

ANÁLISIS Y MONITOREO DE UN MEGADESLIZAMIENTO EN LA VEREDA CANTERAS, MUNICIPIO DE ABEJORRAL

Jorge Iván Tobón*¹

RESUMEN

La única manera de predecir la evolución de fenómenos, como los deslizamientos, es realizando un seguimiento en el tiempo (monitoreo) que nos permita evaluar las tendencias de las características más importantes. Esto hace que nuestra experiencia, en este campo, sea realmente productiva.

Utilizando técnicas como las topográficas, Inclínometría, Clinimetría se cuantificó el volumen el cual está por encima de los $3'000000\text{m}^3$ lo que permite clasificar este movimiento como un megadeslizamiento. Se determinó la dirección preferencial del movimiento en el plano horizontal que está cerca de $\text{N}30^\circ\text{E}$ lo que implica que el movimiento apunta directamente hacia el antiguo "PIT" de Cementos El Cairo. Las velocidades y aceleraciones del movimiento en masa han ido disminuyendo paulatinamente desde finales de 1996 indicando su tendencia a estabilizarse.

Este movimiento es circular del tipo cuchara con características regresivas, además dentro del movimiento principal se encontraron múltiples pequeños deslizamientos que responden más a las particularidades topográficas y de conformación del suelo.

Dentro de las técnicas correctivas empleadas están el uso de arcillas como la bentonita, control del agua superficial mediante cunetas, mantenimiento de bermas y bancos y la revegetalización del área.

ABSTRACT

The only way to predict an evolution of phenomenon like landslide is monitoring the tendencies of its most important characteristics. This is the reason that makes our experience really valuable in this topic.

Using Survey technics, Inclínometry and Tilmetry the volume was estimeted over $3'000,000\text{m}^3$ which allows to clasificate this movement as a megalandslide. It has been established that main horizontal direction is $\text{N}30^\circ\text{E}$ and it means that the movement is forward to older pit. Since last 1996 the speeds and acelerations have decreased with tendency to the stability.

This is a circler movement of "cuchara" type with regressive characteristics. Besides, within the principal movement, it was found many small landslides for topografics and soil's conformation causes.

Within the correctives technics are the use of bentonitic clay, control of superficial water throught out ditches, berms maintenance and revegetation of area.

*¹ Instructor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín.

INTRODUCCIÓN.

Desde el año 1948 Cementos El Cairo S.A. ha venido explotando material calcáreo (mármol) de su mina en el Municipio de Abejorral. Hacia el año 1983 tratando de descapotar un sector del yacimiento se afectó la pata del talud SW de la mina lo que ocasionó la activación de un movimiento en masa; como medida correctiva se hizo escalonar el talud hasta la corona del movimiento con bancos de 5m de berma y 5m de cara, además, se construyeron un par de cunetas de coronación en concreto para manejar las aguas superficiales

A principios de 1995 algunos campesinos reportaron la aparición de unas grietas en la parte superior de los escalones (250m más arriba) a unos 500m del "PIT", razón por la cual la empresa emprendió un estudio detallado del fenómeno con su Departamento de Geología y con la asesoría del Dr. Josué Gutiérrez Villegas (geotecnista), a pesar de ya haber tomado la decisión de reemplazar su explotación a cielo abierto por minería subterránea y de ser la propietaria de los terrenos afectados

Se realizó una evaluación del problema estableciéndose sistemas de monitoreo con la utilización de controles topográficos (mojones) para ser medidos con distanciómetro y Clinómetro. Además, se realizaron pozos geológicos para controlar las posibles fluctuaciones del nivel freático mediante la instalación de piezómetros y poder evaluar las características físicas y mecánicas del suelo y para instalar en algunos de los pozos tubería epic para las lecturas con un Inclinómetro.

GENERALIDADES.

Área de Estudio

Se encuentra ubicada al SW de la antigua cantera de Cementos El Cairo S.A, entre las coordenadas:

| | |
|----------------|---------------|
| N: | E: |
| 1139300 | 841200 |
| 1134000 | 841800 |

Datos tomados de una fotorrestitución de AEROESTUDIOS LTDA. De Julio de 1994. Escala 1:2000 (Fig. 1).

Vías de Acceso

Al sitio se llega desde Medellín por la Troncal de Occidente, 55km al S está el sitio denominado la Elvira (vereda de Santabárbara) donde se toma el carretable que conduce al Municipio de Abejorral por 15km para llegar a la cantera de Cementos El Cairo S.A. donde se encuentra la ladera objeto de estudio. En el extremo más al W del área pasa un camino de herradura que conduce al la vereda Loma Parte Alta de Abejorral.

