

1. LOS TALUDES Y LADERAS EN EL CAMPO DE LA CONSTRUCCION EN EL SALVADOR.

Durante muchos años, los taludes o laderas fueron casi un problema exclusivo de la construcción de carreteras; estos se evaluaron con un criterio económico más que de riesgo: A menos cortes y acarreos, menores costos de construcción. Cortes casi verticales fueron la práctica común en los años de 1940 al 1990, sin importar la estabilidad de estos. El tiempo y los fenómenos naturales hacían el trabajo que los constructores habían dejado inconcluso.

La escasez de terrenos en las áreas de gran concentración humana ha provocado que cada día más se utilicen suelos con topografías de pendientes pronunciadas, obligando a los urbanizadores a realizar transformaciones de los suelos por medio de cortes y rellenos de gran envergadura. En la gran mayoría de los casos, los criterios de construcción han sido los de proveer una compactación controlada y obras de contención (muros) en el caso de los rellenos y de proveer obras de contención al pie de los taludes conformados.

La ocurrencia de fenómenos naturales tales como los terremotos del año 2001 y los eventos climáticos como el STAN en 2005, aunados a las malas prácticas en el uso de los suelos nos ha demostrado la importancia que tiene un análisis más sofisticado del comportamiento de estas estructuras. Presentes en nuestros recuerdos están los aludes de tierra que se produjeron en carreteras y urbanizaciones en los eventos mencionados y que cobraron muchas vidas.

La posibilidad de fallas en laderas naturales, taludes y conformación de terraplenes debe de ser abordada desde un enfoque más integral en el que deben de tomarse en cuenta aspectos tales como la geotecnia, comportamiento dinámico, flujos de agua infiltrada, escorrentía y otros aspectos tales como la conformación final de los suelos a utilizar y sus entornos. Cada ladera, talud, terraplén, obras de contención y mitigación debe de ser abordada bajo estos criterios como mínimo.

2. PRESENTACION DE ALGUNOS CASOS DONDE SE HAN APLICADO ESTOS CRITERIOS CON BUENOS RESULTADOS.

Urbanización en la Cordillera del Bálsamo

Análisis de los Taludes.

La Urbanización, está siendo construida en terrenos de una antigua propiedad agrícola que fue dedicada a la cañicultura. La característica de estos suelos es la misma de la Cordillera del Bálsamo. Para desarrollar la urbanización, los proyectistas han hecho sus trazos de tal suerte que los terrenos sean modificados lo menos posible; sin embargo, la construcción de las calles y los sistemas de drenaje han afectado en alguna manera los suelos. Un relleno masivo al sur del proyecto ha sido proyectado con los sobrantes de los cortes para conformar las calles y los drenajes. Una ladera de con pendiente del 30% ha debido sufrir un corte al pie, de 9m de promedio, para dar paso a una calle y consecuentemente, para compensar el corte, ha debido proveerse una obra de retención a base de suelos claveteados. Adicionalmente, las condiciones naturales de la ladera, ahora con una urbanización al pie de la misma, debieron ser estudiadas para verificar su grado de riesgo.

Debido a la presencia de un estrato SP, que buza conforme a la ladera y tiene su salida casi al pie de la ladera, se estudiaron las condiciones de infiltración y desalojo de las aguas que se transportan en el estrato SP para establecer el sistema de drenajes al rostro de la pantalla de concreto lanzado para evitar que se acumule humedad en el intradós de la misma y en la masa de los suelos. Se hicieron ensayos de compresión triaxial drenada, en los suelos que componen la masa de la ladera para establecer los valores de cohesión, ángulo de

COMPETENCIA EN ANALISIS DE RIESGOS EN TALUDES

rozamiento y dilatancia; así mismo, se obtuvieron los pesos volumétricos de los suelos en su condición seca y húmeda. La estación 0+278.75 la presentamos como típica de este Estudio la cual incluyó un número bastante mayor de secciones. El estudio se llevó a cabo por medio de un programa con capacidad de análisis tenso-deformacional y tuvo como propósito evaluar las deformaciones de la masa de suelos durante las fases de ejecución y la concentración de las aceleraciones sísmicas en el talud con fines de alimentar los parámetros de diseño de obras de arquitectura en la zona.

