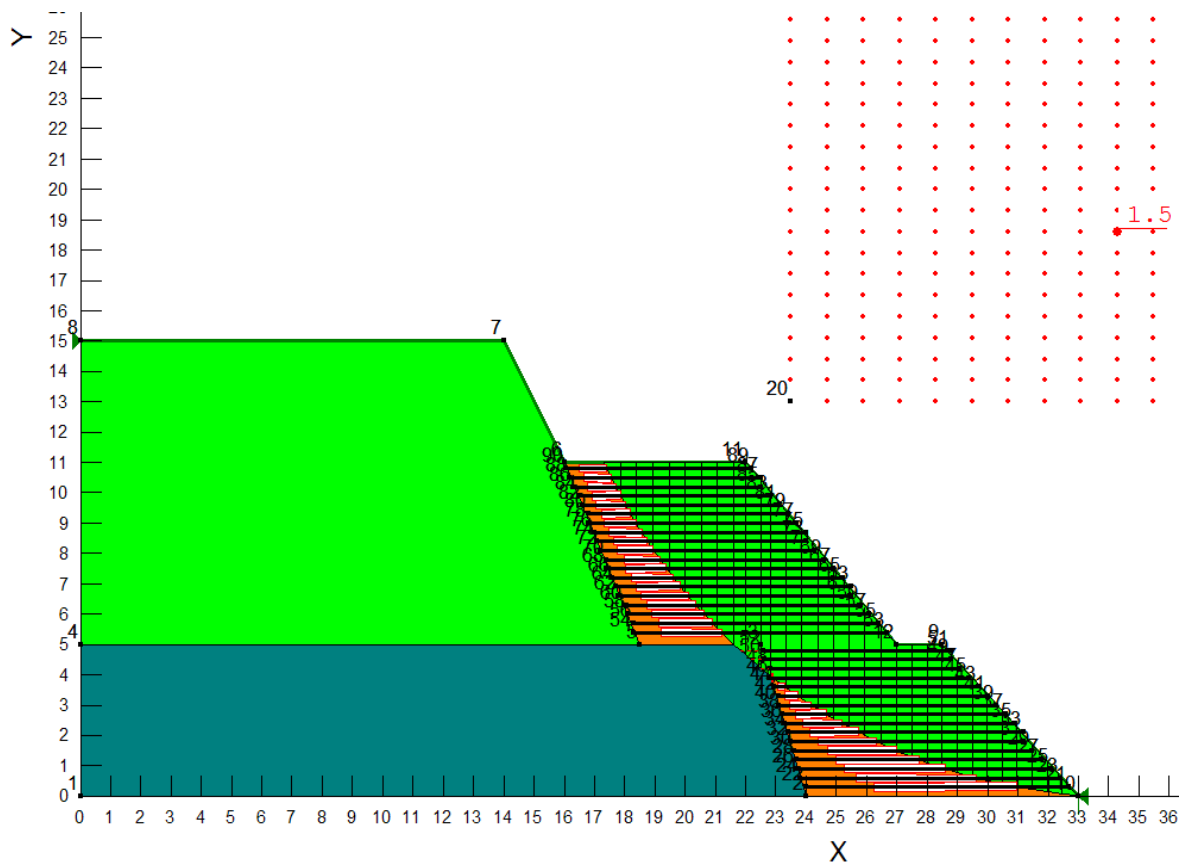


Fig. V.12 (sección con muro de tierra armada)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	34,18.5
Radio	18.13

Parámetros de análisis V.7

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

El FS es de 1.5

Uno de los problemas de este muro es el transporte del material al pie del talud. También debido a la existencia de un río en las cercanías, por lo que se tendría que proteger, ya sea con gaviones o muros de concreto, por lo que es más práctica la construcción directa con muro de gaviones, razón por la que se descarta.

c) Muros de semigravedad: Para esta opción no se recomienda un solo muro, sino por lo menos dos, ya que sería muy caro un muro reforzado de concreto de 15mt.

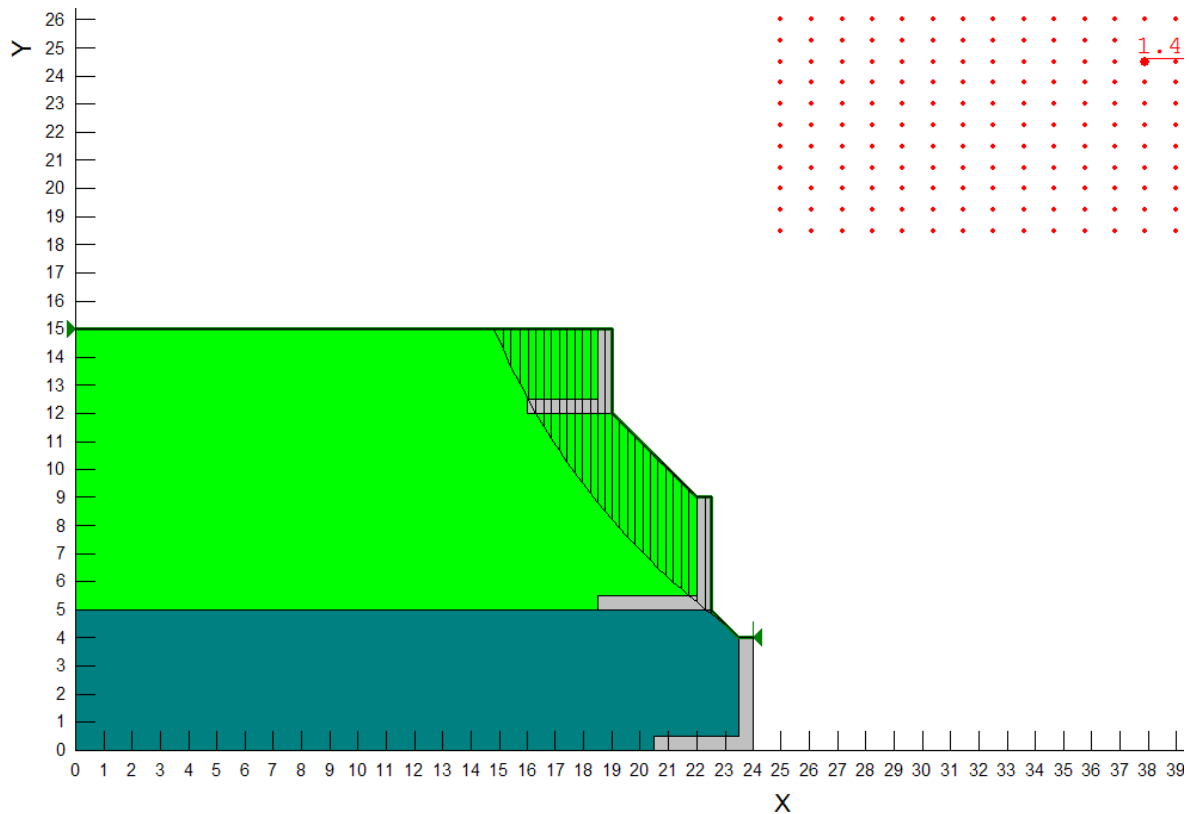


Fig. V.13 (sección con muro de concreto en voladizo)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	38,24
Radio	24.7

Parámetros de análisis V.8

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

El FS para este caso es de 1.4, y como se puede ver en la gráfica, la falla más crítica cubre los dos muros superiores.

Esta opción se analizó por motivos teóricos. No tiene ninguna aplicación real debido a que sería necesario realizar una excavación muy grande para poder construir el muro. Esta excavación resultaría en otro talud inestable.

## d) Muros de no gravedad:

Suelo clavado:

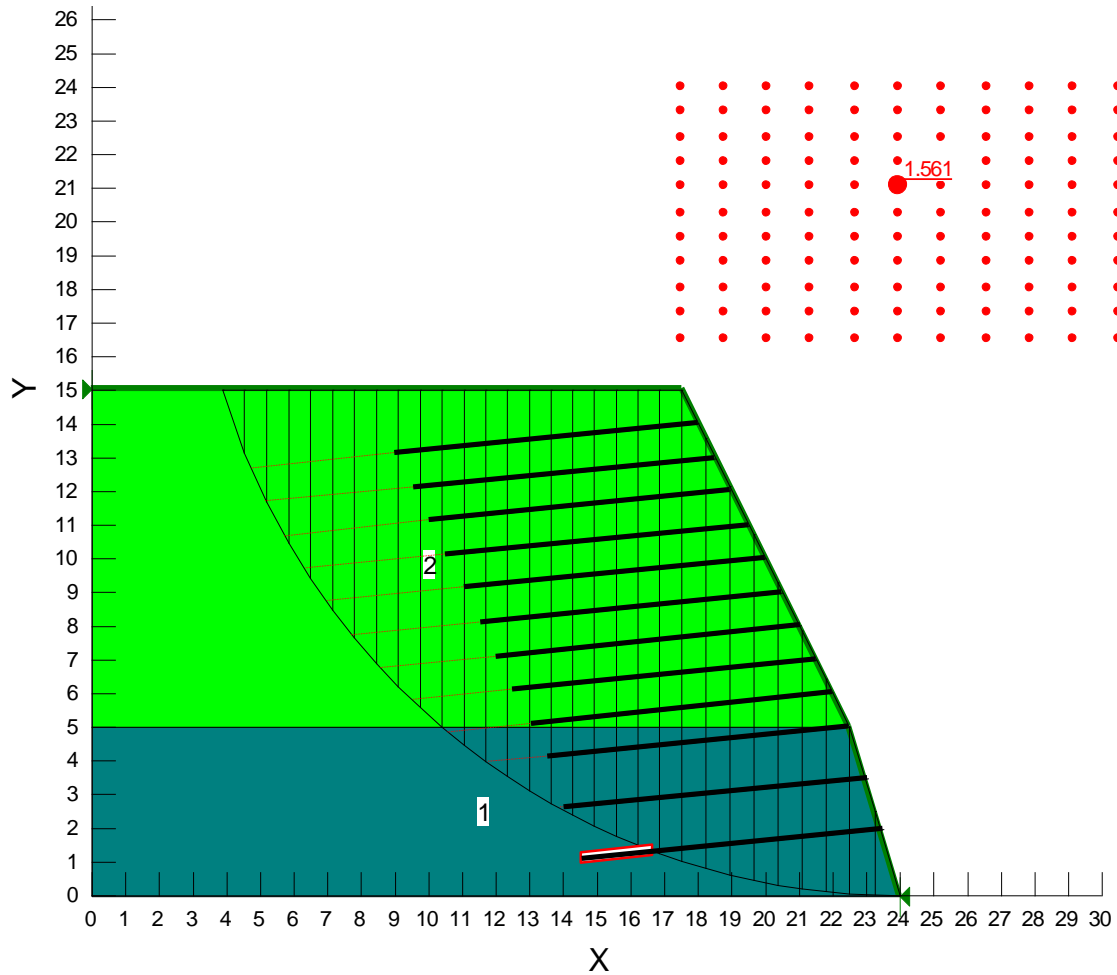


Fig. V.14 (sección con suelo clavado)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	24,21
Radio	21

Parámetros de análisis V.9

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

Nota: los clavos tienen  $F_y=60\text{Ksi}$ , su resistencia a tensión es de  $240\text{KN}$  y resistencia a corte de  $130\text{KN}$ , con espaciamiento de  $1\text{m}$ .

