

CAPITULO V

CASOS PARTICULARES - TRAMO EST. K0-K4

En este capítulo se describen y comentan las condiciones observadas en siete sectores del tramo K0-K4, de acuerdo con la información obtenida durante la visita de campo y la suministrada antes o después de ella por el AyA. Estos comentarios deben entenderse dentro del marco de consideraciones geotécnicas y resultados del análisis paramétrico de estabilidad presentados en el Capítulo IV.

5.1 EST K0+350 - K0+450

En este tramo la tubería va prácticamente superficial y protegida con bloques de concreto. Su eje longitudinal va a continuación de la cuneta interior del camino, manteniéndose alejada del talud exterior (Ver Fotografía No. 1).

En el talud inferior o exterior del camino se produjo una severa erosión superficial por causa del flujo concentrado proveniente de operaciones de limpieza del embalse El Llano y otras malas entregas de agua de escorrentía. (Ver Fotografías Nos. 2, 3 y 4). Se recomienda entonces:

- Invertir la pendiente transversal del camino, levantando el borde exterior de éste.
- Colocar un bordillo de concreto en el lado exterior del camino para evitar que la escorrentía erosione la cara del talud inferior.
- Recuperar el fondo socavado de la cañada y el talud con gaviones y/o trinchos escalonados
- Corregir las entregas de aguas de las alcantarillas, prolongándolas hasta asegurar que no causen daño a taludes y cañadas.

En la Figura No. 9 se ilustra esquemáticamente la solución para recuperar la cara del talud.

5.2 EST. K1+100 - K1+500 - "LOS VADOS"

En este sitio se detectó una grieta cerca del nivel del camino (El 1553 m.) en julio de 1992. Esta inestabilidad fue tratada por medio de un muro de pilotes de concreto de 8 metros de longitud espaciados 1.3 m. centro a centro, colocados en zig-zag y amarrados entre sí por una viga cabezal. Esta viga recibe la reacción de tensores inclinados. Además, en el flanco izquierdo de la quebrada Jucó se construyó un muro de gaviones de cerca de 40 m. de longitud y de unos 5-8 m. de altura para estabilizar la pata de la ladera (Ver Fotografías Nos. 5 a 9).

Como se observa en las Fotografías Nos. 7 y 8 y en las Figuras Nos. 10 y 11 el talud inferior del camino de la conducción tiene una altura de 78 m. aproximadamente y una pendiente promedio de 38°. Su perfil de meteorización tiene más de 15 metros de espesor.

Es muy probable que el factor detonante de la inestabilidad registrada en 1992 haya sido una socavación del fondo de la quebrada Jucó debido a un aumento excepcional de su caudal, activando un deslizamiento planar del horizonte más débil del perfil, con un espesor de unos 5 metros.

A la luz de lo expresado en el Capítulo IV, esta ladera con una pendiente de 38° tiene una condición muy precaria de estabilidad que puede ser agudizada por una pérdida de soporte de pata por socavación, una pérdida de succión por percolación y/o ascenso del nivel freático, fuerzas de infiltración, sismo fuerte o una combinación de estos factores.

Es posible que ante la combinación probable de varios de los factores desestabilizadores en el futuro se induzca una falla planar que no se limite a los 5 metros externos del talud sino que involucre en espesor mayor, de 7 a 9 metros, incluyendo la tubería del acueducto como se ilustra en la Figura No. 11. En tal condición, el muro anclado de pilotes no contribuiría a la estabilidad.

Para que este mecanismo de falla crítico planar, con una pendiente promedio de 33° de la superficie potencial de deslizamiento, no se presente se debe:

- Garantizar una estabilidad adecuada a la pata de la ladera, impidiendo la socavación del fondo de la quebrada Jucó y garantizando una fundación competente al muro de gaviones existente.

- Construir un sistema de subdrenaje suficientemente eficiente que mantenga la línea superior de infiltración alejada más de 12 metros de la cara del talud por lo menos en el 80% superior de la altura de la ladera.
- Minimizar la escorrentía y la percolación en el talud, recogiendo las aguas lluvias con un sistema de cunetas revestidas y reconvirmando la cara del talud, sellando grietas, eliminando depresiones y revegetando cuidadosamente la ladera.

