

## CAPITULO V

### CONTROL TOPOGRAFICO

En octubre de 1988, después de que las lluvias provocadas por los huracanes Gilbert y Joan causaran gran deterioro al deslizamiento del Alto de Tapezco, la Municipalidad del cantón de Santa Ana, por medio de su topógrafo Jorge Jiménez, inició un control topográfico de la zona deslizante.

La distribución de las secciones se puede apreciar en la Figura (5.1).

A la fecha, se han realizado varias medidas, en las cuales se registran diferentes desplazamientos en cada perfil (fig 5.2, 5.3) y se mencionan a continuación.

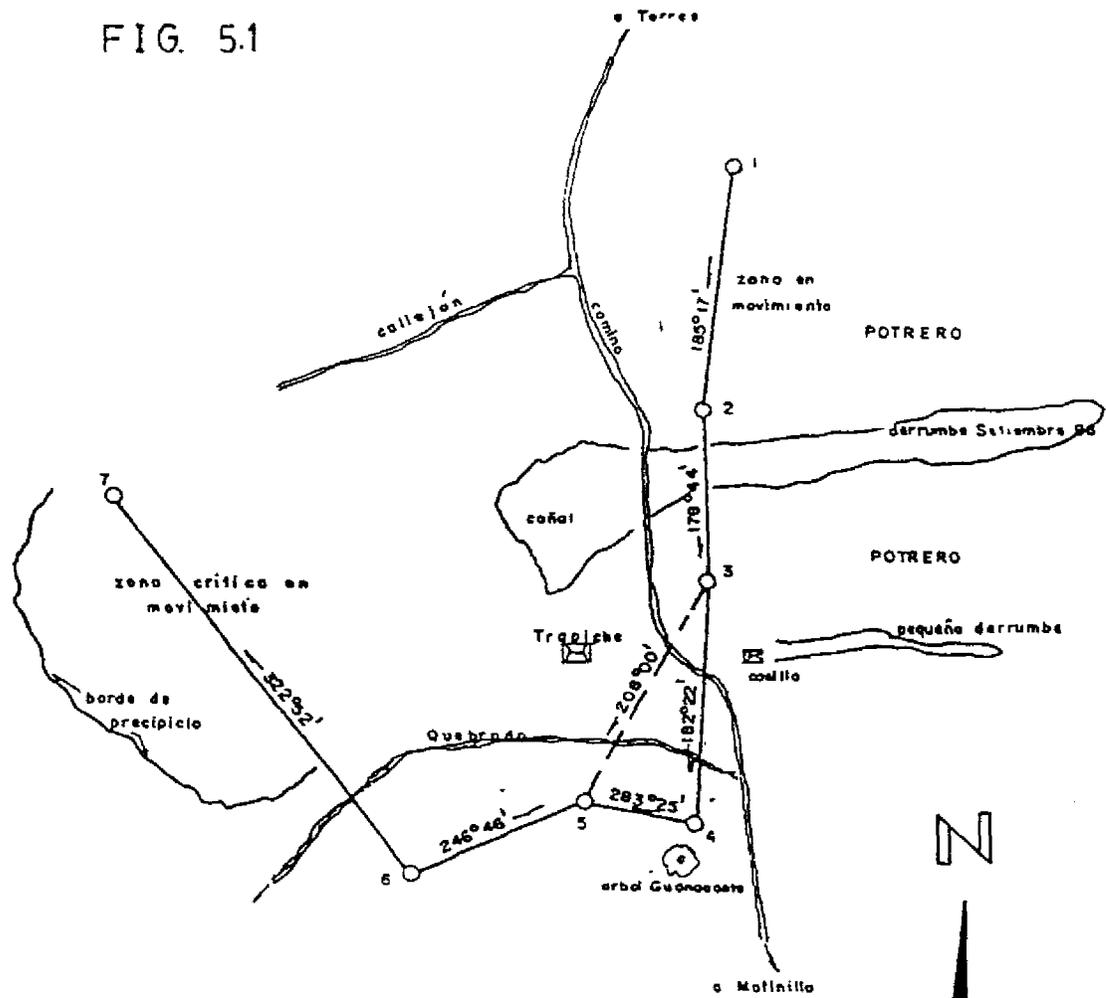
En los cálculos hechos el 11 de julio de 1989, después de una estación lluviosa tan húmeda, como fue, la de 1988, se nota que:

- En la línea 1-2, ocurrieron desplazamientos que oscilan entre 0.00 y 0.70 m. Mientras que en la línea 2-3, solo tres estacas presentan cambios, con valores entre 0.00 y 0.20 m.

En la línea 6-7, los movimientos fueron del orden de 0.00 a 1.70 m.

Para el 25 de setiembre de 1989, a mediados de la estación lluviosa de ese año, se registran movimientos de mayor velocidad; en la línea 1-2, estos oscilan entre 0.00 y 0.90 m. Sin embargo, en la línea 2-3, los desplazamientos fueron similares a los del informe anterior y en las mismas

FIG. 5.1



NOTAS:

- Estacas ubicadas en OCTUBRE 88
- Los detalles son un CROQUIS.

## UBICACION DE ESTACAS

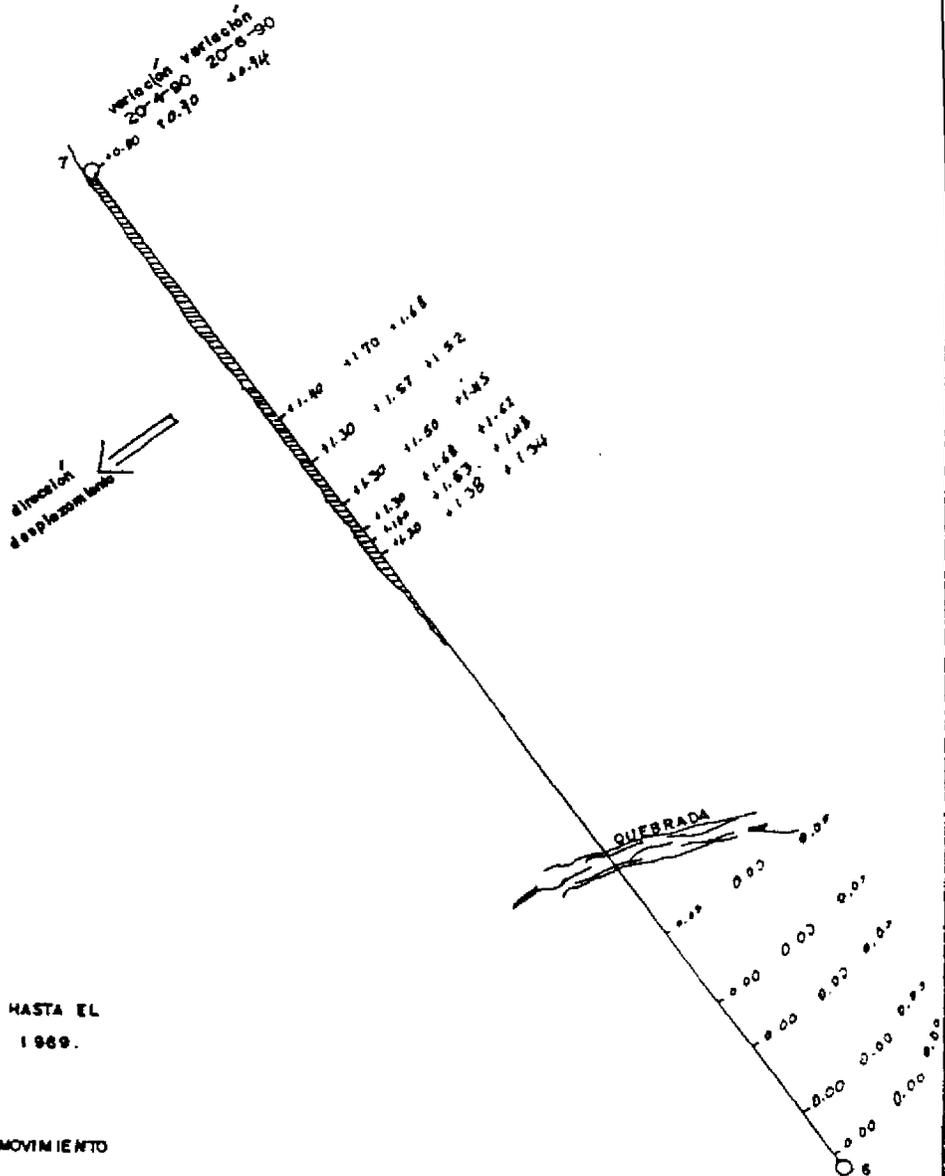
### CERRO TAPEZCO.