El terreno ya se encontraba cortado en la banquina superior, excepto en una pequeña porción por debajo de lo que sería la segunda pantalla y claveteados que se aprecian en color gris en la FIGURA 1; en estas condiciones, se construyó una pequeña pantalla de concreto lanzado con un sistema de clavos de 12m de longitud a 1,50m de separación horizontal y 1,50m de separación vertical; esta se denominó, en el Estudio, como fase 1. En la fase 2, se termina de conformar el sistema de protección.

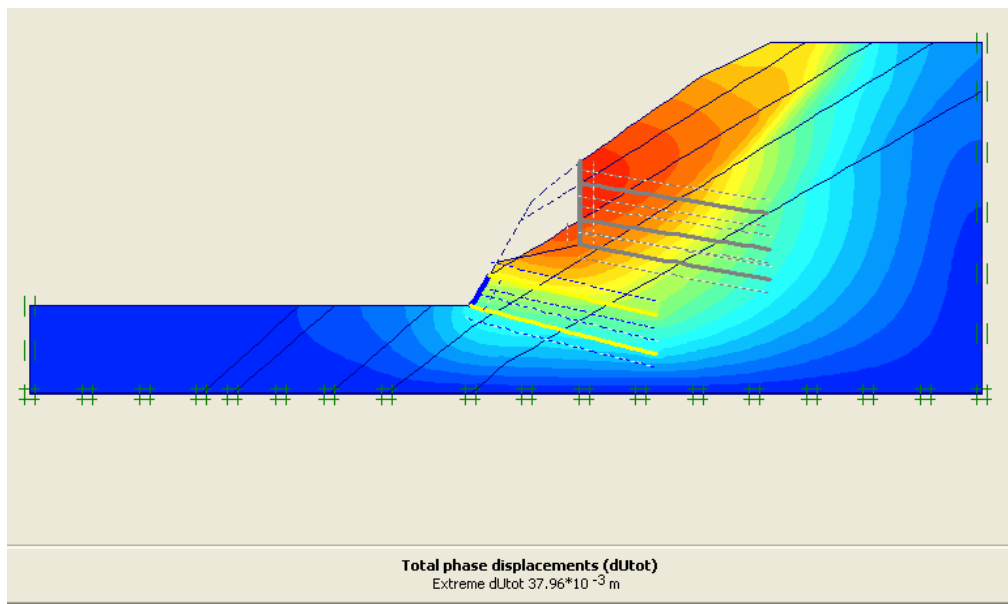


FIGURA 1

En la Figura 1, podemos ver que el sistema se ha deformado siguiendo la configuración de colores; siendo el rojo de mayor deformación la cual tiene su mayor magnitud en la parte superior del corte que ya se encontraba hecho y con un valor de 3.8cm; este valor se dio cuando se hizo el corte habiendo llegado a un equilibrio estático.

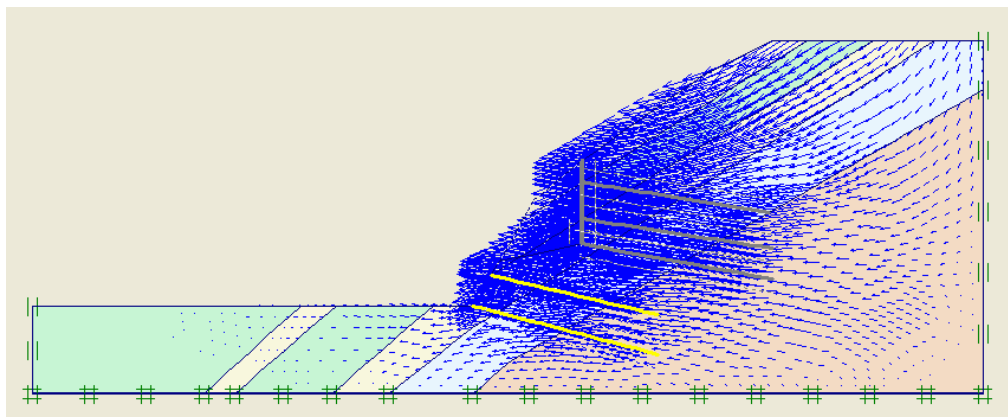


FIGURA 2

En la FIGURA 2 podemos apreciar la tendencia de las deformaciones cuando ya se ha construido la Fase 1 del sistema de protección.