Se requerirá, por lo tanto, desarrollar por lo menos las siguientes actividades:

- a. Controlar la socavación de la pata de la ladera estabilizando el fondo de la quebrada Jucó por medio de estructuras hidráulicas de control de torrentes, y estabilizando los deslizamientos activos existentes en los flancos de la quebrada, en particular el localizado en su margen derecha, unos 100 metros aguas arriba del muro de gaviones, como se observa en la Fotografía No. 9. Este deslizamiento reciente amenaza con represar la quebrada y posteriormente generar una creciente que socavaría su fondo, agravando la inestabilidad de la pata de la ladera.
- b. Preferiblemente entubar la quebrada Jucó en el trayecto frente a la pata de la ladera inestable, K1+200-K1+400 aproximadamente, y colocar un gran pedraplén sobre el cauce de la quebrada entubada, con una altura de unos 10 metros, que rellene de lado a lado el cañón para asegurar la estabilidad de la pata de la ladera izquierda.
- c. Instalar drenes horizontales de unos 25 metros de longitud en todo el cuerpo de la ladera, desde el nivel 1550 m hasta el 1480 m., espaciados 15 m. verticalmente y 5 m. horizontalmente. Estos drenes deberán colocarse con un ángulo de unos 5°-10° hacia arriba y deberán llevar protección debida contra la tubificación o erosión interna del material saprolito y de la roca altamente meteorizada. También será necesario colocar dos filas de drenes en la ladera superior del camino, en los niveles 1555 m y 1570 m respectivamente.
- d. Reconvirmando el talud de la ladera, eliminando depresiones aisladas, sellar grietas existentes, instalar cunetas revestidas que manejen adecuadamente la escorrentía en el talud, y empedrar donde se haya perdido la vegetación.

- e. Instalar piezómetros en varios puntos de la ladera para verificar la eficiencia del sistema de subdrenaje recomendado y ajustarlo si fuere necesario.
- f. Remover cuidadosamente por etapas unos 2 metros de espesor de la ladera entre los niveles 1553 m y 1525 m de lo que parece ser material de botadero proveniente de las operaciones de excavación para el camino y para la zanja de conducción. (Ver la protuberancia topográfica en la Figura No.11). Esta operación debe hacerse en combinación con una protección y revegetación inmediatas de la cara expuesta del talud y de un manejo oportuno de la precipitación para evitar erosión y percolación.
- g. Impermeabilizar el camino y construir cunetas de gran capacidad que manejen la escorrentía de la ladera superior y del camino y la entreguen adecuadamente en un sitio suficientemente alejado de los puntos críticos de la quebrada Jucó.
- h. Eliminar el pantano localizado ladera arriba del camino en la Estac. K1+200, con drenaje y reconfiguración topográfica pues aquél puede ser el responsable de flujos subterráneos que afloran en la ladera inferior del camino y causan erosión e inestabilidad de masas de suelo.
- i. Realizar controles topográficos, piezométricos e inclinométricos periódicos, precisar su información en tablas y gráficas e interpretar oportunamente sus resultados.

En la Figura No. 11 se resumen esquemáticamente estas recomendaciones.

5.3 EST. K1+870

En la Fotografía No. 10 se observa un deslizamiento en el talud superior del camino. Durante la instalación de la tubería se requirieron tablestacas metálicas para contener las paredes de la zanja. En la actualidad la cara del talud continúa mostrando un flujo de tierra que desliza sobre la roca caliza, en un proceso de erosión laminar. La cara degradada del talud es de unos 20 metros de altura.

Se recomienda:

- a. Construir una zanja revestida de coronación para eliminar la escorrentía sobre la cara afectada del talud. Dicha zanja debe llevarse hasta un sitio seguro de entrega.

- b Empradizar la cara del talud con cespedones de pasto y estacas de fijación

5.4 EST K1+920

En la fotografía No. 11 se observa un deslizamiento de niveles cuaternarios sobre niveles duros de caliza de la Formación San Miguel en el talud izquierdo superior del camino de conducción.

En la Figura No. 12 se ve en planta el área afectada y en la Figura No. 13 se presenta el perfil medio de dicha área. Como se aprecia en el perfil, esta inestabilidad no afecta directamente la integridad de la tubería de la conducción de AyA, la cual va empotrada en roca en este trayecto. Sin embargo, es necesario estabilizar el talud para evitar perjuicios al camino

La altura total del talud es de cerca de 75 metros de los cuales los 50 metros inferiores parecen corresponder a calizas frescas y los 25 metros superiores a depósitos cuaternarios coluviales o de rellenos de paleocauces.

Se recomienda:

- a. escalonar el talud en roca con bancas de 10 metros de altura, talud $<60^\circ$, separadas por bermas de 3 metros de ancho.
- b. Tender el talud en suelo con banqueos de 8 metros de altura y talud 1 1/2H:IV, separados por bermas de 4 metros de ancho
- c. Empradizar todo el talud en suelo.
- d. Colocar malla electrosoldada y concreto neumático con lloraderos en aquellas áreas de taludes en roca que estén muy meteorizadas
- e. Construir una zanja de coronación revestida para eliminar la escorrentía y la percolación en el talud de suelo.
- f. Construir cunetas revestidas en el lado interno de las bermas recomendadas en suelo.

- g. Sellar grietas en la cabeza del talud y en las bermas o descansos en suelo y en roca para impedir la infiltración.

En la figura No.13 se presentan esquemáticamente las recomendaciones dadas. Para confirmar éstas se esperan los resultados de investigaciones geofísicas (líneas de refracción) que están próximas a ejecutarse.