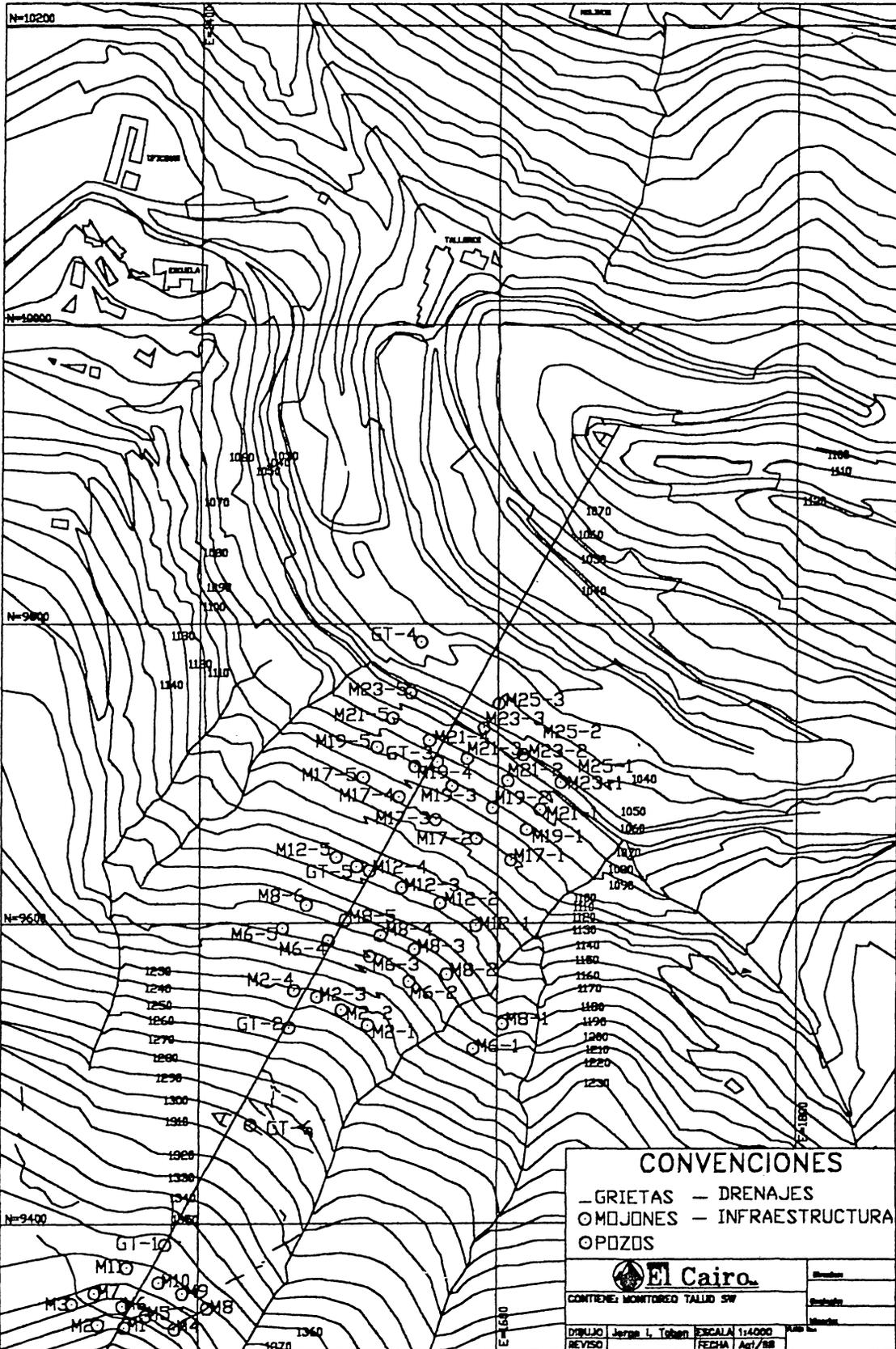


FIG 1. Detalles del Área de Estudio

Geomorfología

El área se encuentra entre las cotas 1000 y 1400msnm, caracterizada por fuertes pendientes entre el 80 y 100%, con cambios bruscos en áreas de antiguos movimientos en masa (Fig. 1).

Clima y Vegetación

Tropical seco con bosque en galería, pastos, gramíneas y algunos árboles (yarumos, robles etc.).

Usos del Suelo

En este sector no hay ninguna actividad agrícola ni ganadera.

Drenajes

En los extremos N y S hay algunas corrientes de agua permanentes de muy poco caudal, las demás son intermitentes.

Geología Superficial

En el área afloran esquistos cuarzo-sericíticos, cloríticos y grafitosos, abundan los diques de cuarzo lechoso. En el sector NE se encuentra el yacimiento de mármol. Hay abundantes micro fallas pero no se aprecia ninguna de carácter regional, aunque podría estar cubierta por el suelo, no obstante la geomorfología no muestra evidencias de la existencia de éstas.

Edafología

Afloran suelos limo-arcillosos y limo-arenosos de colores rojizos, amarillentos y pardos provenientes de la meteorización de los esquistos, con diques de cuarzo. Encima de éstos es muy común encontrar coluviones de diferentes espesores y una capa de humus muy delgada; en general estos son suelos muy pobres.

EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO EN MASA.

La evaluación del movimiento se dividió en dos etapas:

Reconocimiento Superficial

Después hacer una serie de recorridos por toda el área donde se encontraron pequeñas grietas de tensión formando saltos de 10 a 15cm y de 1.0 a 1.5m de profundidad se procedió a destapar las zonas agrietadas para iniciar su tratamiento y hacer un levantamiento topográfico detallado de éstas (Fig. 1). Además, se encontró que las cunetas de concreto presentaban daños estructurales tales como: rupturas por asentamientos y empuje del terreno y separaciones de hasta 4cm en las juntas de expansión.

Reconocimiento detallado

Para éste se propuso amojonar el terreno para monitorearlos con un distanciómetro (estación total), realizar pozos para conocer las características físicas y mecánicas del suelo mediante el ensayo de penetración estándar con tubo Shelby, utilizar piezómetros de tubo abierto para medir las fluctuaciones del nivel freático, utilizar un Clinómetro para definir la dirección del movimiento y un Inclinómetro para tratar de definir la superficie de ruptura. En los casos donde no se pudiera utilizar el Inclinómetro para definir la falla se usarían varillas de diferentes longitudes para ver a que profundidad la deflexión de los pozos impedían su penetración.

MEDIDAS CORRECTIVAS

Dentro de las medidas correctivas en la primera fase se trató de impermeabilizar las grietas abriendo una zanja a lo largo de ellas de 40cm de ancho y 1.5m en promedio de profundidad, para proceder a rellenar con arcilla de la zona unos 40cm y luego se apisonaba con material limo-arenoso del que había disponible, en capas de 20cm en promedio. También se reconfirmaba la pendiente tratando de que el agua no penetrara sino que drenara hacia las cañadas. Este procedimiento no dió muy buenos resultados porque siempre después de algún tiempo las grietas volvían a aparecer. Cambiando la arcilla por bentonita y procediendo de igual forma tampoco se tuvo éxito.

Para el control de las aguas se hizo una cuneta de coronación, para la captación y entrega de las aguas de escorrentía, pero en el mismo suelo para no aumentar el peso colocando concreto. Luego de quitar los pequeños derrumbes en las cunetas de concreto se repararon para ver su evolución, dado que el concreto es rígido, muestra agrietándose, cualquier movimiento o empuje que sufra.

La impermeabilización trabajó muy bien cuando se usó bentonita diluida en agua lo más espesa posible (2.5litros de agua/ kilogramo de bentonita aproximadamente), la cual se vierte en la grieta abierta hasta rellenarla completamente; cuando la bentonita se seca se contrae dejando espacios vacíos, por tal razón se recomienda volver a realizar el procedimiento para que al momento de la lluvia haya tanta bentonita que la más superficial absorba el agua saturándose e impidiendo que ésta percole. Al momento de saturarse la bentonita se expande y produce una presión sobre las paredes de las grietas la cual es mucho menor que la presión de poros que produce el agua en un suelo friccionante como el de este estudio.

Otra medida correctiva que ha dado buen resultado es el mantenimiento de los bancos mediante reconfirmación de taludes, protección superficial con vegetación arbórea y pastos y limpieza de las cunetas hechas en cada uno de ellos para garantizar la pronta evacuación del agua de escorrentía y así evitar deslizamientos locales.

MONITOREO Y CONTROL

Topográfico

Para éste se instalaron 36 mojones de concreto inicialmente, de 1.5m a 1.0m de profundidad y 30cm de diámetro, con varillas de hierro corrugado enterradas en el suelo tratando de que el movimiento que mostraran fuera lo menos superficial posible. Se colocaron a lo largo y ancho del talud; por encima de las grietas en la zona que se presumía estable, inmediatamente abajo de las grietas en la zona más inestable, llegando hasta el escalón #17 (contados de arriba hacia abajo). Después de un tiempo y al ver que todos, en mayor o menor proporción, mostraban movimiento, se decidió instalar 20 mojones más en la zona del escalón #17 hacia abajo (hasta el #25) buscando determinar la ubicación de la pata del deslizamiento (Fig. 1).

Las mediciones se están efectuando con una Estación Total GTS-210, marca Topcon, desde la vía para Montebello, a unos 1200m de distancia horizontal, lo que produce una imprecisión de $\pm 10\text{cm}$ en el aparato. Se realizó desde allí para garantizar que el punto de control estaba por fuera de la superficie en movimiento y para tener cobertura de todos los mojones desde un solo punto.

Los mojones 1, 2, 3, y 4, como se esperaba al estar instalados por encima de la corona del deslizamiento, no muestran una tendencia en el movimiento sino una manifestación errática de éste (ascensos y descensos sucesivos). El desplazamiento está entre -15 y $+25\text{cm}$ (Fig. 2), lo cual puede estar originado en los cambios climáticos, mayor o menor temperatura, que inciden en la precisión de la lectura y en la saturación de agua del suelo, además, está el intervalo de precisión del instrumento ($\pm 10\text{cm}$).