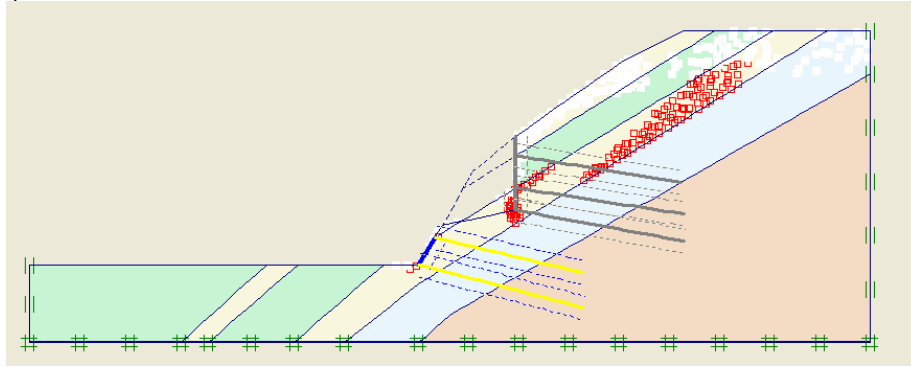


FIGURA 3

En la FIGURA 3, podemos apreciar el comportamiento de los suelos durante la Fase 1 de construcción. Los puntos blancos en el segundo estrato, contado de arriba abajo, caracterizado por suelos blandos del tipo SC, delatan la formación de puntos de tensión en el material los cuales potenciarían la posibilidad de fallas durante eventos sísmicos de gran magnitud; los puntos rojos delatan la formación de punto plásticos que demuestran que los asentamientos en ese sector ya no son recuperables. Bajo condiciones normales, es decir sin cargas dinámicas, el sistema es estable.

La FIGURA 4 que se presenta a continuación aplica a la Fase 2 de la construcción con la cual se dieron por concluidas las obras de este sector.

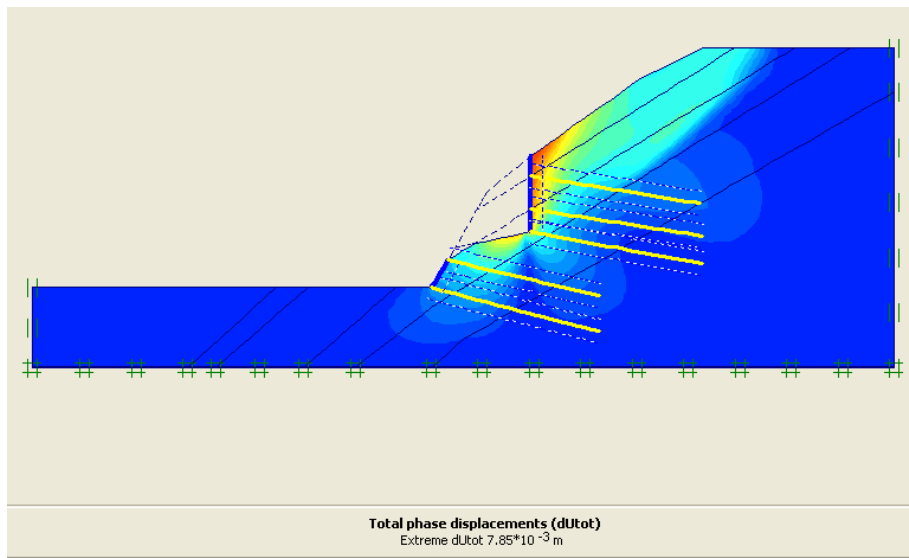


FIGURA 4

Como podemos apreciar en la FIGURA 4, las deformaciones casi han desaparecido y solo se ven aumentadas en 0.7cm debido al corte de la cuña de la banquina. El sistema ahora es estable como puede apreciarse en las bandas de colores de la figura.