5.5. EST. K2+200 (aprox.)

La Fotografía No. 12 muestra un talud superior del camino, donde en un 50% de su área ya se presentó hace varios años un deslizamiento de todos los materiales que constituían el grueso perfil de meteorización (6-9 metros), los cuales se deslizaron con un movimiento puramente traslacional de falla planar sobre el contacto con la roca caliza fresca que buza en la dirección e inclinación del talud.

La altura de este talud de la ladera es de 40-50 metros y su inclinación es de 34°-38°. El deslizamiento ya ocurrido probablemente fue causado por el corte realizado en su pata para dar lugar al camino de la conducción. Como se aprecia en la Fotografía No. 12, en el 50% restante de la cara del talud todavía están en su sitio los suelos y rocas meteorizadas que cubren la roca fresca, y se estima que su grado de estabilidad es muy precario.

En este tramo la tubería está empotrada en zanja dentro de roca y una eventual inestabilidad de los suelos en la ladera superior del camino no sería catastrófica para la tubería del acueducto pero sí causaría daños e interrupciones al camino por el gran volumen de la masa potencial del deslizamiento y la acción de su gran peso podría causar daños a la tubería enterrada.

Por lo tanto se recomienda:

- a. Restablecer la contención de la pata por medio de la construcción de un muro de gaviones de unos 7 metros de altura y 7 metros de ancho de base, en un trayecto de cerca de 40 metros.
- b. Construir una zanja revestida de coronación detrás de la cabeza del talud.
- c. Sellar grietas si las hubiere y construir cunetas revestidas en la superficie del cuerpo principal del talud, con el fin de manejar la escorrentía e impedir la percolación y la saturación de la masa

de material.

- d. Instalar unos 3 piezómetros cortos (6-10 metros de longitud) en el cuerpo del talud para hacer un seguimiento periódico en época de verano y en época de lluvias con el fin de determinar la necesidad de tomar medidas especiales de drenaje.

En la Figura No.14 se presentan esquemáticamente las recomendaciones dadas.

Alternativamente, dependiendo de consideraciones económicas y de condiciones futuras de inestabilidad podría pensarse en remover parcial o totalmente el material que yace sobre la roca fresca, empezando desde arriba e impidiendo en todo momento la infiltración de aguas.

5.6 EST. K2+790-K2+900: "EL QUEQUE"

En este trayecto la ladera inferior del camino de la conducción ha sufrido diversos procesos de inestabilidad hacia dos subcuencas o cañadas separadas por una loma en forma de silla de montar, tal como se aprecia en la panorámica de la Fotografía No. 13.

5.6.1 Deslizamiento Derecho - K2+815

En las Figuras Nos. 15 Y 16 se presentan la planta y el perfil central del deslizamiento derecho (K2+815) del sitio llamado Vuelta de El Queque.

Este deslizamiento empezó a desarrollarse durante la construcción de la conducción hacia el año 1985, cuando el contratista colocó sobre la ladera inferior del camino un botadero no autorizado de materiales provenientes de las excavaciones. Dicho botadero desestabilizó el talud, afectando la capa superior natural del terreno y modificó su drenaje original.

Presentados los primeros movimientos se construyó un muro de gaviones de 9 metros de altura para estabilizar la pata del deslizamiento. Posteriormente, el botadero se saturó en época de lluvias intensas y iluyó, rebotando por encima del muro. También se han ejecutado trabajos de conformación del talud, construcción de cunetas, drenes y revegetación (empradización y arborización).

Durante la visita de campo, abril de 1994, este deslizamiento presentaba una serie de escarpes ya

muy cerca del borde exterior del camino como se observa en la Fotografía No. 14 . La erosión, el agrietamiento, la infiltración, el daño de cunetas, etc. se han agravado de tal forma que este deslizamiento puede en un futuro remontarse hasta el nivel del camino e involucrar la tubería de AyA.

En la Figura No. 16 (Perfil típico-Deslizamiento Derecho-El Queque), se observa que el talud inferior del camino tiene 124 metros de diferencia de nivel desde el camino hasta la pata del muro de gaviones, una pendiente promedio del terreno de 27° (2H:IV) y en espesor promedio de la capa en movimiento de 5-6 metros. Se presenta a trazos la posible superficie actual de falla y la zona de agrietamiento y erosión cercana a la tubería.

Las causas de la inestabilidad inicial se pueden resumir en:

- Sobrecarga impuesta por el botadero.
- Cambios en el drenaje y en la escorrentía originales, los cuales condujeron a un progresivo aumento de la saturación del cuerpo del botadero y de las capas superiores del perfil de suelos.

Estas dos causas explican fácilmente el fenómeno de deslizamiento en esta ladera de 27° de inclinación, como se discutió ampliamente en el Capítulo IV.