El FS = 1.561

La construcción de estos muros sería un poco difícil debido a la ubicación de la maquinaria, y el bombeo del concreto, donde sea necesario, por lo que se descarta.

Anclajes:

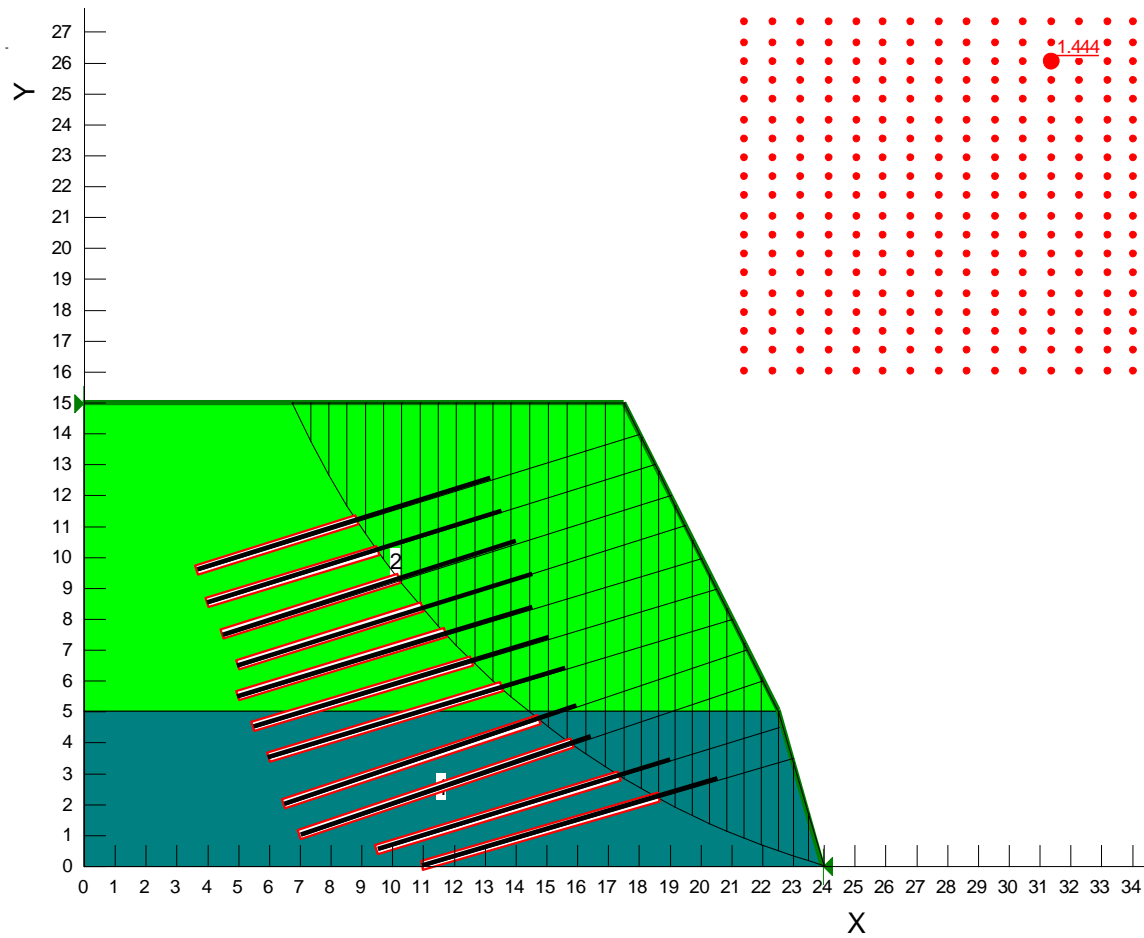


Fig. V.15 (sección con Anclajes)

Aceleración Sismo	0
Nivel Freático	NE
Escala	Gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	26,34
Radio	34

Parámetros de análisis V.10

*Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.*

*Nota: las anclas tienen  $F_y=60Ksi$ , su resistencia a tensión es de  $45KN$  y resistencia a corte de  $23KN$ , con espaciamiento de  $1m$ .*

El FS = 1.44

En este caso el problema principal es la ubicación de la maquinaria de perforación, ya que se necesitarían andamios muy grandes y resistentes, por lo que se descarta.

Pilotes:

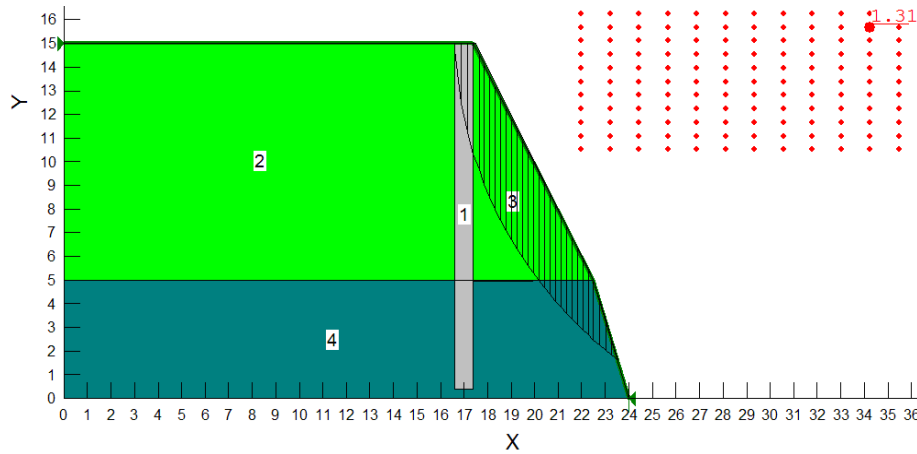


Fig. V.16 (sección con pilotes)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	34,16
Radio	17.5

Parámetros de análisis V.11

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

El FS obtenido es de 1.31

En este caso el problema es la falla del lado derecho del pilote. El FS es menor al mínimo requerido, por lo que se descarta.

## 2. Deslizamiento 2. Km. 36.1

Opciones de Estabilización de Talud:

a) Remodelación geométrica:

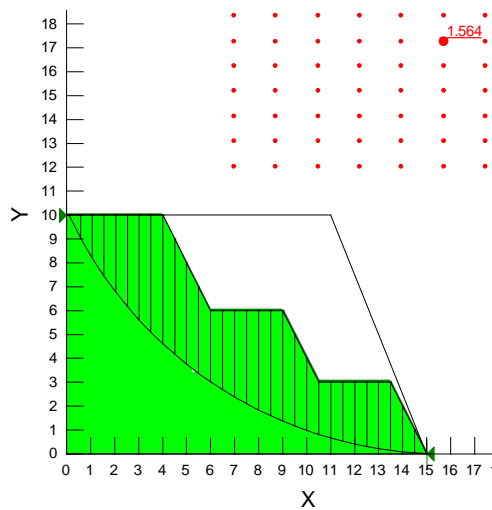


Fig. V.17 (sección con remodelado geométrico)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	Gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	15.5,17
Radio	17

Parámetros de análisis V.12

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

FS = 1.56

Esta opción lleva a un factor por encima del mínimo requerido, y los únicos problemas que representa es la movilización de tierra y la ubicación de maquinaria. Por lo que ésta es la opción que se recomienda.

b) Muros de gravedad: El problema que representan estos muros para este talud es el espacio, ya que la carretera se encuentra a dos metros del pie del talud.

Gaviones:

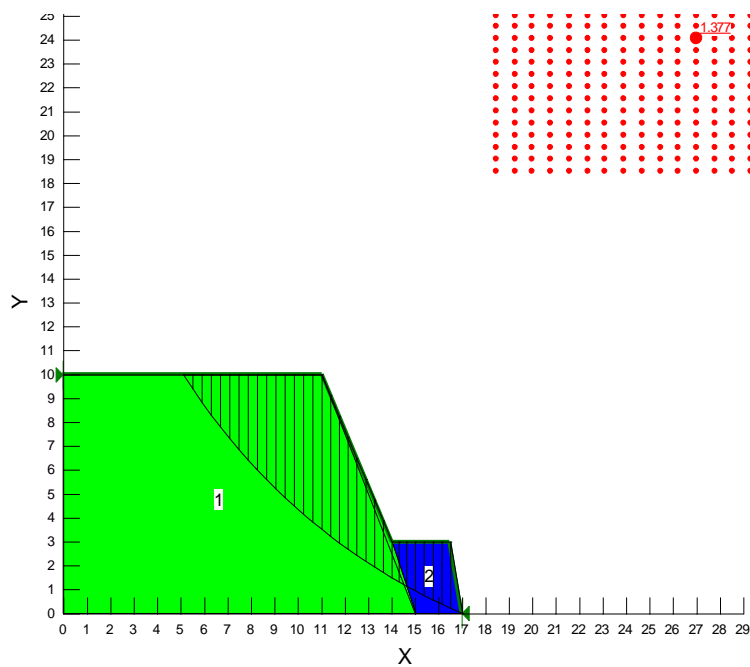


Fig. V.18 (sección con muro de gaviones)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	27,24
Radio	26

Parámetros de análisis V.13

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

En este caso el FS es de 1.377

Concreto Ciclópeo:

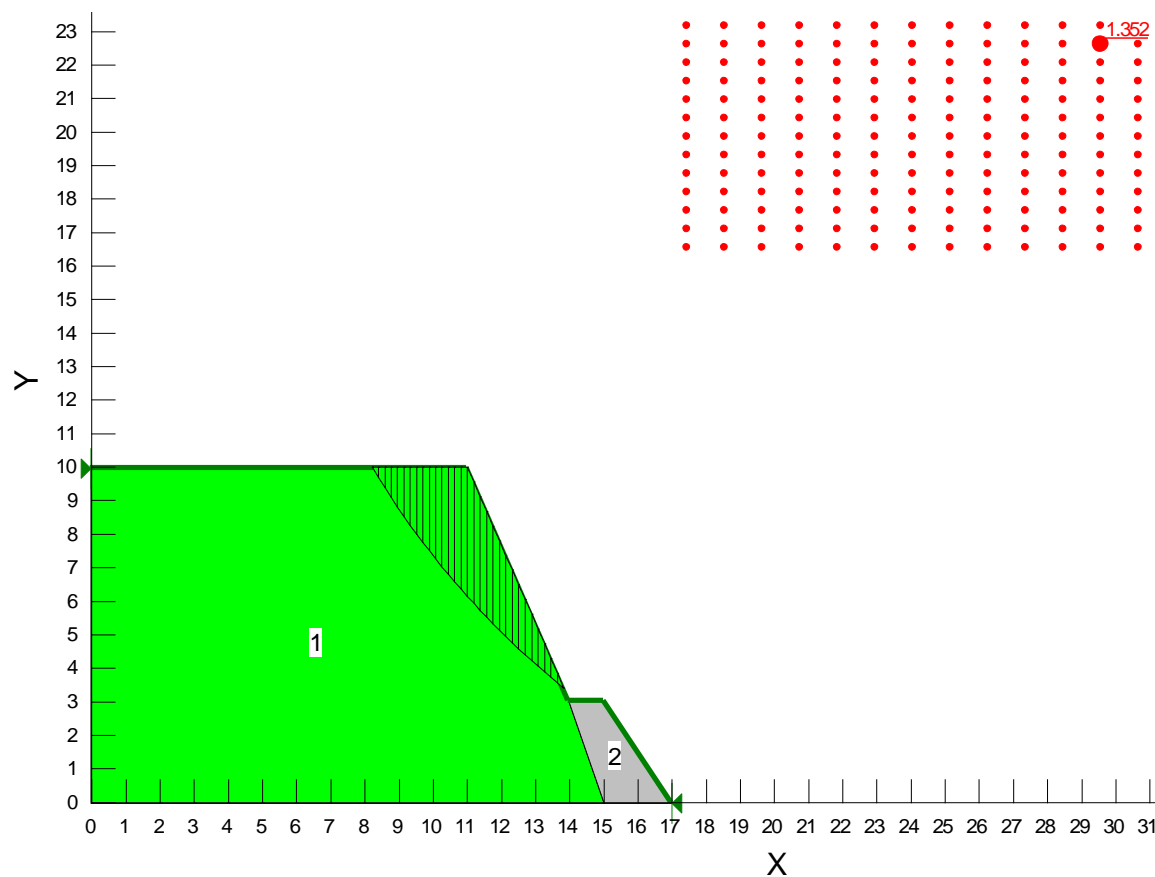


Fig. V.19 (sección con muro de concreto ciclópeo)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	Gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	29.5,22
Radio	24.19

Parámetros de análisis V.14

Nota: el centro del radio esta dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

FS = 1.352.

Estas dos opciones se descartan debido a que el FS es menor que el mínimo requerido.

c) Muros de Semi-gravedad: Nuevamente existe el problema del espacio, aunque se podría diseñar sólo con talón.

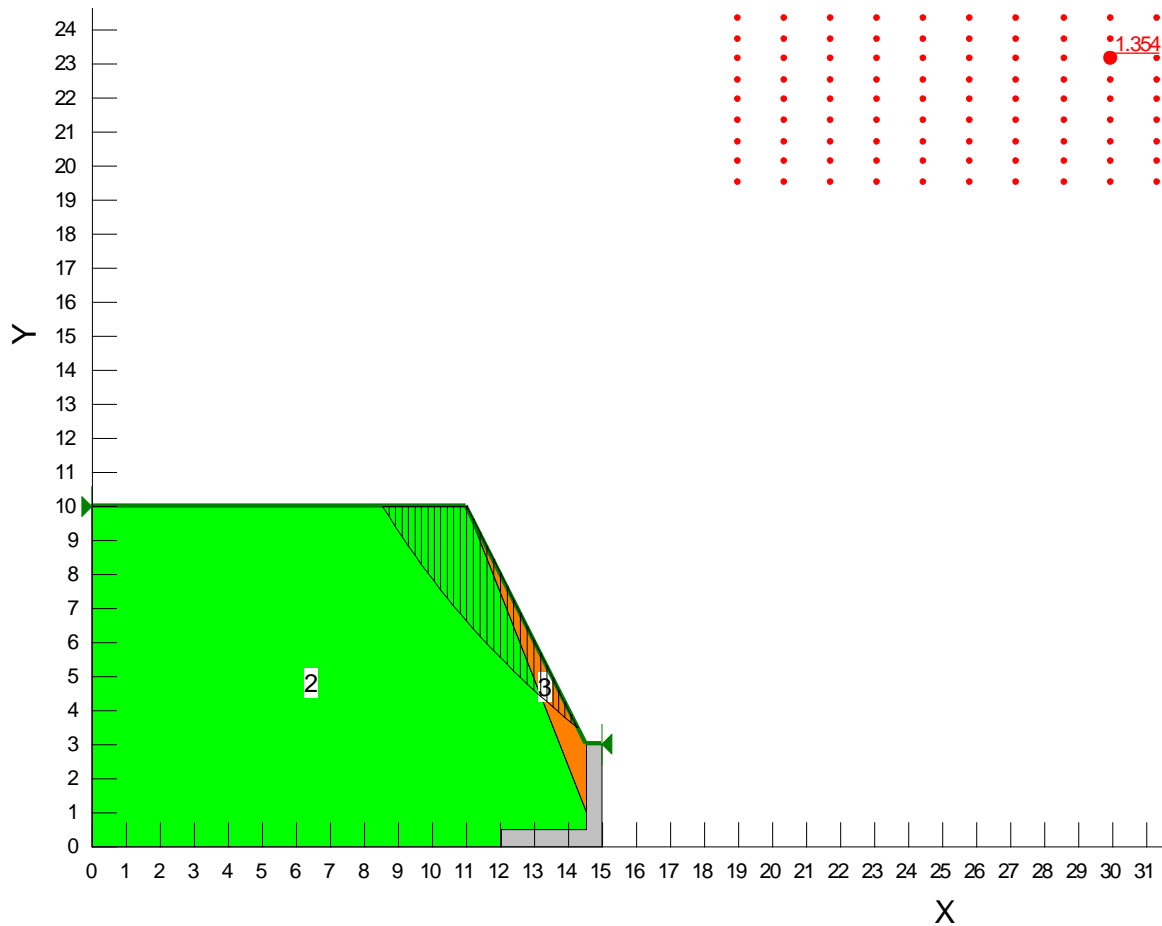


Fig. V.20 (sección con muro de concreto en voladizo)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	29.5,23
Radio	24.6

Parámetros de análisis V.15

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

FS = 1.35

Esta opción se analizó por motivos teóricos. No tiene ninguna aplicación real debido a que sería necesario realizar una excavación muy grande para poder construir el muro. Esta excavación resultaría en otro talud inestable.

## d) Muros de no gravedad

Suelo clavado:

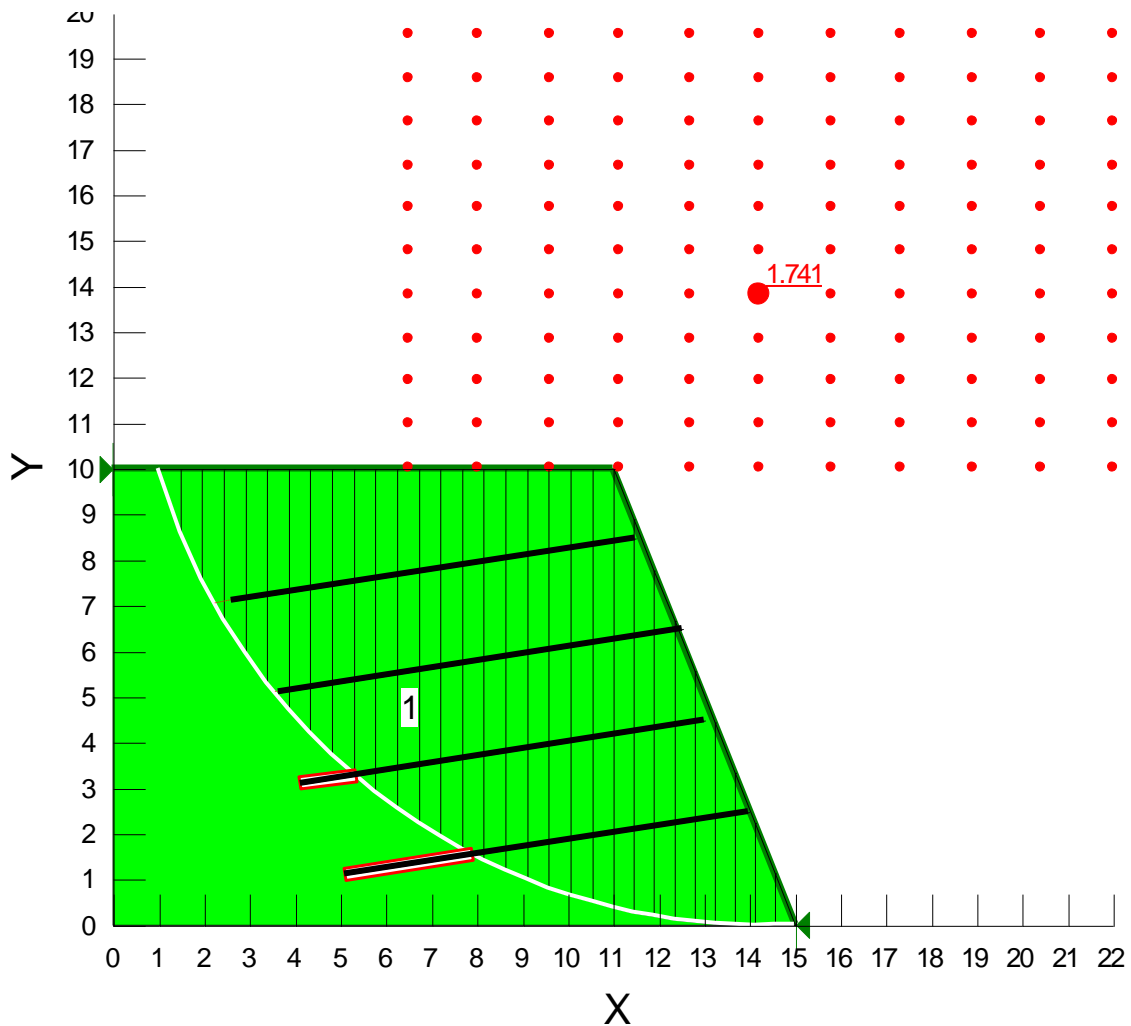


Fig. V.21 (sección con suelo clavado)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	14,14
Radio	14

Parámetros de análisis V.16

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

Nota: los clavos tienen  $F_y=60\text{Ksi}$ , su resistencia a tensión es de  $240\text{KN}$  y resistencia a corte de  $130\text{KN}$ , con espaciamiento de  $3\text{m}$ .

FS = 1.741

En este caso el bombeo de concreto no representa un gran problema, y se necesitarían andamios para la perforadora. También esta opción es mucho más costosa que la remodelación geométrica, por lo que se descarta.