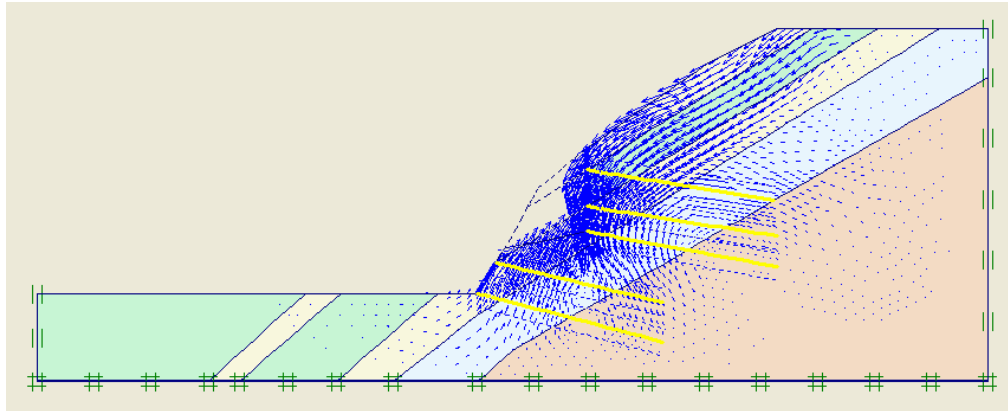


FIGURA 5

En la FIGURA 5 podemos apreciar la tendencia de las deformaciones en esta última etapa las cuales se concentran en la cabeza de la segunda pantalla de concreto; asimismo, obsérvese como los clavos, encastados en el estrato duro color café, proveen un anclaje efectivo con muy pocas deformaciones a su alrededor.

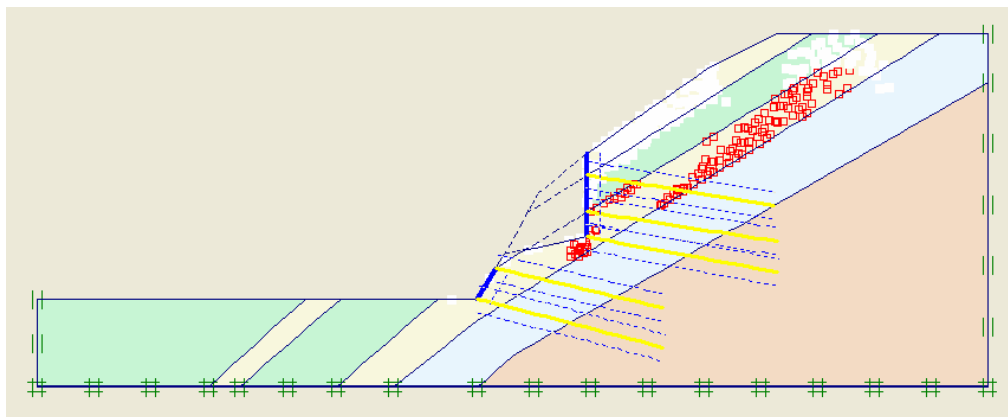


FIGURA 6

Podemos apreciar en la FIGURA 6 que no se producen cambios en los puntos de tensión y plásticos ya que estos se formaron en la Fase 1; sin embargo, con al construcción de la pantalla del segundo nivel, el peligro de deslizamientos queda anulado.

Los taludes de esta zona, se encuentran flanqueando aquella que estará dedicada a una zona social con un parque y entretenimiento y no se proyectan construcciones habitacionales pero si de recreación y eventos sociales. Esta zona de equipamiento se ubicará en la cresta de los taludes por lo que es menester evaluar la amplificación de las aceleraciones sísmicas en la plataforma. Todos los análisis fueron alimentados con una aceleración sísmica horizontal equivalente a 0,40g. Para conocer los sitios donde se concentran esta aceleraciones, se corrió la versión dinámica del análisis tenso-deformacional con los resultados que pueden apreciarse en la FIGURA 7.