Además, es posible que la existencia de una zona de cizallamiento o de gran fracturación detectada por la geofísica en la zona central del talud cause grandes subpresiones en la base del perfil de meteorización y contribuya a explicar el grado de inestabilidad.

Para mejorar las condiciones de estabilidad de esta ladera y romper el círculo vicioso de: movimiento - agrietamientos - erosión - percolación - saturación - movimiento, se recomienda desarrollar las siguientes actividades:

- a. Remoción de un alto porcentaje del material de botadero.
- b. Estabilización de la zona erosionada en la cabecera del deslizamiento por medio de estacones y empalizadas que formen escalones donde se pueda retener tierra orgánica y proceder a su empradización.

- c. Sellamiento de grietas y eliminación de depresiones locales
- d. Construcción de cunetas revestidas que manejen la escorrentía adecuadamente e impidan la percolación y la saturación. Puede espaciarse 10-15 m verticalmente.
- e. Construcción de cunetas y bordillos en el camino para impedir que la escorrentía se vierta sobre el talud inferior.
- f. Instalación de drenes horizontales en el talud superior del camino y en la parte alta del talud inferior. Tentativamente espaciados 20 m. verticalmente y 5 m. horizontalmente, con una longitud de 30 m. cada uno aproximadamente.
- g. Instalación de algunos (5 ?) piezómetros cortos (6-10 metros) en sitios convenientes de la ladera inferior para evaluar periódicamente el comportamiento del nivel de aguas freáticas y la eficiencia del sistema de drenes. Estos piezómetros pueden servir de inclinómetros sencillos o indicadores de movimiento.
- h. Estudio de la posibilidad de instalar un sistema de drenaje del cuerpo del talud con zanjas rellenas con piedra o grava envuelta en geotextil no tejido de filtro. Dichas zanjas podrán tener una configuración en espina de pescado, y deberán estar cubiertas por material arcilloso en su parte superior para que no se conviertan en colectoras directas de la escorrentía superficial. Deberá estudiarse cuidadosamente la entrega del agua captada por el sistema de zanjas para que no cause erosiones o inestabilidades ladera abajo.
- i. Colocación de puntos de control topográfico en la superficie de la masa inestable y en puntos estables de referencia (formando una retícula de 30 m. x 30 m.), y registro e interpretación oportunos y periódicos de los datos obtenidos.
- j. Refuerzo de la pata del muro de gaviones (puede ser con gaviones adicionales).

En la Figura No. 16 se presentan esquemáticamente las recomendaciones dadas.

5.6.2 Deslizamiento Izquierdo K2+843

En las Fotografías Nos. 15, 16 y 17 se observan diferentes aspectos de este deslizamiento.

Las Figuras Nos. 17 y 18 muestran la localización en planta y el perfil del deslizamiento. Hasta el momento no se cuenta con el levantamiento topográfico completo del área correspondiente. Sólo se cuenta con información topográfica de la parte alta de la ladera inferior, lo más próximo al camino y a la conducción. La topografía de la parte más baja fue supuesta, basada en las notas de campo tomadas durante la visita de abril /94.

Este deslizamiento también empezó hace varios años. Se inició con una cárcava de erosión. Esta fue rellenada, se construyó un muro de gaviones de 7 metros de altura en la pata de la zona inestable y se le colocó un relleno trasero. También se construyó un filtro frances para drenar la masa inestable.

Como se puede observar en la Fotografía No. 13 y en el perfil de la Figura No. 18 la ladera inferior del camino muestra lo siguiente

Parte Alta:

Deslizamientos retrogresivos ya muy cercanos al borde exterior del camino, causados por pérdida de soporte en su pata, flujo subterráneo probablemente muy alto y concentrado en épocas de lluvias y erosión del material agrietado y disgregado.

En esta parte alta de la ladera inferior el talud original tenía 38 metros de altura aproximadamente y una pendiente de 35° entre el nivel del camino y el nivel de un "descanso" central en la ladera.

A la luz de los análisis de estabilidad y sus resultados presentados y comentados en el Capítulo IV una ladera de 35° de pendiente, con un perfil grueso de meteorización como el aquí encontrado llega a una condición de inestabilidad si se pierde la succión por procesos de percolación y ascenso del nivel freático y si se desarrollan flujo y fuerzas de infiltración hacia la cara del talud en parte de la masa potencial inestable.