Anclajes:

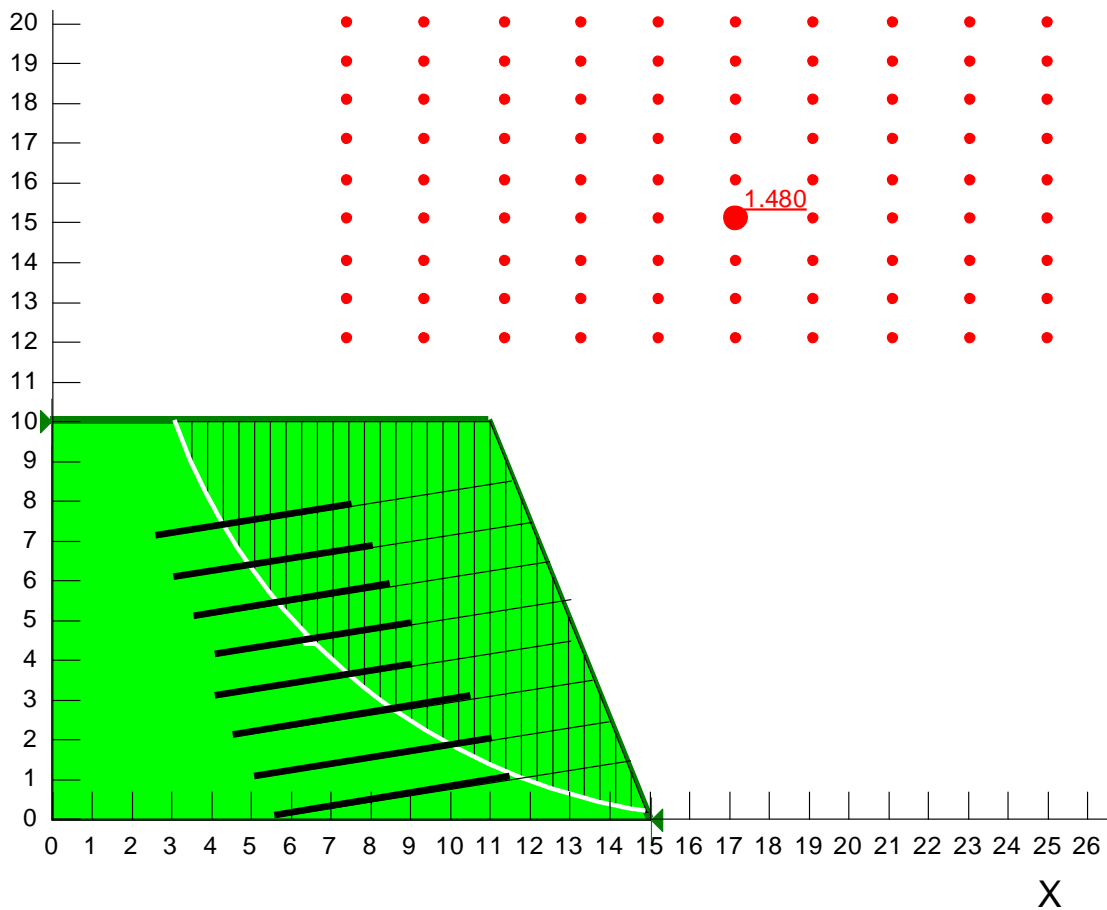


Fig. V.22 (sección con anclajes)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	17,15
Radio	15.25

Parámetros de análisis V.17

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

Nota: las anclas tienen  $F_y=60\text{Ksi}$ , su resistencia a tensión es de  $45\text{KN}$  y resistencia a corte de  $23\text{KN}$ , con espaciamiento de  $FS = 2.45$

Nuevamente se presentan el problema de la ubicación de maquinaria y el bombeo del concreto. También las anclas son sumamente caras, por lo que se descarta.

### 3. Deslizamiento 3. Km. 36.8

Opciones de estabilización de Talud:

a) Remodelación geométrica: Ésta es una sección que quedó con cortes en ambos lados, por un lado se tiene la carretera y por el otro se tiene una rampa de emergencia.

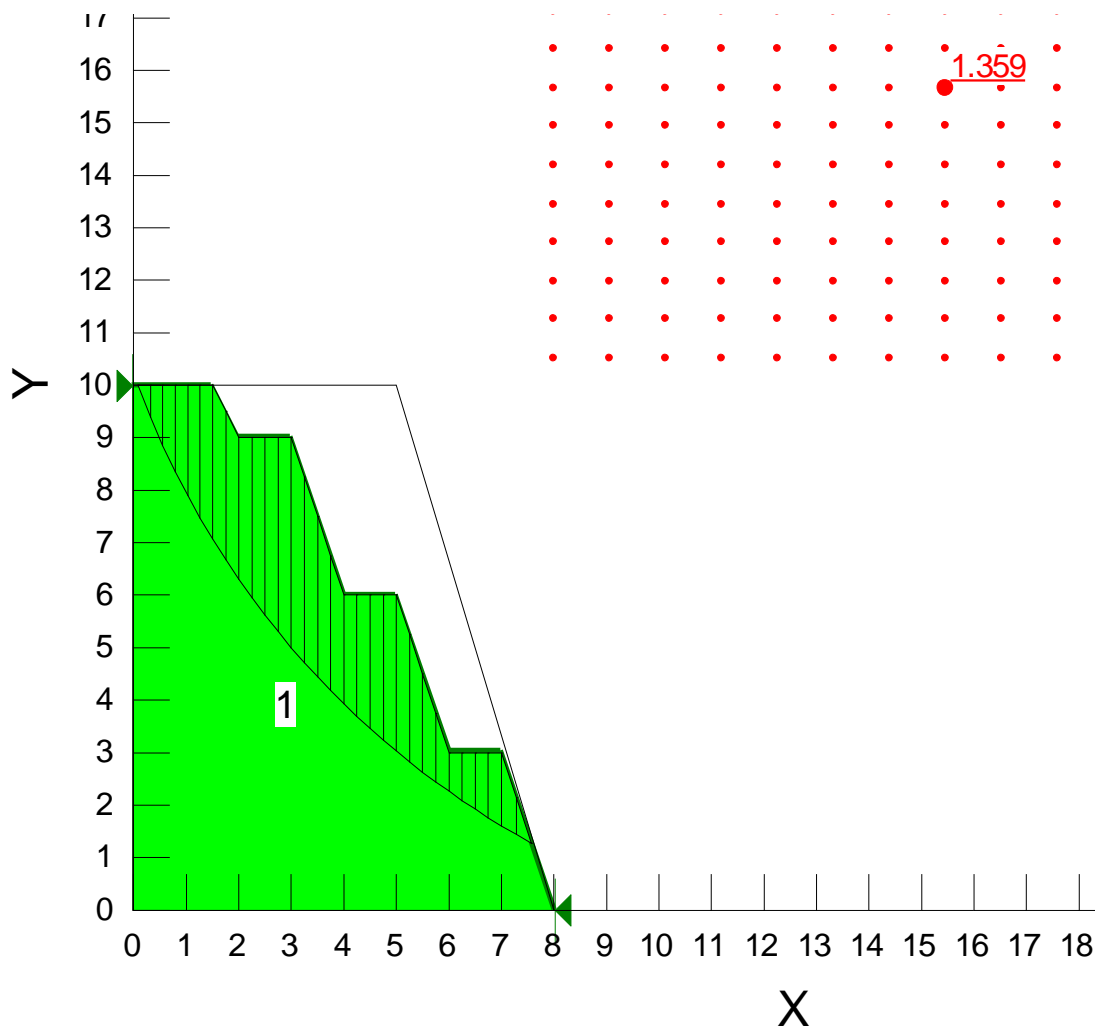


Fig. V.23 (sección con remodelado geométrico)

Aceleración Sismo	0
Nivel Freático	NE
Escala	Gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	14.5,16
Radio	15.7

Parámetros de análisis V.18

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

El FS en este caso es de 1.359, el cual es menor que el mínimo requerido, por lo que se descarta.

b) Muros de Gravedad: Los problemas de los muros de gravedad son: la capacidad soporte del suelo, y el espacio. Esto se debe a que ellos trabajan exclusivamente a gravedad, y su peso debe ser grande.

Gaviones:

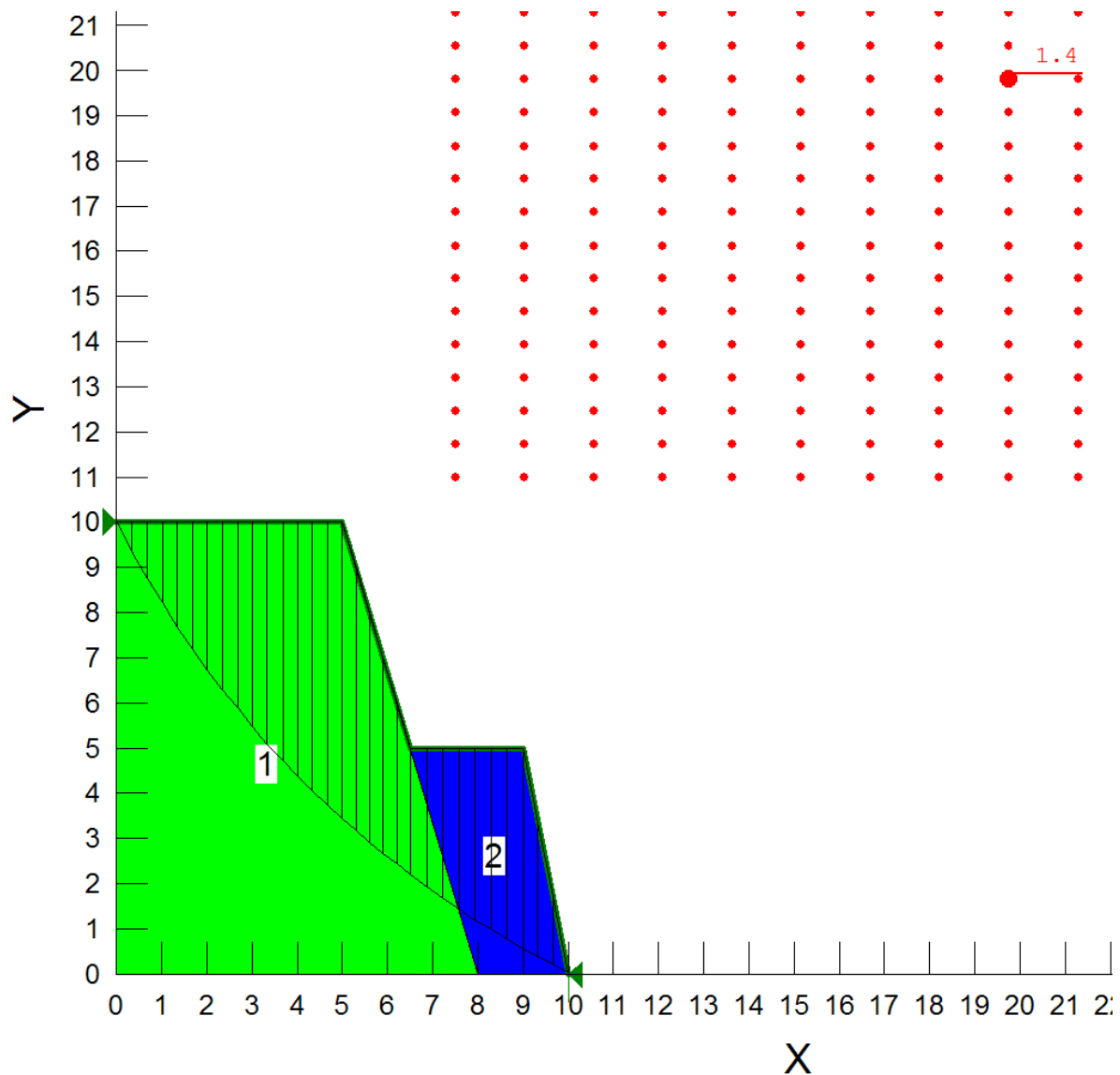


Fig. V.24 (sección con muro de gaviones)

Aceleración Sismo	0
Nivel Freático	NE
Escala	Gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	19.5,20
Radio	22.14

Parámetros de análisis V.19

Nota: el centro del radio esta dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

FS = 1.41, el cual es menor que el mínimo requerido, por lo que se descarta.