Los mojones 6, 7, 8, 9, 10 y 11 muestran una clara tendencia al descenso, desde abril de 1995 a la fecha han bajado 230cm en promedio. Iniciaron su movimiento con una velocidad de 10mm/semana la cual se considera lenta según la clasificación del TRB (Transportation Research Board) y hacia junio de 1996 los gráficos muestran un incremento en la velocidad del movimiento hasta 42.3mm/semana, hasta diciembre de 1996, velocidad considerada de moderada a rápida, esta fue una época de intensas lluvias y frecuentes sismos. De finales de 1996 a hoy hay una clara tendencia a la estabilización, el movimiento se ha frenado y continua con 7.3mm/semana de velocidad promedio (Fig. 3).

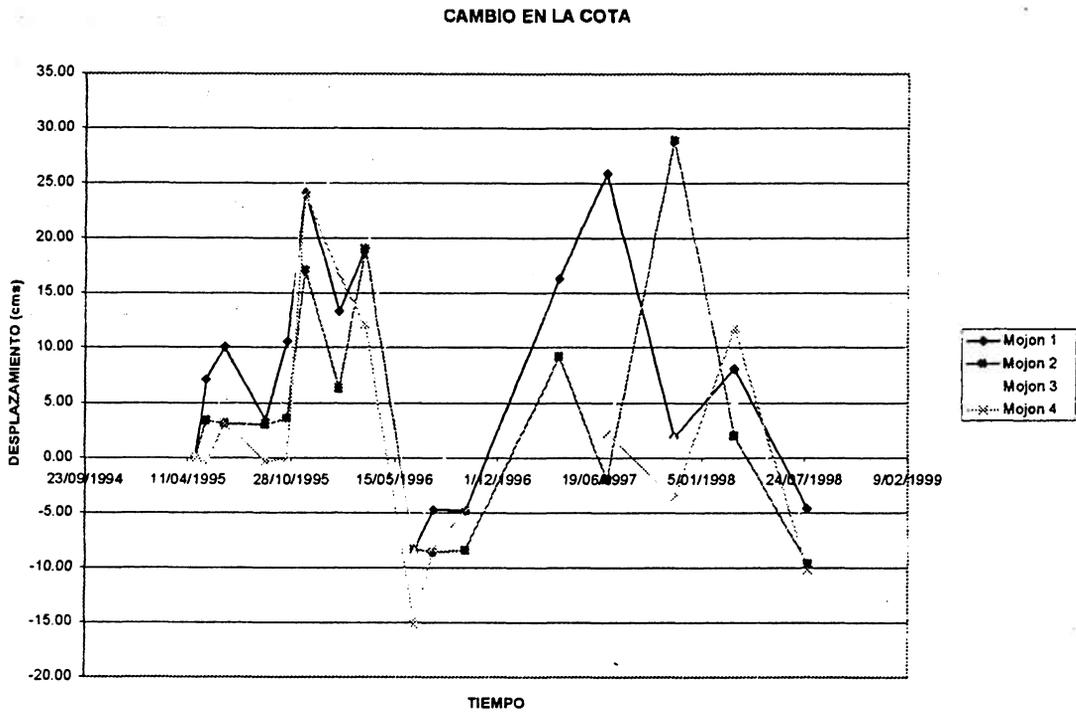


FIG 2. Comportamiento Mojon 1, 2, 3 y 4

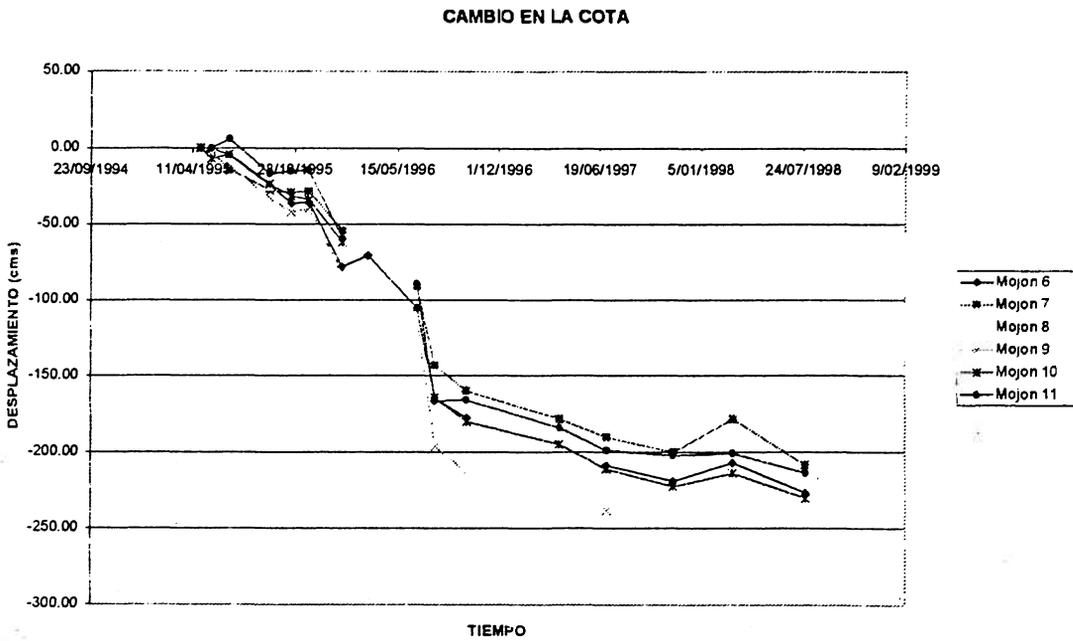


FIG 3. Comportamiento de los Mojon 6, 7, 8, 9, 10 y 11

Los mojones ubicados en los escalones (2, 6, 8, 12 y 17) también muestran una clara tendencia al descenso (Fig. 4) y cada vez que están más abajo descienden menos en el mismo intervalo de tiempo, así; Los 2-1, 2-2, 2-3, y 2-4 han bajado 120cm en promedio, los 6-1, 6-2, 6-3, 6-4 y 6-5, 70cm aproximadamente, los 8-1, 8-2, 8-3, 8-4, 8-5 y 8-6, 60cm, los 12-1, 12-2, 12-3, 12-4 y 12-5. 25cm y los 17-1, 17-2, 17-3, 17-4 y 17-5. 20cm. Todos han tenido un comportamiento muy similar en el tiempo; a finales de 1995 sufrieron un levantamiento entre 20 y 40cm, hacia junio de 1996 el movimiento descendente se aceleró ocasionando una caída entre 60 y 120cm, desde finales de 1996 hasta la fecha hay una clara tendencia a estabilizarse, con la velocidad entre 5.5 y 7.45mm/semana, estando catalogado como un movimiento de lento a muy lento según TRB. Los gráficos se están asintotizando con el tiempo.