Por estos motivos, para recuperar esta parte de la ladera y alejar el peligro de que los deslizamientos se remonten hasta el nivel del camino se recomienda:

- a. Instalar drenes horizontales de 30 metros de longitud, espaciados 5 metros horizontalmente, y espaciados 15 metros verticalmente, una fila al nivel 1505 m. en el talud superior del camino, y dos filas a los niveles 1490 m y 1475 m. en el talud inferior

- b. Construir cunetas y bordillos en el camino para manejar la escorrentía superficial, evitar su percolación e impedir que se vierta sobre el talud inferior.
- c. Construir un muro de gaviones de cerca de 5 metros de altura localizado a unos 75 metros del eje de la conducción y fundado a 2 metros por debajo de la superficie del terreno (nivel 1463 m. aproximadamente), con el fin de asegurar la estabilidad inferior de un terraceo de reconformación del talud. Las excavaciones y la colocación de los 2 metros inferiores del muro de gaviones deberán hacerse por tramos cortos de lo contrario se agravaría la situación actual de inestabilidad.
- d. Construir escalones de reconformación del talud con estacones y empalizadas, sellar grietas, compactar materiales, cubrir con tierra orgánica y enpradizar, y construir cunetas revestidas, tratando de lograr una pendiente no mayor de 30° para el promedio del nuevo talud.
- e. Instalar 4-5 piezómetros de 10-15 metros de profundidad, distribuidos en el área recuperada con terrazas para verificar la eficacia de los drenes horizontales (punto a) o indicar la necesidad de intensificar el subdrenaje para impedir la presencia de niveles freáticos colgados dentro de los 10 metros superiores del terreno.

En la Figura No. 18 se ilustran esquemáticamente las recomendaciones dadas para recuperar la parte alta de la ladera inferior del camino.

Parte Baja:

Masa inestable agrietada y saturada, posiblemente moviéndose traslacionalmente sobre una superficie supuesta de falla con una inclinación de tan sólo 15°-20°, como se observa en la Figura No. 18.

Esta área corresponde a la de la cárcava que apareció hace varios años y que fue rellenada y "drenada".

Por la topografía se puede deducir que esta masa de suelo debe presentar un nivel freático muy alto cercano a la superficie y que el ablandamiento resultante y las fuerzas de infiltración actuantes en el sentido de la ladera han sido suficientes para activar un movimiento predominantemente

planar, produciendo una zona de gran agrietamiento cerca de la cabeza del deslizamiento, lo cual facilita la infiltración del agua lluvia, elevando el nivel freático y aumentando la inestabilidad. Este movimiento puede haber llevado a que el material desarrolle tan sólo una resistencia residual baja a lo largo de la superficie de falla.

Para estabilizar esta zona se recomienda desarrollar las siguientes actividades:

- a. Investigar el régimen del nivel freático dentro de esta masa de suelo por medio de perforaciones cortas (8 m.) convenientemente distribuidas (con equipo de barreno manual si es posible), con el fin de diseñar y construir un sistema de zanjas filtrantes (piedras y grava envueltas en geotextil no tejido, y cubiertas por arcilla en el metro superior), formando una configuración del tipo espina de pescado. El ancho de las zanjas será del orden de un metro, su profundidad necesaria será del orden de cuatro metros y su espaciamiento de unos 20 metros, tentativamente. Con piezómetros instalados en las perforaciones recomendadas se podrá verificar la eficacia del sistema de zanjas filtrantes en abatir el nivel freático, o en indicar la necesidad de excavar zanjas adicionales intermedias.
- b. Sellar grietas, eliminar depresiones locales, empedrar las áreas erosionadas y sembrar arbustos livianos.
- c. Construir cunetas revestidas que manejen la escorrentía.
- d. Colocar puntos de control topográfico formando una cuadrícula, espaciados 25 metros en ambas direcciones, registrar datos e interpretar la información oportuna y periódicamente.

En las Figuras Nos. 17 y 18 se ilustran esquemáticamente las recomendaciones dadas.

5.7 EST. K3+700-K3+900. "EL TAPON"

Las Fotografías Nos. 18 a 22 presentan aspectos de la ladera inferior del camino de la conducción en el sitio denominado El Tapón, como se encontraba durante la visita efectuada en abril de 1994.

La Figura No.19 muestra la planta topográfica suministrada por AyA del área donde se ha presentado una inestabilidad muy grave, donde se delimita la zona afectada y el sentido del movimiento. En la Figura No. 20 se muestra el perfil transversal del terreno en el K3+820, donde se

indica a trazos la topografía original y en línea continua la superficie actual después de ocurrido el deslizamiento.

Según la información recibida:

- En enero de 1990 se presentó una grieta en el lado exterior del camino.
- En junio de 1990 AyA construyó un muro de concreto reforzado en forma de L.
- En octubre de 1990 se presentó un gran deslizamiento planar de los horizontes S (suelos coluviales y residuales superiores), que dejó a la vista la base del muro de contención, y en algunos sitios el muro perdió parte de su terreno de apoyo.
- Entre 1991 y 1992 se ejecutaron obras importantes de reparación, contención, drenaje, subdrenaje y conformación de taludes, que incluyeron: construcción de muro de gravedad de concreto con contrafuertes, anclajes del muro de concreto reforzado, drenes horizontales, muros de gaviones a dos niveles diferentes del talud, encauzamiento de la quebrada Los Tanques, estabilización y control de su cauce con escalonamiento en gaviones, perfilado del talud, cunetas revestidas, empradización, control topográfico de puntos marcados en los muros de concreto y controles inclinométricos y piezométricos.