Concreto ciclópeo:

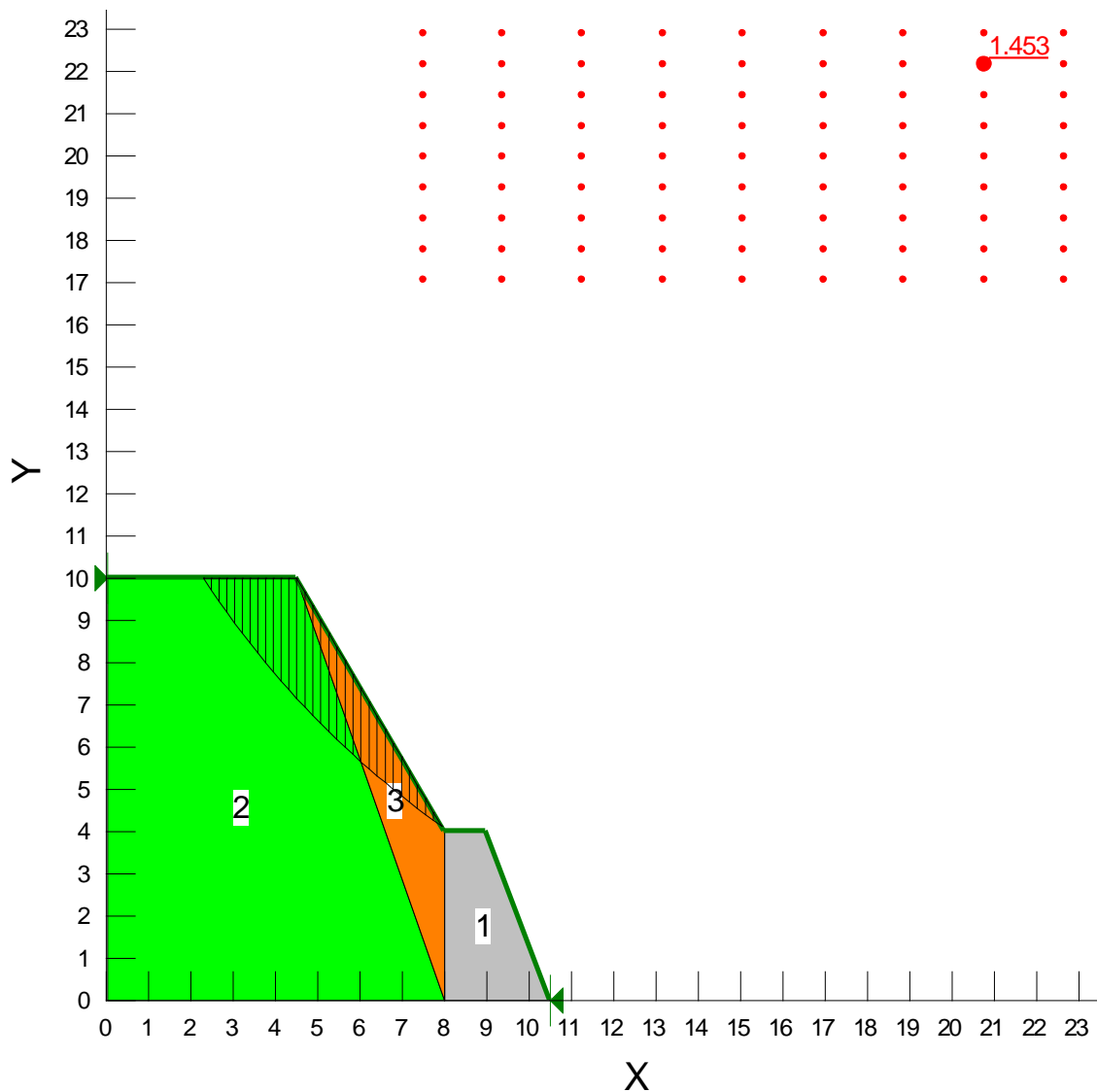


Fig. V.25 (sección con muro de concreto ciclópeo)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	21,22
Radio	22.05

Parámetros de análisis V.20

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

FS = 1.453

Este se descarta debido a que la longitud del muro necesario es de aproximadamente 5m, y la altura del muro es de 4, por lo que se necesitaría una gran cantidad de concreto y esto lo haría sumamente costoso

c) Muros de semigravedad: Para este caso se tendría que diseñar un muro de voladizo sin puntal.

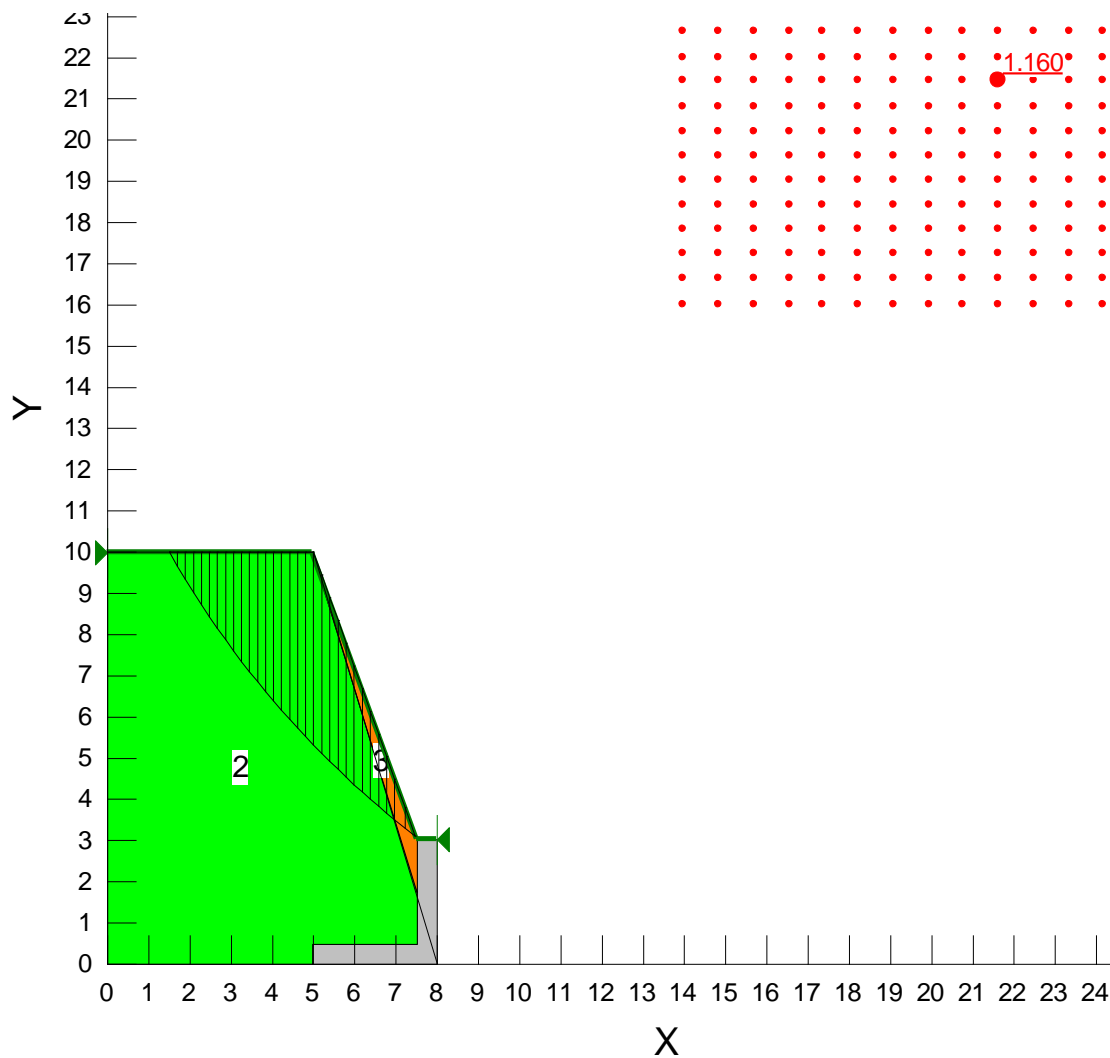


Fig. V.26 (sección con muro de concreto en voladizo)

Aceleración sismo	0
Nivel freático	NE
Escala	gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	21.5,21
Radio	22.8

Parámetros de análisis V.21

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

FS = 1.1

Esta opción se analizó por motivos teóricos. No tiene ninguna aplicación real debido a que sería necesario realizar una excavación muy grande para poder construir el muro. Esta excavación resultaría en otro talud inestable.

## d) Muros de no gravedad

Suelo clavado:

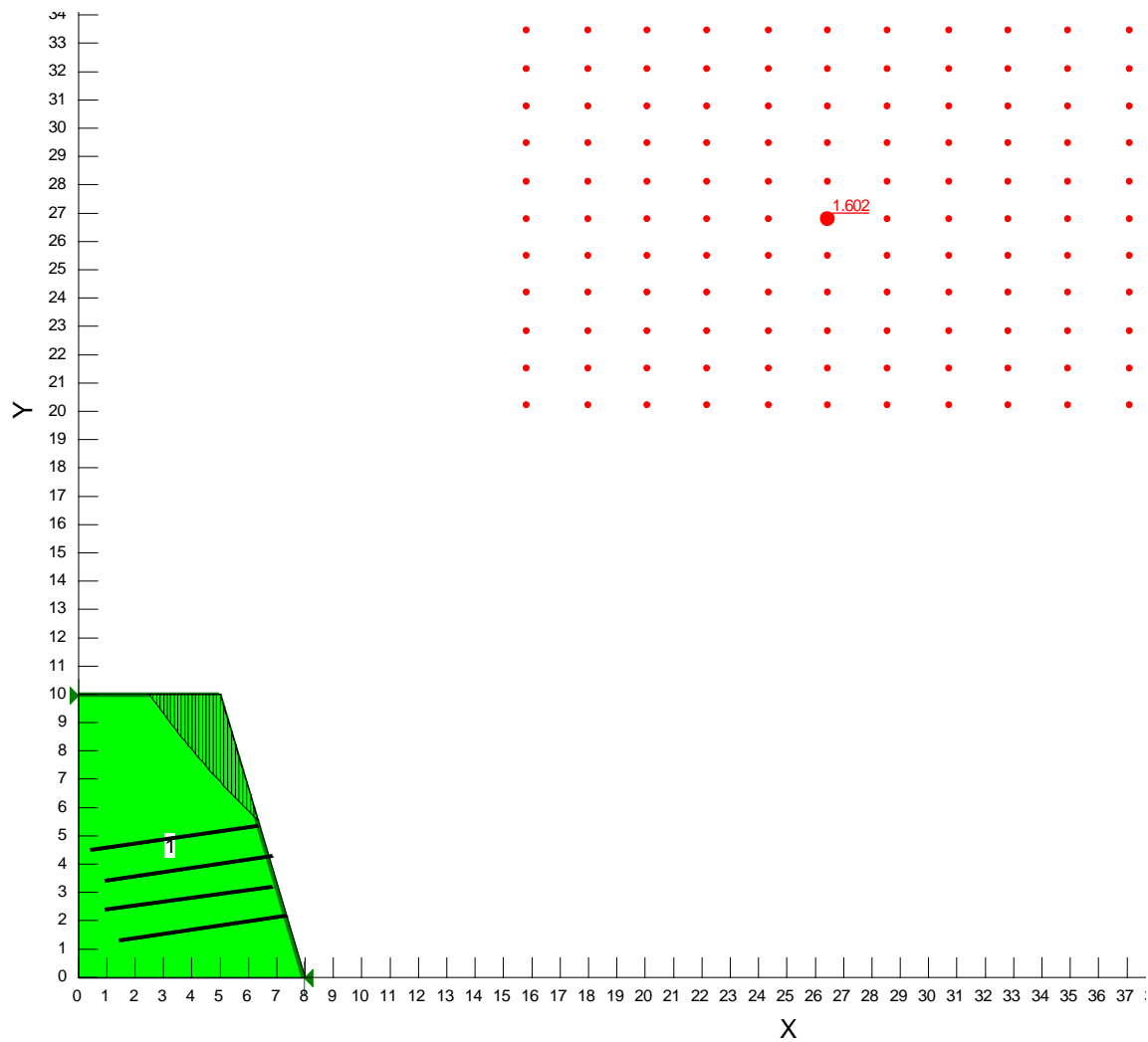


Fig. V.27 (sección con suelo clavado)

Aceleración Sismo	0
Nivel Freático	NE
Escala	Gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	26.5,27
Radio	26.6

Parámetros de análisis V.22

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

Nota: los clavos tienen  $F_y=60\text{Ksi}$ , su resistencia a tensión es de  $240\text{KN}$  y resistencia a corte de  $130\text{KN}$ , con espaciamiento de  $1\text{m}$ .

FS = 1.602

Los problemas en este caso serían la ubicación de la maquinaria y el bombeo del concreto, también es una opción costosa, por lo que se descarta.

Anclajes:

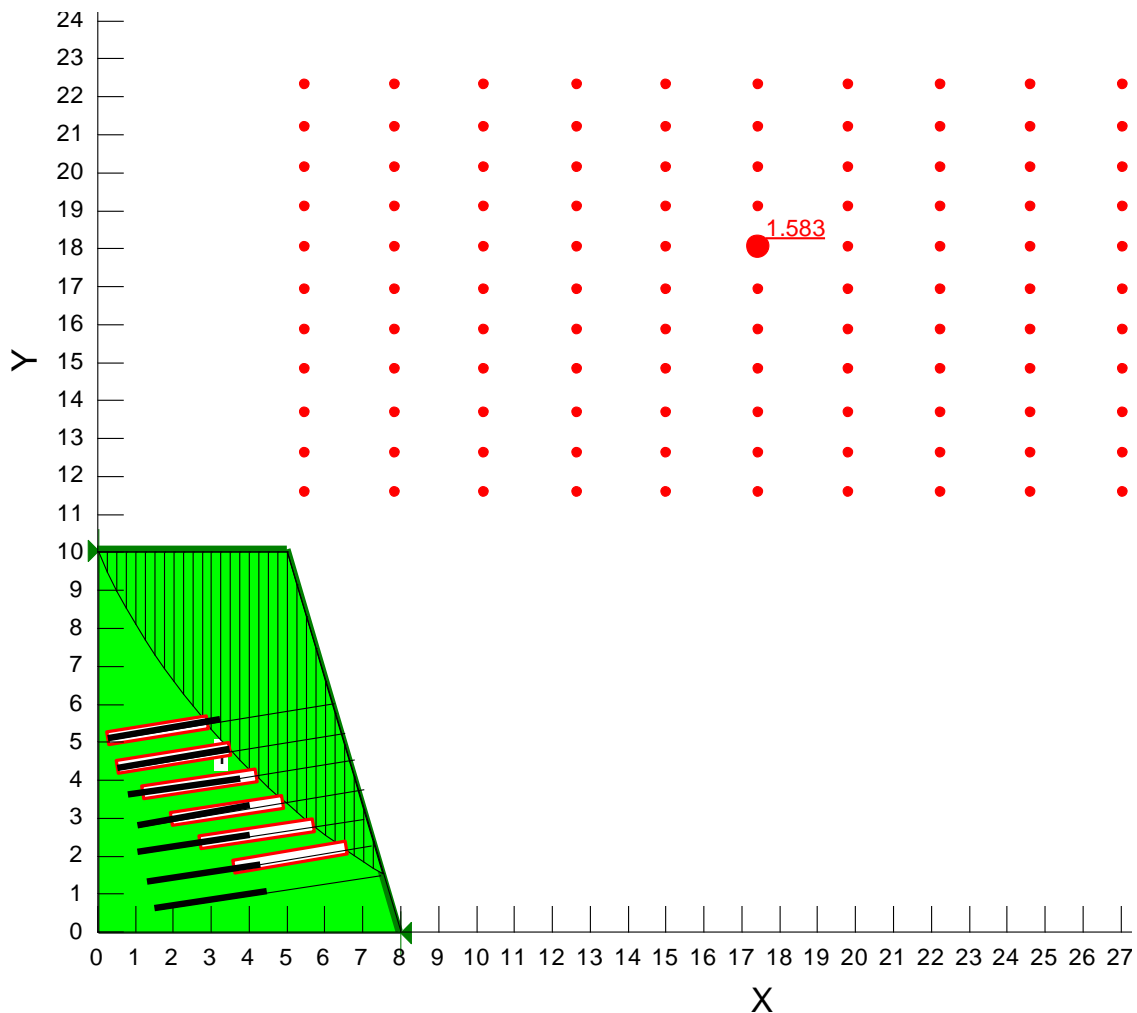


Fig. V.28 (sección con anclajes)

Aceleración Sismo	0
Nivel Freático	NE
Escala	Gráfica
Centro de radio crítico (x,y)	17.5,18
Radio	17.5

Parámetros de análisis V.23

Nota: el centro del radio está dado con respecto al 0,0 de la escala gráfica.

Nota: las anclas tienen  $F_y=60\text{Ksi}$ , su resistencia a tensión es de  $45\text{KN}$  y resistencia a corte de  $23\text{KN}$ , con espaciamiento de  $1.5\text{m}$ .

FS = 1.7583

Nuevamente se presentan el problema de la ubicación de maquinaria y el bombeo del concreto. También las anclas son sumamente caras, sin embargo se recomienda ya que no se necesitan muchas.



## 4. Deslizamiento 4. Km. 37.3

## a) Protección contra erosión

Gaviones:

- Sección:

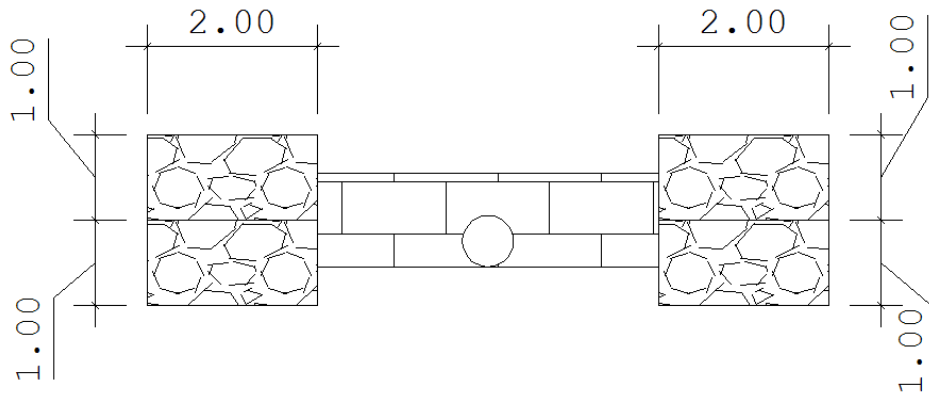


Fig. V.30 (sección con protección de muros de gaviones)

## VI. Análisis de Riesgos:

### A. Definición de parámetros de riesgo:

1. **Comportamiento previo del talud:** Si este ha presentado problemas con anterioridad y si estos problemas son periódicos.
2. **Factores antropogénicos:** Son los factores ocasionados por las personas, si ellos están presentes o no.
3. **Humanos:** este depende del tipo de ocupación, si esta es permanente, temporal o eventual.
4. **Económicos:** Este depende de los daños que pueda causar el deslizamiento, ya sea necesario limpieza, interrupción temporal, interrupción prolongada y obstrucción de un río.
5. **Estabilidad del talud:** Ésta depende de la estabilidad actual del talud. Es posible encontrar un talud que presente un riesgo económico y humano muy alto, pero este es sumamente estable por lo que se le debe dar una prioridad menor.
6. **Tipo de solución:** Éste depende del costo de la solución, ya que si la solución es sencilla y económica, se le da una prioridad menor, y en el caso de soluciones complicadas y caras, se le debe dar prioridad.

### B. Valoración de parámetros de riesgo:

#### 1. Comportamiento del talud:

	Valoración Por cada factor presente
Todos los años presenta problemas	5
Algunos años causa problemas	3
Nunca antes ha causado problemas	1

Lista de valoración VI.1

Máximo 5

#### 2. Factores antropogénicos: Este depende de la importancia de los factores presentes en el talud.

	Valoración
Importante	1.00
Moderado	0.50
Mínimo	0.25

Lista de valoración VI.2

Máximo 5

## 3. Humanos:

	Valoración
Ocupación permanente	10
Ocupación temporal	5
Ocupación eventual	0

Lista de valoración VI.3

Máximo 10

## 4. Económicos:

	Valoración
Necesidad de limpieza	1
Interrupción temporal de un carril	2 pts c/carril
Interrupción prolongada de la carretera	5
Obstrucción de río	5

Lista de valoración VI.4

Máximo 10

## 5. Estabilidad del talud:

	Valoración
$FS < 1$	10
$1.0 < FS \leq 1.2$	8
$1.2 < FS \leq 1.4$	6
$1.4 < FS \leq 1.5$	2

Lista de valoración VI.5

Máximo 10

## 6. Costo de Solución:

	Valoración
Costo elevado	10
Costo alto	7
Costo moderado	5
Costo bajo	2

Lista de valoración VI.6

Máximo 10

### C. Análisis de Riesgo de deslizamientos:

Este análisis se lleva a cabo con la sumatoria de los puntajes individuales de los parámetros de riesgo. Esta sumatoria tiene un máximo de 50 puntos, y dependiendo del rango en que esta sumatoria se encuentre se le califica.