COMPETENCIA EN ANALISIS DE RIESGOS EN TALUDES

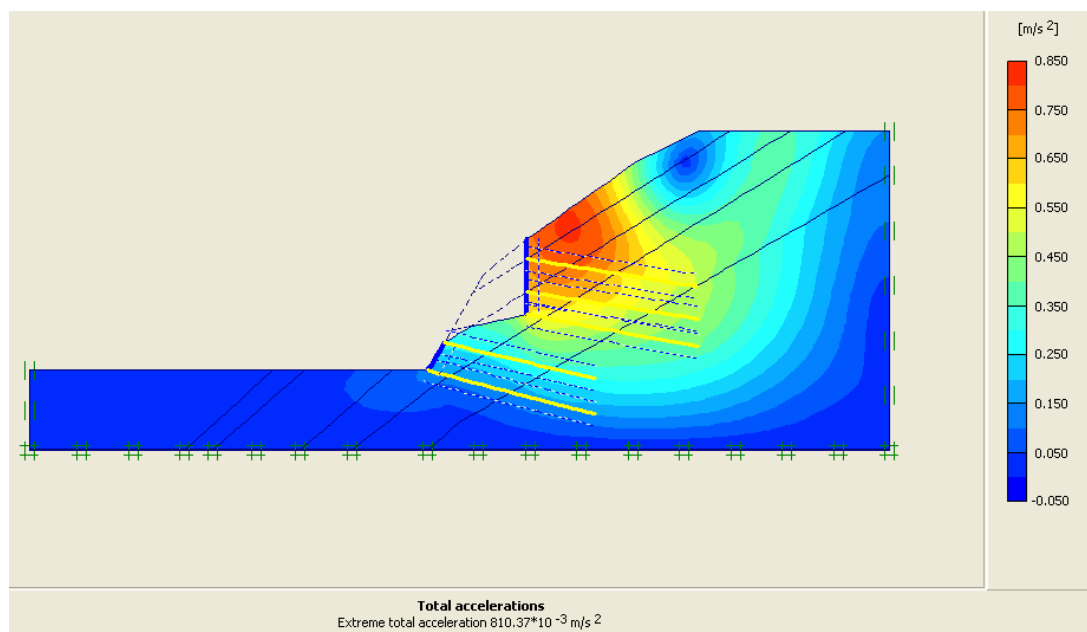


FIGURA 7

La figura 7 nos muestra dos concentraciones de aceleraciones en el sistema; la primera, por su magnitud, está ubicada cercana a la cabeza de la segunda pantalla, con un valor de 0.85 m/seg^2 equivalentes a $0.09g$; y la segunda concentración la encontramos en la superficie plana con un valor de 0.55 m/seg^2 equivalentes a $0.056g$; estas magnitudes deberán ser añadidas al valor de ingreso de $0.40g$ para el análisis dinámico de cualquier estructura en la zona de influencia.

El diagnóstico de la obra ejecutada dio como resultado que:

- 2.1. El sistema es estable bajo condiciones normales y dinámicas, siempre que se mantenga bien drenado y que se evite la acumulación de humedad en la masa de suelos.
- 2.2. Los clavos se encuentran trabajando a menor carga que las del diseño y por tanto son confiables.

Como resultado de este análisis se propusieron alternativas de obras complementarias para asegurar el buen desempeño de estas obras, las cuales se encuentra ya en ejecución. Estas obras se refieren a:

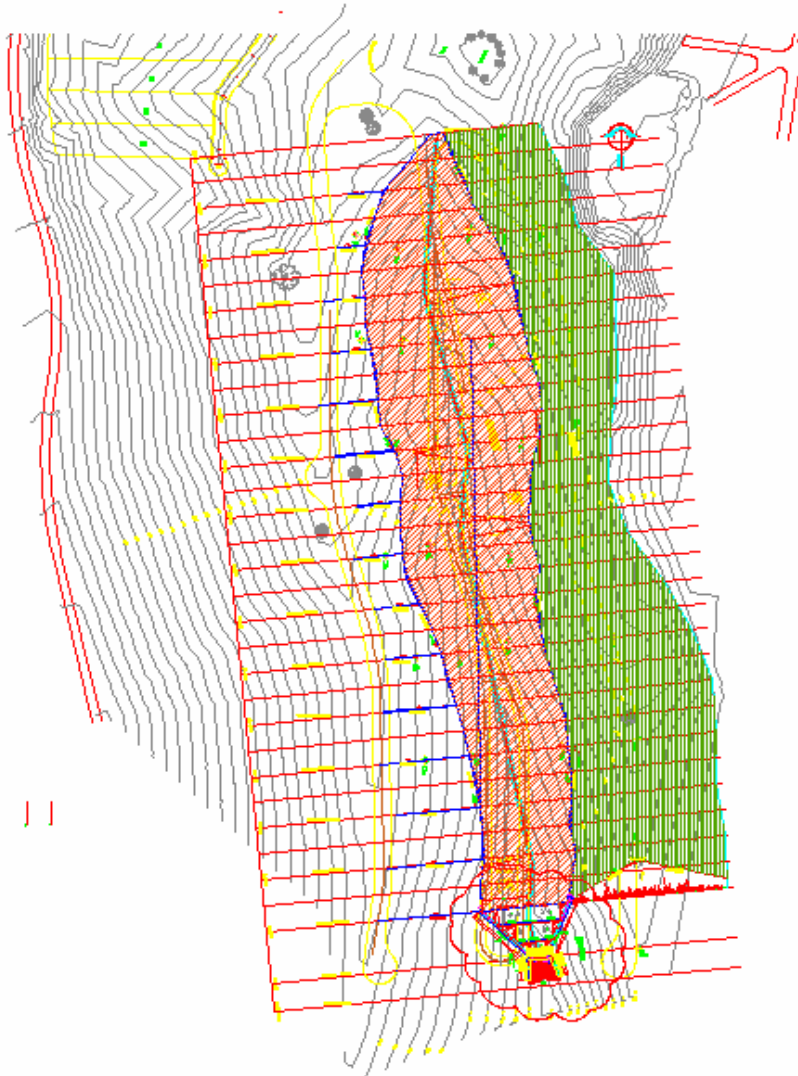
- 2.3. El sello de la superficie superior, donde aflora el estrato SP, para evitar la infiltración que aumente la humedad de los estratos SC y SC-OL que tienen la característica de soltarla muy lentamente.
- 2.4. Construir un sistema drenante que intercepte las infiltraciones antes que estas lleguen a la masa de los suelos.
- 2.5. No permitir la siembra de árboles con raíces profundas que procuran la mayor infiltración, tanto en la zona de la plataforma como en las laderas.

Relleno Masivo

El material que resultó sobrante de la terracería para las calles y la construcción de los drenajes, debía ser depositado en una vaguada ubicada dentro de los terrenos de la urbanización; a su vez, este relleno serviría para hacer el reparto de un mayor número de lotes. Las laderas que conforman la vaguada tienen una estratigrafía con la presencia de material SP con estratos impermeables del tipo SC que provocan el transporte de agua infiltrada hasta el fondo de la quebrada. Cualquier relleno que se pretendiera construir en la vaguada, debería considerar esta