Como puede verse en la Figura No. 20, la ladera inferior tiene una altura de 130 metros desde el cauce de la quebrada Los Tanques hasta el nivel del camino y una pendiente de 39°. El deslizamiento de octubre de 1990 movilizó fundamentalmente el horizonte S de suelos coluviales y residuales.

La causa del deslizamiento de 1990 pudo ser la combinación de factores tales como: altas subpresiones en la base del horizonte S por artesianismo dentro del horizonte A de areniscas friables, alta precipitación, percolación y ascenso de niveles freáticos colgados, flujo hacia la cara del talud, profundización del cauce de la quebrada Los Tanques, sobrecarga por colocación de escombros sobre el talud, etc.

De acuerdo con los resultados analizados en el Capítulo IV una ladera como esta, con un espesor remanente del perfil de meteorización de unos 10 metros, con 39° de pendiente, está muy cerca de la condición de inestabilidad, FS menor de 1.1, para mecanismos de falla planar de bloque

deslizante sin nivel freático alto y sin flujo paralelo al talud.

Con la presencia de agua subterránea, subpresiones o niveles freáticos colgados cercanos a la superficie del terreno y las fuerzas de infiltración semiparalelas al talud, esta ladera sería claramente inestable y su falla se propagaría hasta involucrar la tubería de AyA y los muros de concreto construidos en años pasados, como se ilustra en la Figura No. 20 . De otra parte, aún sin pérdidas de succión y sin problemas de flujo interno de agua, el perfil grueso de meteorización de estas laderas tan empinadas tendría una condición muy precaria de estabilidad ante un evento sísmico fuerte (0,45 g, con 10% de probabilidad de excedencia en los próximos 50 años) y sufriría desplazamientos residuales excesivos (mayores de 3 metros), intolerables para la conducción.

Para reducir los riesgos de fallas estáticas (sin considerar un sismo fuerte) hay que mantener alejado de la superficie del talud el flujo subterráneo de aguas y minimizar posibles subpresiones, impedir la percolación y evitar la erosión. Por lo tanto se recomiendan las siguientes actividades para complementar las ya desarrolladas hasta ahora:

- a. Instalar drenes horizontales de unos 30 metros de longitud, espaciados 5 metros horizontalmente y cerca de 20 metros verticalmente.

Es tan importante y decisivo para la estabilidad de esta ladera el abatir el nivel freático, el aliviar subpresiones de algún fenómeno de artesianismo y el impedir que se desarrollen niveles freáticos colgados y flujos de agua cercanos a la cara del talud, que se debe evaluar cuidadosamente si los drenes horizontales existentes y programados realmente son y serán eficaces a largo plazo para tal fin.

Si se considera que por condiciones geológicas particulares del talud y/o por taponamiento progresivo de los drenes con el tiempo no se puede garantizar el grado de drenaje requerido con la sola instalación de drenes horizontales, será necesario tomar otras medidas como, por ejemplo, la excavación de pozos verticales de drenaje, desde el nivel del camino, de unos 2.5 metros de diámetro, 25 metros de profundidad, espaciados 30 metros aproximadamente en la dirección del camino, complementados con drenes perforados desde los pozos a varios niveles. La evacuación del agua captada por los pozos podría hacerse por medio de bombas de encendido automático. No se considera prudente conectar por gravedad el fondo de los pozos con la cara del talud pues dichas conexiones podrían romperse con pequeños movimientos del material del talud y generar unos flujos concentrados de agua que agravarían

la situación.

- b. Instalar varios (6 ?) piezómetros de 10-15 m. de profundidad distribuidos convenientemente en el talud para hacer un seguimiento muy frecuente de los niveles piezométricos y freáticos colgados, correlacionándolos con: los períodos de lluvias, la intensidad de las precipitaciones, la precipitación acumulada en ciertos lapsos, el avance en la instalación de drenes, etc, con el fin de verificar la necesidad, utilidad y eficacia de los drenes horizontales y decidir, si es el caso, las instalaciones de drenes o pozos adicionales intermedios.
- c. Instalar dos inclinómetros adicionales en línea con el ya existente. Una muy cerca de la pata del muro de concreto de gravedad (nivel 1465 m) y el otro al nivel 1430 m.
- d. Instalar puntos de control topográfico en la superficie del talud, formando una retícula, espaciados 30 metros en ambas direcciones, desde el nivel 1470 m hasta el 1370 m., para complementar los puntos de control ya existentes en las caras de los muros de concreto.
- e. Obtener registros de control topográfico, inclinométrico y piezométrico frecuentemente e interpretar oportunamente sus resultados correlacionándolos entre sí y con la precipitación
- f. Reforzar las actividades ya puestas en marcha de sellamiento de grietas, construcción de cunetas revestidas y empedradización