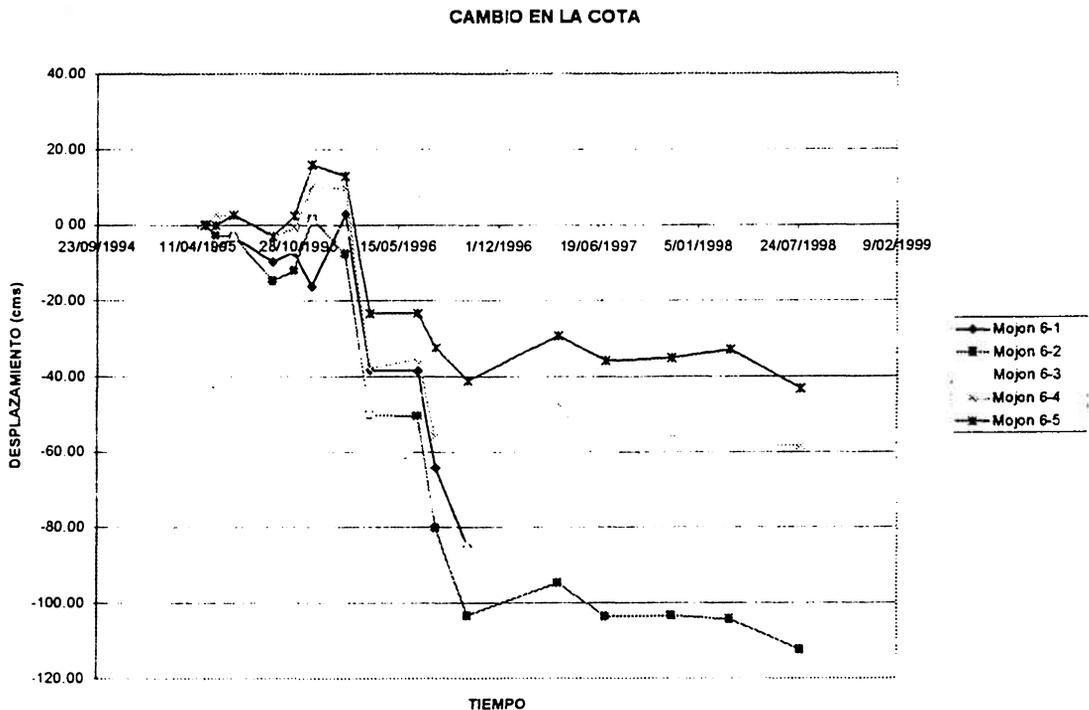


FIG 4. Gráfica Típica del Comportamiento de los Mojones en los Escalones entre el No 2 y el No 17

Los mojones de los escalones 19, 23 y 25 tienen un comportamiento similar entre ellos, hacia finales de 1996 todos se levantaron violentamente entre 15 y 25cm y después cayeron rápidamente unos 15cm hasta septiembre de 1997, luego volvieron a subir un poco, entre 7 y 10cm para ahora mostrar una tendencia a la estabilización con una velocidad entre 2.2 y 2.6mm/semana, excepto los del 19 que están mostrando un comportamiento hacia el descenso (Fig. 5). Este juego de movimientos se puede entender como que en estos escalones se encuentra la pata de un movimiento en masa de tipo rotacional de los llamados de cuchara, donde la parte superior de la masa desciende y la inferior asciende, estos desplazamientos no son equivalentes porque el suelo sufre un proceso de compactación o deformación plástica durante su ocurrencia. Los mojones que están en la pata de este tipo de movimiento primero sufren un levantamiento en la vertical luego un desplazamiento

horizontal para después caer y si no han salido del área de influencia repetirán este comportamiento tantas veces como pulsos hallan.

CAMBIO EN LA COTA

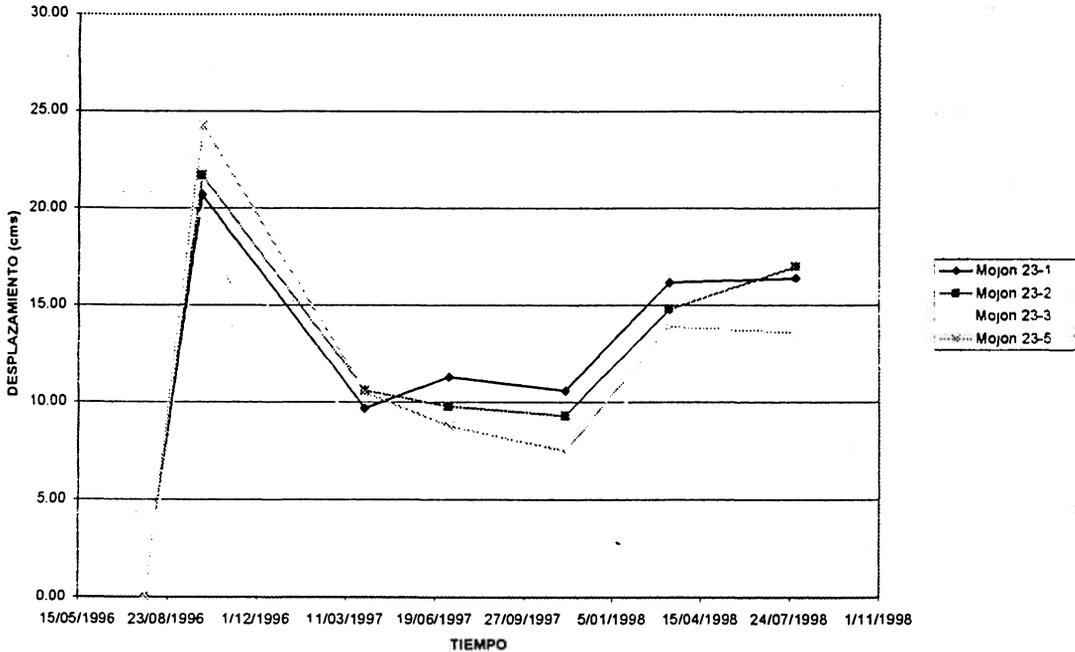


FIG 5. Gráfica Típica del Comportamiento de los Mojones en los Escalones entre el No 19 y No 25.

Al calcular el movimiento de los mojones en el plano horizontal se obtiene como dirección predominante N30°E, la cual es la dirección del deslizamiento. Aproximadamente en esta dirección se realizó el perfil A-A' (Fig. 1).

Es importante resaltar que estos movimientos tan apreciables de los mojones en campo solo se ven en la corona del deslizamiento, mientras que hacia la pata no hay evidencias contundentes, excepto pequeños desprendimientos de las caras de los bancos.

Pozos

Los primeros tres pozos GT-1, GT-2 y GT-3 se realizaron para conocer el perfil del suelo, para medir las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante ensayos de penetración estándar con tubo Shelby y monitorear el nivel freático con un indicador de nivel de agua de SINCO. Los otros tres pozos GT-4, GT-5 y GT-6 se realizaron para instalar la tubería para el Inclínómetro. Todos se trataron de ubicar sobre el perfil A-A'.

Pozo GT-1: Ubicado en las coordenadas N: 9386.12, E: 1377.57 y Z: 1365.16 (Fig. 1), con una profundidad total de 40m.

Pozo GT-2: Ubicado en las coordenadas N: 9530.36, E: 1460.26 y Z: 1253.73 (Fig. 1), con una profundidad total de 46.4m

Pozo GT-3: Ubicado en las coordenadas N: 9707.75, E: 1559.64 y Z: 1084.32 (Fig. 1), con una profundidad total de 31.05m

Pozo GT-4: Ubicado en las coordenadas N: 9788.06, E: 1548.65 y Z: 1035.23 (Fig. 1), con una profundidad total de 34.4m.

Pozo GT-5: Ubicado en las coordenadas N: 9637.75, E: 1505.45 y Z: 1152.29 (Fig. 1), con una profundidad total de 50.1m.

Pozo GT-6: Ubicado en las coordenadas N: 9465.93, E: 1434.69 y Z: 1301.32 (Fig. 1), con una profundidad total de 51.0m.

En todos los pozos se instalaron piezómetros de tubo abierto para medir las fluctuaciones del nivel freático pero se encontró que el nivel de agua permaneció invariable en todos ellos a lo largo del monitoreo, sin importar los cambios climatológicos, lo que muestra que el talud tiene muy buenos sistemas de drenaje, favorecido por las características limo-arenosas del suelo, el agua percola pero es evacuada rápidamente.