COMPETENCIA EN ANALISIS DE RIESGOS EN TALUDES

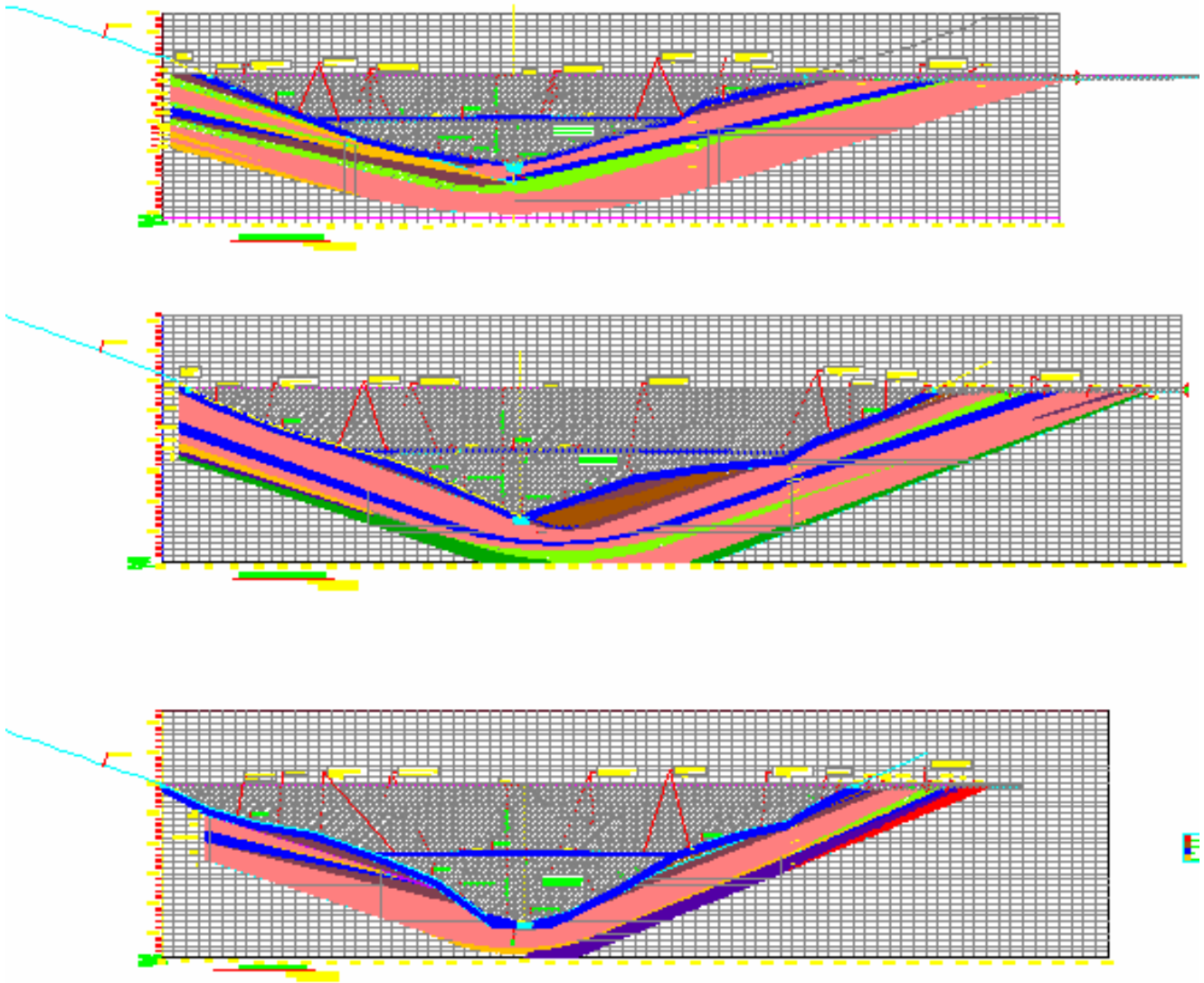
condición; adicionalmente, el material sobrante de relleno estaba clasificado como tipo AASHTO A3 con propiedades de retención de humedad bastante importantes; el material debería de ser secado para que fuera apto para la compactación. Para asegurarse que este, el material de relleno se mantenga en condiciones óptimas, un sistema de drenaje intercalado dentro de la masa, tuvo que ser diseñado para interceptar y evacuar el agua y que esta no aumente la humedad. Se calcularon los volúmenes de infiltración y los valores de k_v y k_h fueron obtenidos por ensayos de laboratorio para los diferentes materiales a utilizarse. En las siguientes figuras pueden apreciarse algunos detalles del diseño.



PLANTA DE RELLENO Y CORTE.
(En rojo el relleno y en verde el corte)

La ladera de la izquierda (E), será nivelada hasta conformar una sola terraza con el relleno; el material producto del corte, se depositará en la quebrada. La ladera de la izquierda (W), permanecerá intacta; el relleno dará un soporte adicional a la ladera incrementándole su estabilidad.

COMPETENCIA EN ANALISIS DE RIESGOS EN TALUDES



SECCIONES REPRESENTATIVAS.

Las secciones muestran el intercalado de los drenajes dentro de la masa del relleno; al igual que en las laderas, en el apartado anterior, se corrieron análisis tenso-deformacionales para verificar la estabilidad del relleno y conseguir las aceleraciones a este estará sometido para su uso posterior en el diseño de las estructuras.

3. JUSTIFICACION DE ESTUDIOS COMO LOS PRESENTADOS

Ninguna obra que involucre riesgo para las vidas humanas debe de ser acometida sin que se hagan los análisis exhaustivos que verifiquen que ellas tendrán la suficiente estabilidad para asegurar que las personas que habitan en ella o en su área de influencia no correrán razonablemente riesgo alguno; adicionalmente a esta obligación moral de todo proyectista y constructor se deben agregar los beneficios de menores costos de construcción ya que el análisis de estabilidad por etapas de ejecución nos rinden una mejor visión de lo que sucede durante ellas en sus deformaciones y por tanto menores costes en obras de protección. Tener una sensación de seguridad física, a la par de beneficios económicos es una de las metas de todo proyectista y constructor.