En la Figura No. 20 se ilustran esquemáticamente las recomendaciones dadas

El mantener alejado de la cara del talud el flujo subterráneo y el impedir la percolación y la saturación de los 5-12 metros superiores del perfil del terreno contribuirá positivamente para que la ladera resista satisfactoriamente excitaciones sísmicas de grado medio (aceleración pico: no mayores de 0.25 g)

Para sismos fuertes, $A_p=0.45$ g, la ladera es geotécnicamente muy vulnerable y puede causar un daño grave a la conducción AyA. Para estos niveles de aceleración es muy difícil lograr que con obras correctivas convencionales esta ladera ofrezca las garantías de estabilidad que requiere una conducción tan importante como la del Sistema Orosi. Por lo tanto se considera necesario plantear y estudiar desde ya alternativas que incorporen cambios mayores en el alineamiento de la conducción en este sector crítico.

En el Anexo B se presentan los resultados de análisis de estabilidad por computador (programa PCSTABL4) con mecanismos de falla de bloque deslizante para secciones típicas de los sitios "Los Vados", "El Queque" y "El Tapón", con diferentes condiciones de carga: caso drenado sin flujo de agua en la masa deslizante, caso de falla lenta bajo el efecto de flujo dentro de la masa deslizante y caso de falla rápida bajo excitación sísmica.

Estos resultados respaldan los análisis paramétricos presentados en el Anexo A de fallas planares en taludes seminfinitos.

CAPITULO VI

CASOS PARTICULARES: TRAMO K6-K25

A continuación se describen y comentan las condiciones de estabilidad de laderas en cuatro sitios visitados, localizados entre la estac. K6 y la K25.

6.1 EST. K6 + 000 - K7 + 000

Este sitio corresponde al sifón invertido del cruce del río Navarro. En las laderas derecha e izquierda del río se instaló la tubería de acero en el fondo de zanjas. Según la información recibida, los cortes en cajón para excavar la zanja e instalar posteriormente la tubería tuvieron muchos problemas de estabilidad de los taludes transversales por las condiciones de baja resistencia de los suelos superiores del perfil y la aparición de flujos de agua.

Sin embargo, durante construcción se estabilizaron los taludes temporales de corte con medidas de reducción de inclinación y medidas de drenaje y se llevó la zanja hasta una profundidad (3-5 metros) donde se garantizó un adecuado empotramiento en terreno firme.

El resultado final es que, después de instalada la tubería, hechos los rellenos y la conformación del terreno y su revegetación, la condición actual de las laderas derecha e izquierda del río Navarro es satisfactoria.

Estas laderas tienen hacia el río una altura total de 200 metros aproximadamente y una pendiente de 25°-30°. Por su geometría y condiciones de drenaje se considera que estas laderas son suficientemente estables para garantizar la integridad de la tubería enterrada.

6.2 EST. K23 + 000 - K23 + 700

En este trayecto la tubería del acueducto va enterrada unos tres metros por debajo del eje del camino. En el costado derecho, la ladera superior presenta una pendiente promedio de 15° a 20° y muestra una serie de inestabilidades tanto lejos del camino como en el talud de corte de éste.

- e. Instalar piezómetros sencillos de 4-7 metros de profundidad distribuidos convenientemente en las áreas inestables y estudiar la posición del nivel freático y sus fluctuaciones.
- f. Diseñar y construir un sistema de zanjas o trincheras filtrantes conectadas y dispuestas en espina de pescado para abatir el nivel freático en las grandes masas inestables. Las zanjas filtrantes se rellenarían con piedra y grava gruesa envueltas en geotextil no tejido y los 50-80 centímetros superiores tendrían material arcilloso compactado para evitar que las zanjas se conviertan en colectores directos de la escorrentía superficial. La profundidad y, por lo tanto, la sección transversal de las trincheras filtrantes así como su distribución final y espaciamiento dependerán del seguimiento continuo de los niveles freáticos recomendados y de ajustes progresivos para lograr un esquema eficiente que mejore la estabilidad en cada zona particular
- g. Instalación de puntos de control topográfico formando retículas, espaciados unos 20 metros en ambas direcciones, y cubriendo la zona afectada y áreas de referencia por fuera de ella.
- h. Ejecución de lecturas de control topográfico y piezométrico con suficiente frecuencia y correlación de sus resultados con el avance de las obras de estabilización (trincheras filtrantes, cunetas, sellamiento de grietas, drenaje de charcos, etc).

La Figura No. 22 muestra la distribución de las actividades recomendadas.

6.3 EST. K23 + 790

Este sitio corresponde a los taludes de corte en roca ígnea meteorizada, inmediatamente antes del portal de entrada al túnel de la Carpintera, como se observa en la fotografía No. 25. A la izquierda de la fotografía se puede apreciar una grieta vertical abierta que representa un claro peligro contra la estabilidad del talud de corte si se llega a llenar de agua. Se recomienda en ese sitio.