Los ensayos con el shelly no dieron buenos resultados porque aunque se hicieron con todas especificaciones, el tipo de suelo no permitió la penetración ni la recuperación de muestras. éstas sólo se obtuvieron de los ripios en la perforación con el tricono y de los núcleos cuando se pudo perforar con broca corazonadora.

Con la información geológica extraída de los pozos se obtuvo el perfil de suelo que se muestra en la figura 6, donde se ve un suelo residual y un coluvión que no se pueden diferenciar bien por la falta de recuperación de muestras; la profundidad promedio de este horizonte está entre 20 y 60m. Se continúa con un esquisto meteorizado pero que permitió alguna recuperación, con un espesor promedio de 15m. En algunos pozos se alcanzó el esquisto parcialmente fresco. En el extremo Este del corte se ve el contacto entre el esquisto (Pes) y el mármol (Pm).

Clinómetro

Es un sistema rápido, preciso y transportable para monitorear deslizamientos en roca o en suelo el cual provee datos sobre la inclinación y dirección del movimiento. Está compuesto de tres partes: plaquetas de cerámica o bronce, unidad de lectura y el sensor.

Las plaquetas son círculos de 15cm de diámetro con cuatro topes diametralmente opuestos y numerados, 1-3 conforman una línea y 2-4 hacen la otra. En este caso se utilizaron trece plaquetas de bronce las cuales se instalaron sobre A-A'. Las plaquetas se colocan sobre un mojón de concreto niveladas con la línea 1-3 en N-S y la 2-4 en E-W. Deben quedar bien aseguradas para que el viento, un animal o los curiosos no las muevan.

El sensor emite una señal electrónica proporcional al seno del ángulo de la inclinación de la placa con la horizontal o la vertical. El sensor es un servoacelerómetro. Se utilizó el 50344 de Slope Indicator Company (SINCO).

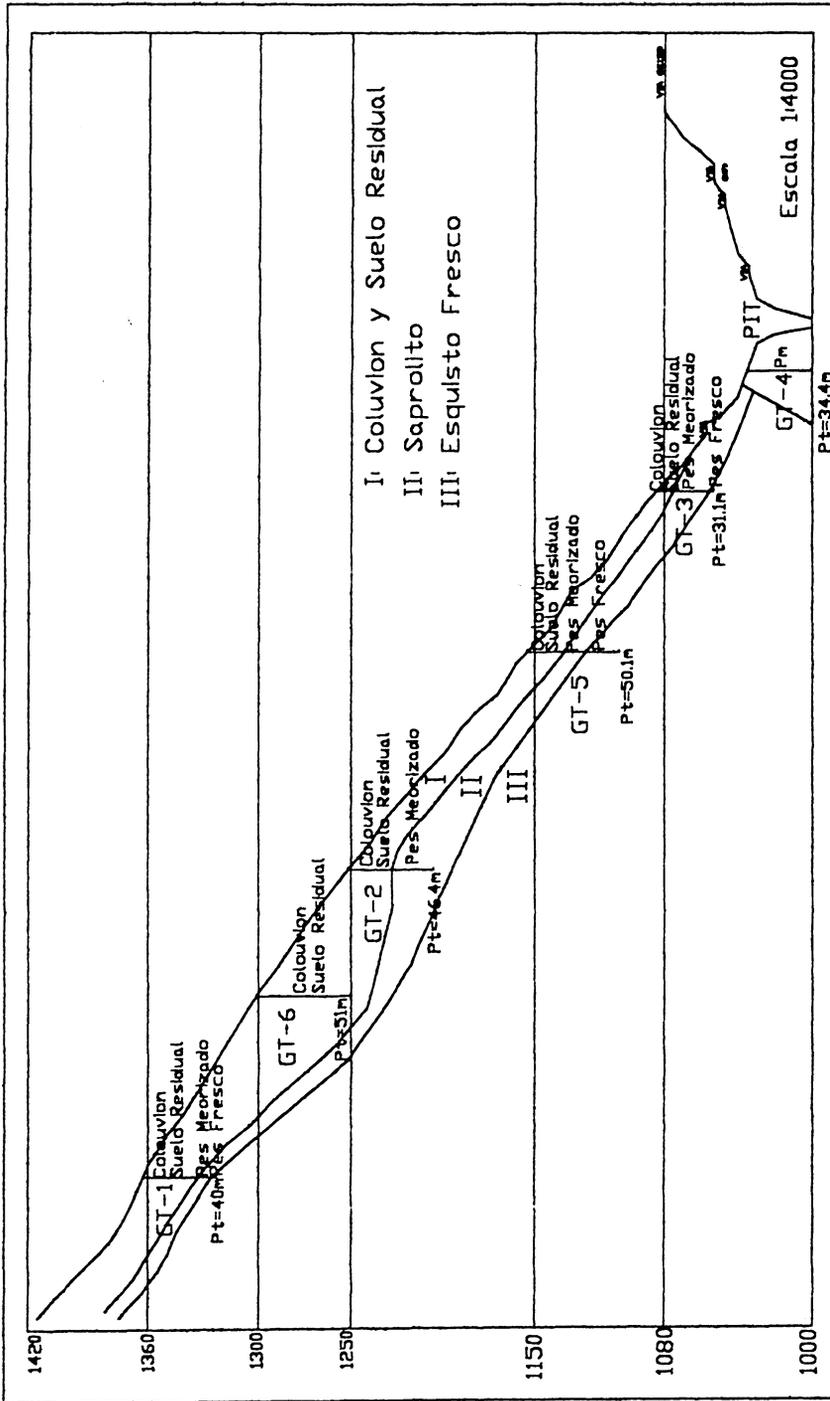


FIG 6. Perfil del Suelo (A - A')

La unidad de lectura convierte la señal electrónica emitida por el sensor y la convierte en un valor numérico donde cada dato equivale a $2.5 \cdot 10^4 \text{sen}\alpha$. Un valor positivo en la línea 1-3 representa un cabeceo hacia el norte y en la 2-4 hacia el este. Se utilizó la 50309 de SINCO.

Procedimiento: Se leen las cuatro posiciones colocando el sensor con el signo más hacia el número o la posición que se va a leer. Entre los extremos de una misma línea el valor numérico debe ser de signos contrario y no superior su diferencia en valor absoluto a 20 puntos.

Se instalaron 13 plaquetas aprovechando la ubicación de los mojones de concreto, se dispusieron formando una línea en el sentido del movimiento y tratando de que quedara en el centro del movimiento en masa. El monitoreo se hizo desde febrero de 1996 hasta la fecha, el último dato es de julio de 1998, es decir, dos años y cinco meses.

TABLA . Resumen de los Datos de Clinómetro

| Mojón | Cambio (°) | Observaciones |
|-------|--------------|-------------------------|
| 2 | 0.25 al S-E | |
| 6 | 4.50 al N-E | Afectado por una grieta |
| 7 | 2.50 al S-WW | |
| 10 | 1.00 al N-EE | |
| 11 | 0.60 al N-W | |
| 2-2 | 0.30 al S-E | |
| 2-3 | 0.70 al S-W | |
| 8-3 | 0.60 al N-W | |
| 8-4 | 0.30 al N-W | |
| 12-3 | 0.10 al N-E | |
| 12-4 | 0.45 al S-W | |
| 17-3 | 0.20 al N-E | |
| 17-4 | 0.10 al N-NW | |

En la tabla anterior puede observarse:

- Los cambios en grados no son apreciables excepto en M6 que está afectado por una grieta y en M7 y M10 que están en la zona de más fuerte movimiento.
- Hay un movimiento errático de los mojones, indicando, como se puede apreciar en campo, que hay un montón de pequeños movimientos en masas que tienen direcciones locales respondiendo a la conformación topográfica del sitio donde se encuentren, más que al movimiento globalizado.