Rango	Riesgo
0-10	muy bajo
10-20	Bajo
20-30	Intermedio
30-40	Alto
40-50	muy alto

Ponderación y rangos de riesgo

Este riesgo depende de las sumatorias individuales, por lo que si se tiene un talud inestable con un costo de solución bajo, y no presenta riesgos humanos y económicos altos, se tiene un talud de riesgo bajo o muy bajo.

Ejemplos:

- Riesgo muy Bajo: un talud estable con costo de solución bajo que presente riesgos económicos y humanos bajos, 5.25 Pts.
- Riesgo Bajo: un talud inestable con costo de solución bajo que presente riesgos económicos y humanos bajos, 15.25 Pts.
- Riesgo Intermedio: un talud inestable con costo de solución elevado que presente riesgos económicos y humanos bajos, 23.25 Pts.
- Riesgo Alto: un talud inestable con costo de solución elevado que presente riesgos económicos y humanos intermedios, 32.25 Pts.
- Riesgo muy Alto: un talud inestable con factores antropogénicos importantes, costo de solución elevado que presente riesgos económicos y humanos altos, 46 Pts.

## VII. Resultados

### A. Deslizamiento 1. Km. 35.3

#### 1. Geometría

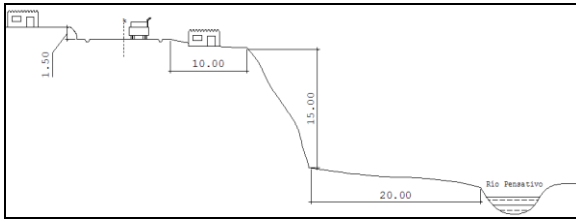


Fig. VII.1 (geometría)

#### 2. Información de suelos

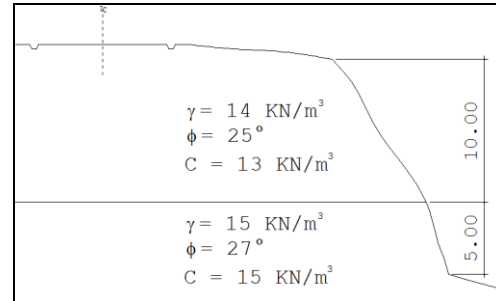


Fig. VII.2 (perfil estratigráfico)

#### 3. Comportamiento del talud: este talud no ha presentado problemas anteriormente.

Todos los años presenta problemas (5pt.)	
Algunos años causa problemas (3pt.)	
Nunca antes ha causado problemas (1pt.)	1
Subtotal	1

Listado de valores de los taludes VII.1

#### 4. Factores antropogénicos:

- Modificación de la geometría por las construcciones, importante.
- Deforestación del talud, moderado.
- Evacuación de agua hacia el talud, moderado.
- Sobrecarga del suelo, moderado.
- Dificultad de acceso, mínimo.

	Importante(1pt)	Moderado(0.5pt)	Mínimo(0.25pt)
Modificación de la geometría	1		
Deforestación del talud		0.5	
Evacuación de agua		0.5	
Sobrecargas	1		
Dificultad de acceso			0.25
Subtotal	3.25		

Listado de valores de los taludes VII.2

## 5. Riesgos:

## a. Humanos, ocupación permanente

Ocupación permanente (10pt.)	10
Ocupación temporal (5pt.)	
Ocupación eventual (0pt.)	
Subtotal	10

Listado de valores de los taludes VII.3

## b. Económicos, interrupción prolongada de la carretera

Necesidad de limpieza(1pt.)	
Interrupción temporal de un carril (2pt c/carril)	
Interrupción prolongada de la carretera(5pt.)	5
Obstrucción de río(5pt.)	
Subtotal	5

Listado de valores de los taludes VII.4

## 6. Factores de seguridad:

## a. F.S. actual: 1.4

## b. F.S. requerido: 1.5

FS < 1 (10pt.)	
1.0 < FS <= 1.2 (8pt.)	
1.2 < FS <= 1.4 (6pt.)	6
1.4 < FS <= 1.5 (2pt.)	
Talud estable (0pt.)	
Subtotal	6

Listado de valores de los taludes VII.5

## 7. Solución propuesta: muro gaviones

## a. Costo de Solución: moderado

Costo elevado (10pt.)	
Costo alto (7pt.)	
Costo moderado (5pt.)	5
Costo bajo (2pt.)	
Subtotal	5

Listado de valores de los taludes VII.6

## 8. Sumatoria total del talud: 30.25

## B. Deslizamiento 2. Km. 36.1

### 1. Geometría

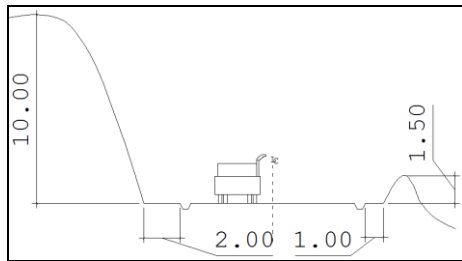


Fig. VII.3 (geometría)

### 2. Información de suelos

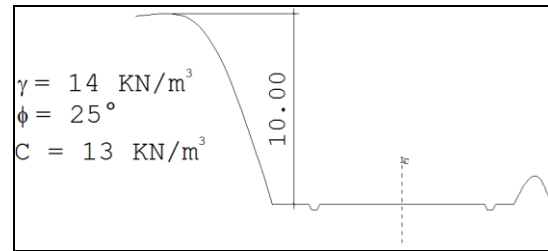


Fig. VII.4 (perfil estratigráfico)

### 3. Comportamiento del talud: este talud presenta problemas todos los años.

Todos los años presenta problemas (5pt.)		
Algunos años causa problemas (3pt.)		3
Nunca antes ha causado problemas (1pt.)		
Subtotal	3	

Listado de Valores de los taludes VII.7

### 4. Factores antropogénicos:

- Deforestación del talud, mínimo.
- Evacuación de agua hacia el talud, moderado.
- Sobrecarga del suelo, mínimo.
- Dificultad de acceso, mínimo.

	Importante(1pt)	Moderado(0.5pt)	Mínimo(0.25pt)
Modificación de la geometría			0.25
Deforestación del talud			0.25
Evacuación de agua		0.5	
Sobrecargas			0.25
Dificultad de acceso			0.25
Subtotal	1.5		

Listado de Valores de los taludes VII.8

## 5. Riesgos:

## a. Humanos, ocupación permanente

Ocupación permanente (10pt.)	
Ocupación temporal (5pt.)	5
Ocupación eventual (0pt.)	
Subtotal	5

Listado de Valores de los taludes VII.9

## b. Económicos, interrupción prolongada de la carretera

Necesidad de limpieza (1pt.)	1
Interrupción temporal de un carril (2pt c/carril)	2
Interrupción prolongada de la carretera (5pt.)	
Obstrucción de río (5pt.)	
Subtotal	3

Listado de Valores de los taludes VII.10

## 6. Factores de seguridad:

## a. F.S. actual: 1.039

## b. F.S. requerido: 1.5

FS < 1 (10pt.)	
1.0 < FS <= 1.2 (8pt.)	8
1.2 < FS <= 1.4 (6pt.)	
1.4 < FS <= 1.5 (2pt.)	
Talud estable (0pt.)	
Subtotal	8

Listado de Valores de los taludes VII.11

## 7. Solución propuesta: remodelación geométrica

## a. Costo de solución: moderado

Costo elevado (10pt.)	
Costo alto (7pt.)	
Costo moderado (5pt.)	
Costo bajo (2pt.)	2
Subtotal	2

Listado de Valores de los taludes VII.12

## 8. Sumatoria total del talud: 22.5

## C. Deslizamiento 3 Km. 36.8

### 1. Geometría

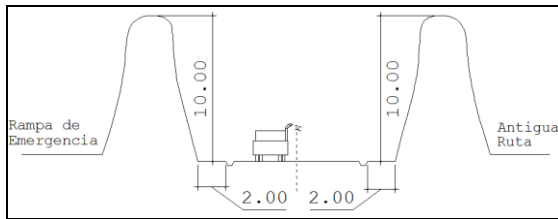


Fig. VII.5 (geometría)

### 2. Información de suelos

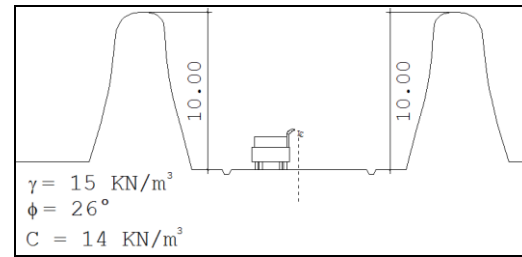


Fig. VII.6 (perfil estratigráfico)

### 3. Comportamiento del talud: este talud presenta problemas todos los años.

Todos los años presenta problemas (5pt.)	5
Algunos años causa problemas (3pt.)	
Nunca antes ha causado problemas (1pt.)	
<b>Subtotal</b>	<b>5</b>

Listado de Valores de los taludes VII.13

### 4. Factores antropogénicos:

- Deforestación del talud, mínimo.
- Evacuación de agua hacia el talud, moderado.
- Sobrecarga del suelo, mínimo
- Dificultad de acceso, mínimo.

	Importante(1pt)	Moderado(0.5pt)	Mínimo(0.25pt)
Modificación de la geometría			0.25
Deforestación del talud			0.25
Evacuación de agua		0.5	
Sobrecargas			0.25
Dificultad de acceso			0.25
<b>Subtotal</b>			<b>1.5</b>

Listado de Valores de los taludes VII.14

## 5. Riesgos:

## a. Humanos, ocupación permanente

Ocupación permanente (10pt.)	
Ocupación temporal (5pt.)	5
Ocupación eventual (0pt.)	
Subtotal	5

Listado de Valores de los taludes VII.15

## b. Económicos, interrupción prolongada de la carretera

Necesidad de limpieza (1pt.)	1
Interrupción temporal de un carril (2pt c/carril)	4
Interrupción prolongada de la carretera (5pt.)	
Obstrucción de río (5pt.)	
Subtotal	5

Listado de Valores de los taludes VII.16

## 6. Factores de seguridad:

a. F.S. actual: 1.219

b. F.S. requerido: 1.5

FS < 1 (10pt.)	
1.0 < FS <= 1.2 (8pt.)	
1.2 < FS <= 1.4 (6pt.)	6
1.4 < FS <= 1.5 (2pt.)	
Talud estable (0pt.)	
Subtotal	6

Listado de Valores de los taludes VII.17

## 7. Solución propuesta: anclajes

a. Costo de solución: moderado

Costo elevado (10pt.)	
Costo alto (7pt.)	
Costo moderado (5pt.)	5
Costo bajo (2pt.)	
Subtotal	5

Listado de Valores de los taludes VII.18

## 8. Sumatoria total del talud: 29.5

## D. Deslizamiento 4 Km. 37.3

### 1. Geometría

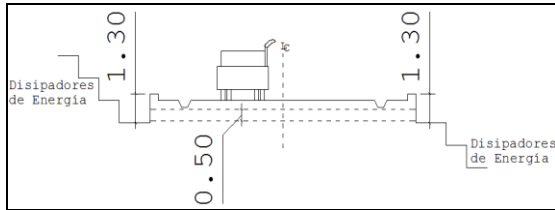


Fig. VII.7 (geometría)

### 2. Información de Suelos

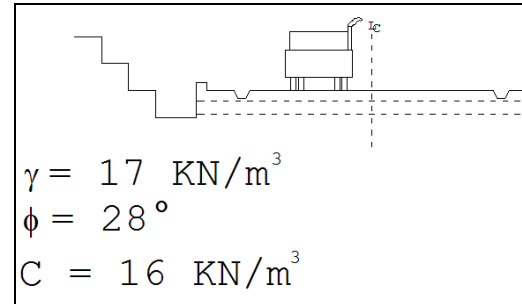


Fig. VII.8 (geometría)

### 3. Comportamiento del talud: este talud presenta problemas todos los años.

Todos los años presenta problemas (5pt.)		
Algunos años causa problemas (3pt.)		
Nunca antes ha causado problemas (1pt.)		1
Subtotal	1	

Listado de Valores de los taludes VII.19

### 4. Factores antropogénicos:

- Evacuación de agua hacia el talud, moderado.
- Sobrecarga del suelo, mínimo.
- Dificultad de acceso, mínimo.