- Sellar completamente la grieta con material arcilloso.
- Construir una zanja revestida de coronación más arriba del sitio de la grieta existente para manejar la escorrentía.

Tales inestabilidades son de diverso tipo: Van desde deslizamientos retrogresivos con superficies curvas de falla con el mostrado en la Fotografía No. 23 (K23 + 000), hasta movimientos de reptación predominantemente traslacionales como el que está actuando contra el muro de gaviones en el K23 + 300 y que se ve en la Fotografía No. 24.

En todo este tramo la ladera superior tiene un grueso perfil de suelos que aparentemente corresponden a depósitos de ceniza volcánica constituida por limos arenosos de muy baja plasticidad. La ladera también muestra un alto grado de deforestación, la existencia de zonas húmedas (charcos y ciénagas) y un alto grado de saturación.

Los factores que han contribuido a la inestabilidad de esta zona son: el tipo de suelo, el alto grado de saturación del depósito, la deforestación, las fuerzas de infiltración en el sentido de la ladera y el mal drenaje superficial. Los factores detonantes de los movimientos y deslizamientos pudieron ser: los cortes pequeños (2-4 metros de altura) realizados para construir el camino de la conducción o movimientos sísmicos fuertes que pudieron inducir pérdidas grandes de resistencia de las cenizas volcánicas saturadas.

Las Figuras Nos 21 y 22 muestran la planta topográfica y la delimitación del deslizamiento de reptación en la Est. K23 + 300, así como su perfil transversal.

Para recuperar la estabilidad de las masas de suelo en la ladera superior del camino en este trayecto se recomiendan las siguientes actividades:

- a. Construir zanjas revestidas de coronación en la parte alta de la ladera por encima del nivel de la cabeza de cada zona inestable.
- b. Prolongar la construcción de muros de gaviones de 2-4 metros de altura hacia los tramos que aún no lo tienen y muestran cortes inestables o procesos de reptación masiva. Se recomienda continuar la práctica de colocar geotextil no tejido como filtro en la cara trasera de los muros de gaviones para impedir la tubificación.
- c. Drenar las zonas húmedas y las aguas estancadas, encauzar las aguas superficiales por cunetas revestidas y eliminar las depresiones locales
- d. Sellar grietas y re conformar superficies muy alteradas, empedrar y sembrar arbustos livianos.

Los taludes de corte del acceso y del mismo portal de entrada al túnel excavados con talud 1/4 H:1V y con alturas de cerca de 10 metros están protegidos contra la meteorización y la erosión con una capa de concreto neumático. Es escaso el número de lloraderos (weep holes) que atraviesan el concreto neumático. Convendría instalar unos adicionales para que queden espaciados 2 metros vertical y horizontalmente, y se facilite el drenaje del talud.

6.4 EST. K24 + 750

La fotografía No. 26 muestra un deslizamiento ya estabilizado en el talud inferior del camino de la conducción, unos metros adelante del portal de salida del túnel de la "Carpintera". Dicho deslizamiento fue causado durante la época de la construcción de la conducción (año 1985?) por la colocación de un botadero sobre el talud y por la concentración sobre éste de escorrentía proveniente del talud superior, según información suministrada por funcionarios y asesores de AyA.

Desde esa misma época se desarrollaron obras de estabilización, tales como: muros de gaviones, pilotes de tubería rellenos con concreto, cunetas revestidas, estructuras disipadoras de energía y de entrega controlada de agua a la quebrada y empradización.

Este deslizamiento tiene aproximadamente una altura de 50 metros desde el muro de gaviones construido en su pata hasta el nivel del camino, y tiene una pendiente aproximada de 25° - 28° (\approx 2H:1V).

Según información recibida de AyA, este talud no ha vuelto a dar señales de inestabilidad.

De todas maneras se recomienda lo siguiente:

- a. Dada la importancia de impedir la percolación y la saturación de los metros superiores del talud, deberán revestirse las cunetas en su totalidad.
- b. Deberán sembrarse arbustos livianos.
- c. Deberá instalarse una serie de puntos de control topográfico espaciados 25 metros en ambas direcciones, y varios piezómetros de 5-8 metros de profundidad, convenientemente distribuidos en el talud. Deberá hacerse un control topográfico y piezométrico frecuente y en particular durante la época de lluvias, y correlacionar los movimientos, los niveles de agua

subterránea y la precipitación acumulada en determinados períodos.

- d. Podría también ser conveniente la instalación de un inclinómetro de unos 20 metros de profundidad situado en un punto localizado 10 m mas bajo que el nivel del camino.
- e Del resultado del monitoreo recomendado se decidirá si es necesario instalar algunos drenes horizontales o tomar otras medidas adicionales de drenaje y estabilización.