En la figura 7 se puede ver como ha sido el cambio en grados de una de las plaquetas en el tiempo:

- Hasta finales de 1996 el cambio en grados creció con una velocidad constante y después muestra una clara tendencia a la estabilización, es decir, a ser asintótica con un cambio muy lento.

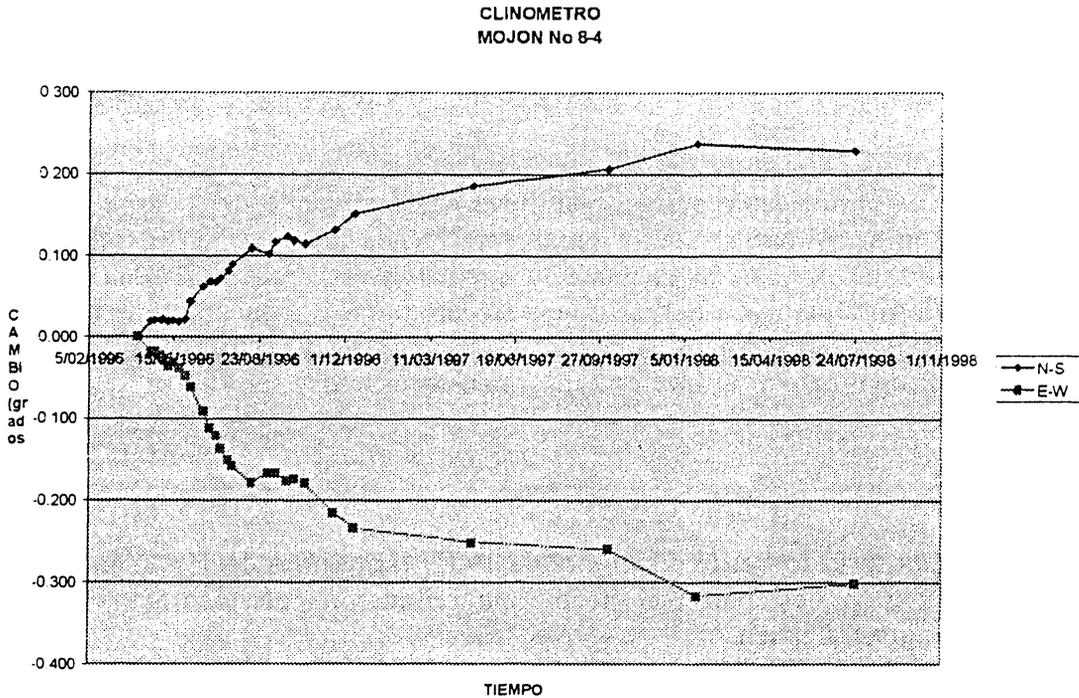


FIG7. Gráfica Típica del Cambio en Grados de los Mojones leídos con Clinómetro.

A pesar de que algunos de estos mojones han tenido desplazamientos en la vertical de hasta 230cm y en la horizontal de 100cm esto no se ha visto reflejado en la rotación, lo que estaría mostrando que si el movimiento es de tipo rotacional como se piensa, la superficie de ruptura se encuentra bastante profunda lo que enmascara el movimiento y que el plano de falla en la cabeza del movimiento tiene un buzamiento fuerte ($> 60^\circ$ en este caso).

Inclinómetro

Es un sistema para medir la deflexión de una tubería (epic) dentro de un pozo; la idea es que si se logra atravesar la superficie de ruptura del movimiento en masa se tendrá un punto fijo en el fondo del pozo y una parte de masa en movimiento lo que ocasionará la deflexión de la tubería, es decir, una desviación con respecto a la vertical de parte del pozo. Está compuesto de cuatro partes:

Sensor: es un cuerpo metálico de 50cm de largo con ruedas en los extremos que le permiten desplazarse, éste emite una señal electrónica proporcional a la desviación en grados desde la vertical, de un eje de las ruedas con respecto al otro. Éste no mide

desplazamiento directamente sino la desviación en grados. Se usó el modelo 50302599 de SINCO.

Unidad de Lectura: se emplea la misma que con el clinómetro. Esta convierte la señal electrónica en un valor numérico el cual representa el $\text{sen}\theta * 25000$ en el sistema métrico, siendo θ el ángulo que se ha desviado en una profundidad específica el pozo desde la vertical

Tubería Epic: es una tubería de PVC con ranuras o venas diametralmente opuestas por donde se desplaza el sensor. Esta se debe mantener tapada en el extremo superior para que no se obstruya.

Procedimiento: Con un cable eléctrico se lleva hasta el fondo del pozo el sensor, con las ruedas en el eje N-S, se sube lentamente y cada 50cm se hace una lectura; este eje se denomina A. Luego se repite la operación pero rotando el sensor 180° para obtener la información en E-W, este eje se denomina B. Luego en una hoja de cálculo se convierten los datos numéricos en ángulos y estos, a su vez, en desplazamientos en mm. Por último esta información es la que se grafica.

En los pozos GT-4, GT-5 y GT-6 se colocó la tubería para las lecturas con el inclinómetro.

Pozo GT-6: Monitoreado desde diciembre de 1996 hasta julio de 1997, porque los vecinos de la región destaparon el pozo y lo rellenaron con piedras y madera, impidiendo el ingreso del sensor.

En el Eje A se obtuvieron desplazamientos entre -15 y $+20$ mm, muestra varias superficies de ruptura a los 6.0m, 12.0m, 18m, 22m, 36m y 42m. En el eje B estas superficies no son tan marcadas excepto las de los 36 y 42m (Fig. 8), lo que quiere decir que éstas son las dos más importantes. Se confirma la teoría de que no se está frente a un único movimiento sino ante la sumatoria de muchos pequeños movimientos en masa

Pozo GT-5: Monitoreado desde noviembre de 1996 hasta julio de 1998. En el eje A se han obtenido desplazamientos de 120mm máximo y de nuevo se evidencian varias superficies de ruptura a los 12m, 15m, 18m, 34m, 36m y 39m (fig 9). En el eje B se aprecian desplazamientos hasta de 85mm, los datos se comportan de una forma más caótica lo que dificulta una interpretación clara, pero se siguen viendo múltiples superficies de falla siendo la más clara la de los 39m, que al parecer es la más profunda en este pozo.