	Importante(1pt)	Moderado(0.5pt)	Mínimo(0.25pt)
Modificación de la geometría			0.25
Deforestación del talud			0.25
Evacuación de agua	1	0	
Sobrecargas			0.25
Dificultad de acceso			0.25
Subtotal	1.5		

Listado de Valores de los taludes VII.20

### 5. Riesgos:

#### a. Humanos, ocupación permanente

Ocupación permanente (10pt.)		
Ocupación temporal (5pt.)		5
Ocupación eventual (0pt.)		
Subtotal	5	

Listado de Valores de los taludes VII.21

## b. Económicos, interrupción prolongada de la carretera

Necesidad de limpieza (1pt.)	
Interrupción temporal de un carril (2pt c/carril)	
Interrupción prolongada de la carretera (5pt.)	5
Obstrucción de río (5pt.)	
Subtotal	5

Listado de Valores de los taludes VII.22

## 6. Factores de seguridad:

## a. F.S. actual: Estable, el problema es de erosión.

$FS < 1$ (10pt.)	
$1.0 < FS \leq 1.2$ (8pt.)	
$1.2 < FS \leq 1.4$ (6pt.)	
$1.4 < FS \leq 1.5$ (2pt.)	
Talud estable (0pt.)	0
Subtotal	6

Listado de Valores de los taludes VII.23

## 7. Solución propuesta: anclajes

## a. Costo de solución: moderado

Costo elevado (10pt.)	
Costo alto (7pt.)	
Costo moderado (5pt.)	
Costo bajo (2pt.)	2
Subtotal	2

Listado de Valores de los taludes VII.24

## 8. Sumatoria total del talud: 17

## VIII. CONCLUSIONES

- A. La mayoría de los deslizamientos presentan un riesgo intermedio.
- B. El deslizamiento 1 tiene 30.25 puntos, por lo que el riesgo que representa es Alto. Esto se debe al alto grado de riesgo que representa en vidas humanas y pérdidas económicas
- C. El deslizamiento 2 tiene 22.5 puntos, por lo que el riesgo que representa es intermedio. Esto se debe a que el costo de solución es bajo, representa un riesgo económico intermedio y pérdidas de vidas humanas intermedio.
- D. El deslizamiento 3 tiene 29.5 puntos, por lo que el riesgo que representa es intermedio. Esto se debe a que el costo de solución es alto, representa un riesgo económico alto y pérdida de vida humana intermedio.
- E. El deslizamiento 4 tiene 17 puntos, por lo que el riesgo que representa es Bajo. Esto se debe a que el costo de solución es bajo y el talud es estable.
- F. Los factores antropogénicos pueden actuar como mecanismos de disparo, como es el caso de la sobrecarga, la alteración de la geometría, la deforestación, etc.
- G. El intemperismo puede generar una inestabilidad en un talud con forme el paso del tiempo. Esto se puede dar con intemperismo hídrico constante, y con desprendimientos de tierra a causa de este tipo de intemperismo.
- H. La falta de contra cunetas en los taludes fue un factor de importancia en la inestabilidad del talud.

## IX. RECOMENDACIONES

- Para los taludes que tiene un factor de seguridad  $< 1.2$ , se recomienda un monitoreo.
- Se recomienda un monitoreo del deslizamiento 1, ya que este es el que representa un riesgo alto y por su comportamiento, se asume que esta en un estado límite de equilibrio.
- Para los taludes en los que es de importancia el intemperismo, ya sea hídrico o eólico, se recomienda revegetación y control de aguas superficiales para prevenir que estos factores generen una inestabilidad.
- Se recomienda la construcción de contra cunetas en los taludes, con el objeto de evitar intemperismo hídrico.
- Se recomienda un control de construcciones a las orillas de la carretera, ya que estas construcciones alteran la geometría del talud y pueden desestabilizarlo.
- Se recomienda un control con respecto a tirar basura y ripio en los taludes, ya que estos matan a la vegetación y dejan susceptible el talud al intemperismo.
- Para un análisis preliminar de estabilidad de taludes se recomienda el uso de un programa de computadora como Geo-Slope ya que los métodos manuales son o muy tardados de hacer o son inexactos.
- Para el cálculo del factor de seguridad con Geo-Slope se recomienda ubicar el centro del círculo crítico de falla, en el centro de la cuadrícula de centros.

## X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Boedecker, Kenneth J Jr.; Btckenbrough, Roger L.; (1996), "Highway Engineering Handbook", McGraw-Hill, 894 Pg.
- Braja M. Das, (2001), "Principios de la Ingeniería de Cimentaciones", International Thomson Editores, 868 Pg.
- Braja M. Das, (1999), "Fundamentos de la ingeniería Geotécnica", International Thomson Editores, 594 Pg.
- Fariñas de Alba, Juan Luís; García Bermúdez, Pilar; López Jimeno, Carlos; et. al., (2001), "Manual de Estabilización y Revegetacion de Taludes", Entorno Gráfico S.L., 704pg.
- Federal Highway Administration (1996). "Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforces Soi Slopes Design and Construction Guidelines", Publication No. FHWA-SA-96-071, Washington, D.C.
- INSIVUMEH, 1998. <<Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología,>> [en línea]. Geología, <<<http://www.insivumeh.gob.gt>, 01/08/2005>> [Consulta 20 de julio de 2005]
- Morgenstern, N. R. (1963), "Stability Charts for Earth Slopes During Rapid Drawdown", Geotechnique, No2, 633Pg.
- Morgenstern, N. R., Price, V. E. (1965), "The Analysis of the Stability of General Slip Slope Stability Charts", Geotechnique, Vol15, 493Pg.
- O'Connor, M. J. Mitchel, R. J. (1977), "An Extension of the Bishop and Morgenstern Slope Stability Charts", Canadian Geotechnical Journal, Vol 14, 165 Pg.
- Spencer, E. (1967). "A Method of Analisis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces", Geotechnique, Vol. 17, 525 Pg.

## XI. APÉNDICE

### A. Estudio de Suelos:

Para cada uno de los taludes se tomaron muestras de suelos, las cuales fueron llevadas al Laboratorio de Ing. Civil de la Universidad del Valle de Guatemala, donde se realizaron las siguientes pruebas:

#### 1. Peso específico seco de la muestra:

Las muestras se pesaron en el laboratorio previo al secado, este peso es el peso en campo. Luego se dejaron secando al aire libre por 2 semanas, se pesaron nuevamente, y se tiene el peso seco y el contenido de humedad en campo.

#### 2. Granulometría:

Para esta prueba se utilizaron los siguientes tamices: #4, 10, 20, 50, 60, 100 y 200. Esta prueba se realizó con el objetivo de clasificar el suelo con el sistema unificado.

#### 3. Límite Líquido:

Para determinar el límite líquido se utilizó el método de Casa Grande, el cual consiste en una copa de bronce y una base de hule duro. La copa de bronce se deja caer sobre la base por una leva operada por una manivela. Para esta prueba se coloca una pasta en la copa, se corta una ranura en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de corte estándar. Luego, con la leva operada por la manivela, se levanta la copa y se deja caer desde una altura de 10mm. el contenido de agua, en porcentaje requerido para cerrar una distancia de 12.7mm. a lo largo del fondo de la ranura a los 25 golpes.

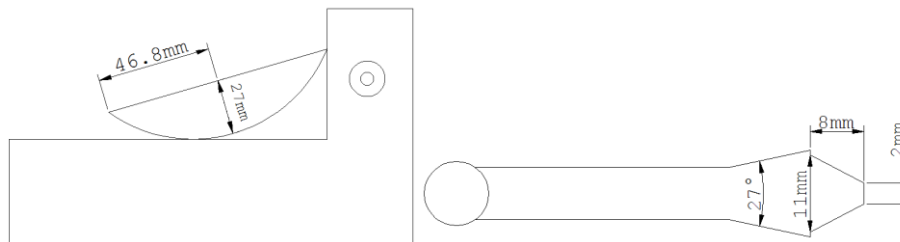


Fig. XI.1

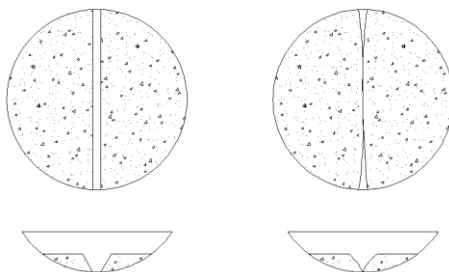


Fig. XI.2

#### 4. Límite plástico:

Es el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm. de diámetro, se desmorona. Esta prueba se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio, una masa de suelo de forma elipsoidal. Estos rollitos se pesan, y luego se colocan en el horno. Se pesan nuevamente y se determina el contenido de humedad.

#### 5. Datos obtenidos en la pruebas de laboratorio:

##### Deslizamiento 1

	$\gamma$	LL	LP
Arena 1	14 KN/m <sup>3</sup>	21	17
Arena 2	15 KN/m <sup>3</sup>	22	19

Cuadro de propiedades XI.1

Por medio del sistema de clasificación unificado, se determino que estos materiales son Arenas Limosas.

##### Deslizamiento 2

	$\gamma$	LL	LP
Arena 1	14KN/m <sup>3</sup>	19	17

Cuadro de propiedades XI.2

Por medio del sistema de clasificación unificado, se determino que este material es una Arenas Limosa.

##### Deslizamiento 3

	$\gamma$	LL	LP
Arena 1	15KN/m <sup>3</sup>	21	19

Cuadro de propiedades XI.3

Por medio del sistema de clasificación unificado, se determino que este material es una Arenas Limosa.

##### Deslizamiento 4

	$\gamma$	LL	LP
Arena 1	17KN/m <sup>3</sup>	23	19

Cuadro de propiedades XI.4

Por medio del sistema de clasificación unificado, se determino que este material es una Arenas Limosa