INCLINOMETRO POZO GT-6
EJE A

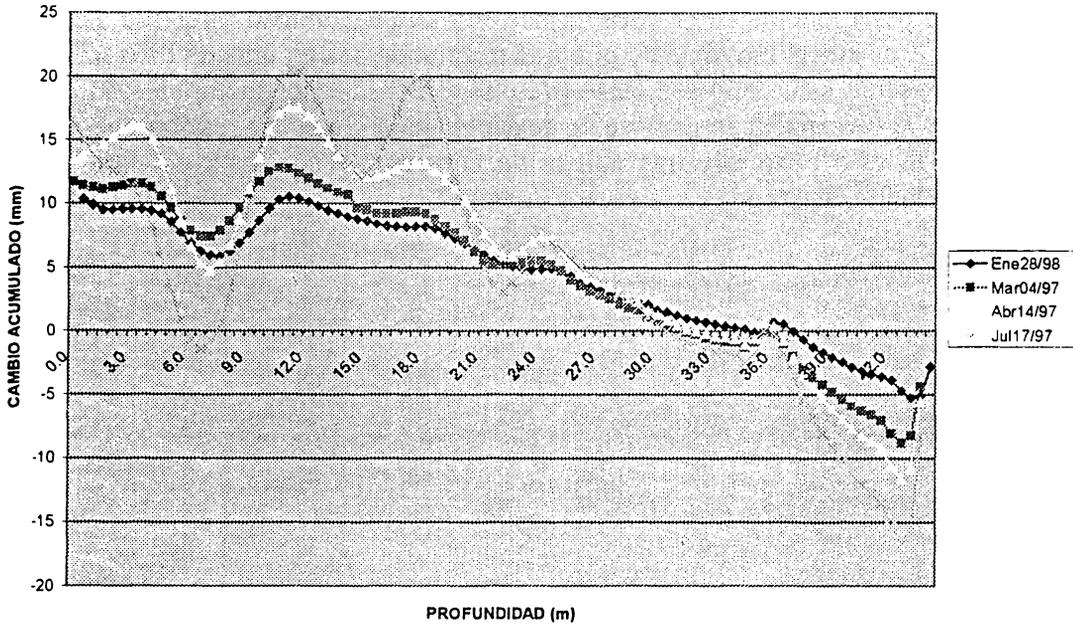


FIG 8. Monitoreo con Inclínometro Pozo GT-6

INCLINOMETRO POZO GT-5
EJE A

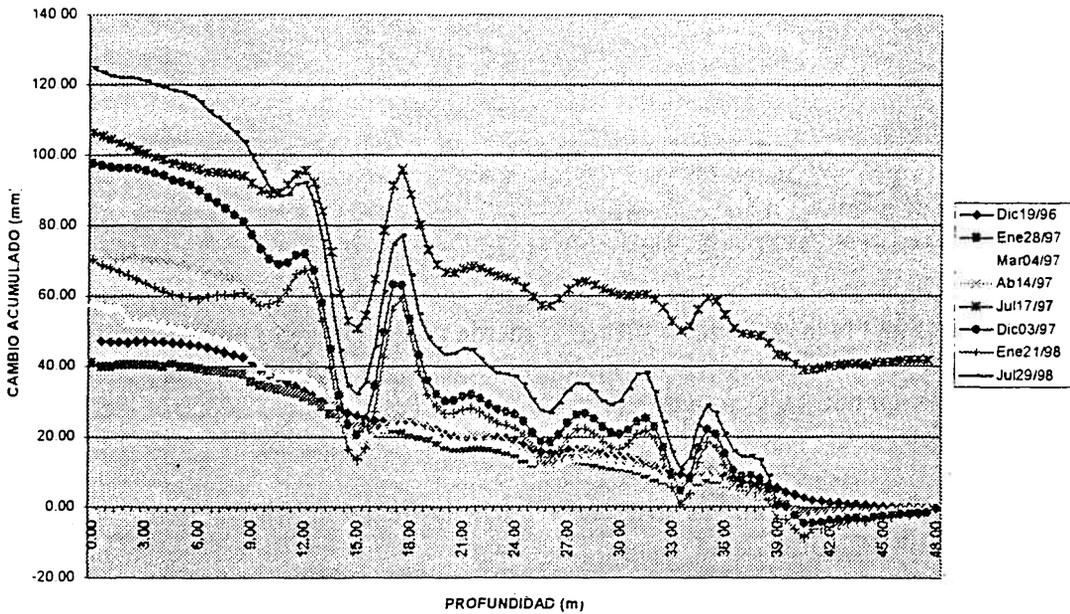


FIG 9. Monitoreo con Inclínometro Pozo GT-5

Pozo GT-4: Monitoreado desde julio de 1996 hasta julio de 1998. En el eje A se han obtenido desplazamientos entre -4 y $+4$ mm. Se aprecian fallas a los 2m, 17m y 20m (Fig 10). En el eje B los desplazamientos están entre -4 y $+2$ mm con rupturas a los 11m, 17m y 20m. Por estar este pozo totalmente en roca, y más aún en una unidad diferente de los otros, lo más probable es que el movimiento que está mostrando sea totalmente diferente al que es objeto del presente estudio, y sea más el resultado del intenso fracturamiento que presenta el mármol y la cercanía al antiguo frente de explotación. Se puede resaltar que diez metros más arriba de este pozo hay una cuneta de concreto la cual está en perfectas condiciones desde que fue construida en la década de los 80's.

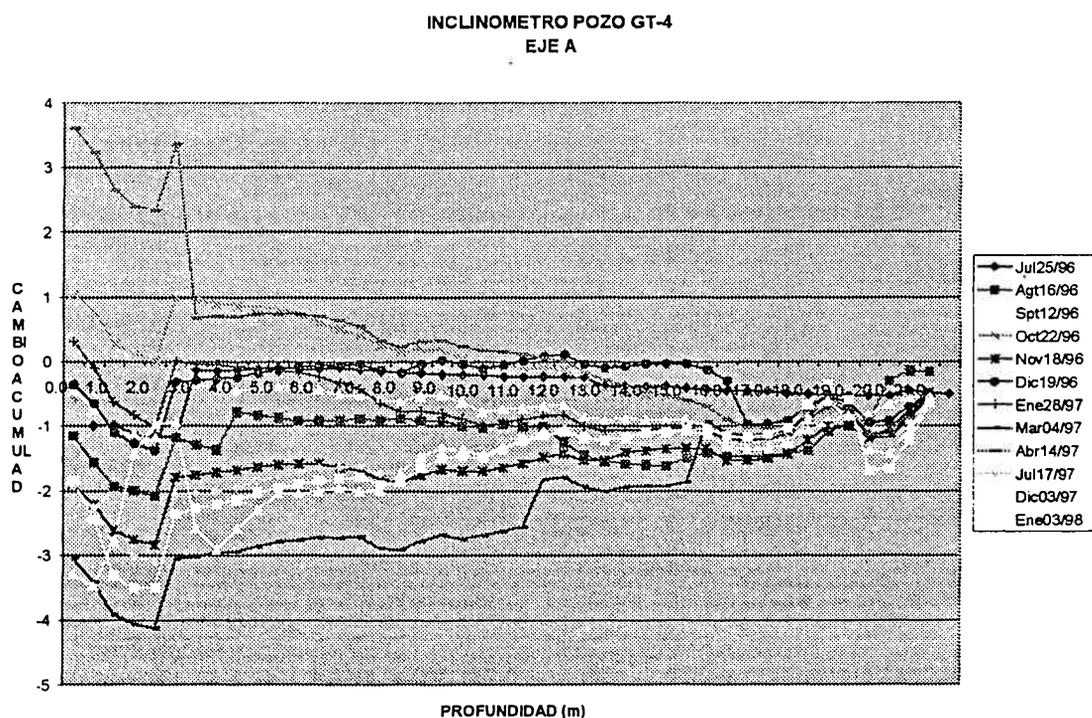


FIG 10. Monitoreo con Inclinómetro Pozo GT-4

Con la información obtenida de los Inclinómetro se puede trazar tentativamente la superficie de falla (Fig. 11) la cual más o menos coincide con el contacto entre el saprolito y la roca fresca, pero también se pueden ver múltiples superficies de ruptura más pequeñas y superficiales evidenciando un movimiento regresivo (escalonado) dentro del gran movimiento en masa.

Con los resultados obtenidos de las diferentes técnicas de monitoreo empleadas en el presente trabajo, con el corte de la figura 11 y la topografía de superficie se hizo un estimativo del volumen que se está moviendo, obteniéndose que es superior a los tres millones de metros cúbicos ($>3'000000m^3$) lo que hace de este movimiento en masa un **megadeslizamiento** ($>1'000000m^3$), donde las acciones correctivas se dificultan mucho, quedando únicamente el seguirlo monitoreando para ver en que momento la velocidad de desplazamiento se incrementa (el movimiento se acelera) y el deslizamiento se hace

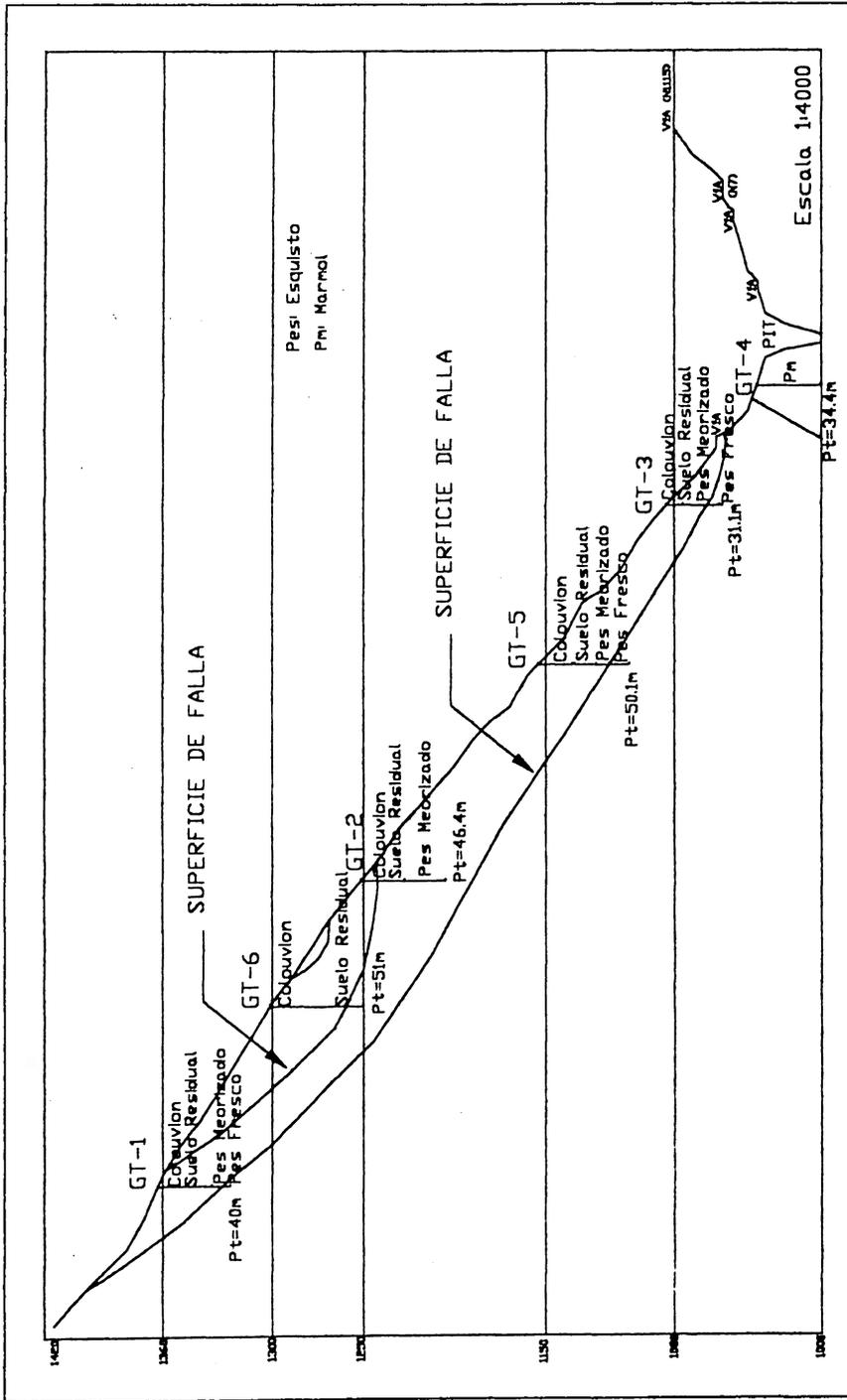


FIG 11. Superficie de Ruptura

inminente. lo que no es el caso en este momento donde el movimiento está muy estabilizado en todas sus zonas y con velocidades de descenso de lentas a muy lentas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El monitoreo permanente, espaciado en el tiempo de acuerdo con las necesidades específicas del proyecto o la investigación. es lo único que permite cuantificar con precisión la evolución de fenómenos de este tipo.

Se está en presencia de un movimiento circular del tipo cuchara con características regresivas y que por su volumen se puede clasificar como un megadeslizamiento (mínimo $> 1'000'000 \text{ m}^3$) lo que hace muy difícil emprender actividades correctivas. Por lo que se debe seguir trabajando en las actividades preventivas como la impermeabilización de las grietas existentes y de las nuevas que aparezcan con bentonita, manejo de las aguas superficiales mediante el mantenimiento de cunetas, reforestación del área con arbustos y grama para prevenir la erosión por el efecto de la gota de lluvia y continuar la reconfiguración de taludes.

El movimiento en la actualidad se encuentra estabilizado en casi todos los sectores con velocidades de lentas a muy lentas según la clasificación del TRB para este tipo de suelos, pero se requiere continuar con el monitoreo para ver si en algún momento esta condición cambia y se acelera el movimiento que es la condición más crítica.

En el área estudiada se encontraron múltiples evidencias de antiguos movimientos en masa como cambios bruscos de pendiente, abundantes coluviones etc, indicando que históricamente estas laderas han sido inestables.

Los datos del Inclínometro permitieron calcular la ubicación de la superficie de falla, pero para hacerlo con más precisión se requiere distribuir pozos a todo lo ancho y lo largo del área afectada por el movimiento.

Como era de esperarse, la superficie de ruptura coincide, más o menos, con la que se forma en el paso del saprolito a la roca fresca. Además, existen otras superficies de falla por planos preexistentes como contacto entre suelo orgánico y coluvión, coluvión y suelo residual, etc.

La información proporcionada por el Clinómetro, en este caso, es sustituible por la que se puede extraer del levantamiento topográfico de precisión hecho sobre los mojones de concreto.

La dirección del movimiento, deducida de todos los sistemas de monitoreo implementados, muestra una clara tendencia del deslizamiento hacia N30°E la cual apunta hacia el antiguo "PIT", por lo que se recomienda evitar cualquier actividad y hasta el tránsito frecuente por esta zona especialmente después de que haya llovido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ASLEBY, J y ORTMAN, D 1986 Slope Displacement Monitoring Manual Golder Associates.

GREEN, G et al 1977 Suggested Methods For Monitoring Rocks Movements Using Inclimeters and Tilmeters. Rock Mechanics Vol 10

GREEN, G y MIKKELSEN E 1988 Deformation Measurements With Inclimeters. National Research Council. Washington D C

KENNEDY, B 1971 Methods of Monitoring Open Pit Slopes Memorias Treceavo Simposio de Mecanica de Rocas. Illinois

MCKENNA, G, LIVINGSTONE, G and LORD, T 1988 Advances in Slope-monitoring instrumentation at Syncrude Canada Ltd. Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performace. Wiley, 577 pp.

Manual de Operación del "Digital Inclimeter Probe Model 50302599" de Slope Indicator

Manual de operación del "Tilmeter Models 50322 & 50344" de Slope Indicator

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD 1978 Special Report No 176