ESCALA 1:5 000

Tomado de Jiménez 1990



FIG. 5.3



NOTA:

- DESPLAZAMIENTO HASTA EL  
11 DE JULIO DE 1989.

- 25-09-89 SIN MOVIMIENTO

- 24-10-89 SIN MOVIMIENTO

20-04-90 nueva variación

05-06-90 sin movimiento

20-08-90 movimiento leve

## DESPLAZAMIENTO DE LA

### LINEA 6 - 7.

ESC. 1 : 2 000

tres estaciones de control. No obstante, en la línea 6-7 no se registró ninguna variación.

En el control realizado el 24 de octubre de 1989, no se perciben movimientos en ningún perfil. Es hasta el 20 de abril de 1990, después de los temblores del 25 de marzo del mismo año, que generan una intensidad máxima para el área de Santa Ana de VII-VIII en la escala de Mercalli Modificada, que se vuelven a registrar movimientos en los diferentes perfiles.

En la línea 1-2 los desplazamientos son del orden de 0.00 a 0.90 m.

En la línea 2-3 los cambios de posición de las estacas varían de 0.00 a 0.48 m.

En la línea 6-7 los movimientos fueron considerables, de 0.00 a 1.70 m.

A causa de intensificarse la actividad sísmica en el valle central (Puriscal), en los meses de abril, mayo y junio de 1990, se realizó un control, el 5 de junio del mismo año, en el cual no existió desplazamiento en ninguna de las líneas. Sin embargo, el 20 del mismo mes se registran movimientos en:

La línea 1-2, del orden de 0.00 a 0.96 m.

La línea 2-3, el desplazamiento oscila de 0.00 a 0.46 m.

La línea 6-7, el desplazamiento varía de 0.00 a 1.68 m.

Se debe destacar que en todos los monitoreos, son las mismas estaciones las que presentan movimientos y además, las velocidades de desplazamiento, entre los perfiles son diferentes. De lo anterior se deduce que.

- El deslizamiento no presenta un movimiento uniforme ni unidireccional para toda su masa, pues las medidas de velocidad difieren en el término de valor absoluto y de dirección, no obstante, las características de estas variaciones en el tiempo son similares.

- Se puede dividir en sectores y algunos presentan una estabilidad más crítica que otros.

- La actividad dentro del deslizamiento se manifiesta de diferentes formas por ejemplo, las estaciones que han sufrido desplazamientos, muestran movimientos de tipo rotacional o traslacional. En los potreros (fig 5.1) y otras zonas cercanas, la actividad se presenta como erosión intensa o reptaciones y en ocasiones flujos de lodo. Hacia el SW, en el margen izquierdo, aguas abajo de la quebrada Petter, la actividad y los desprendimientos, se deben en su mayor parte, a erosión y socavamientos provocados por el agua de la quebrada.

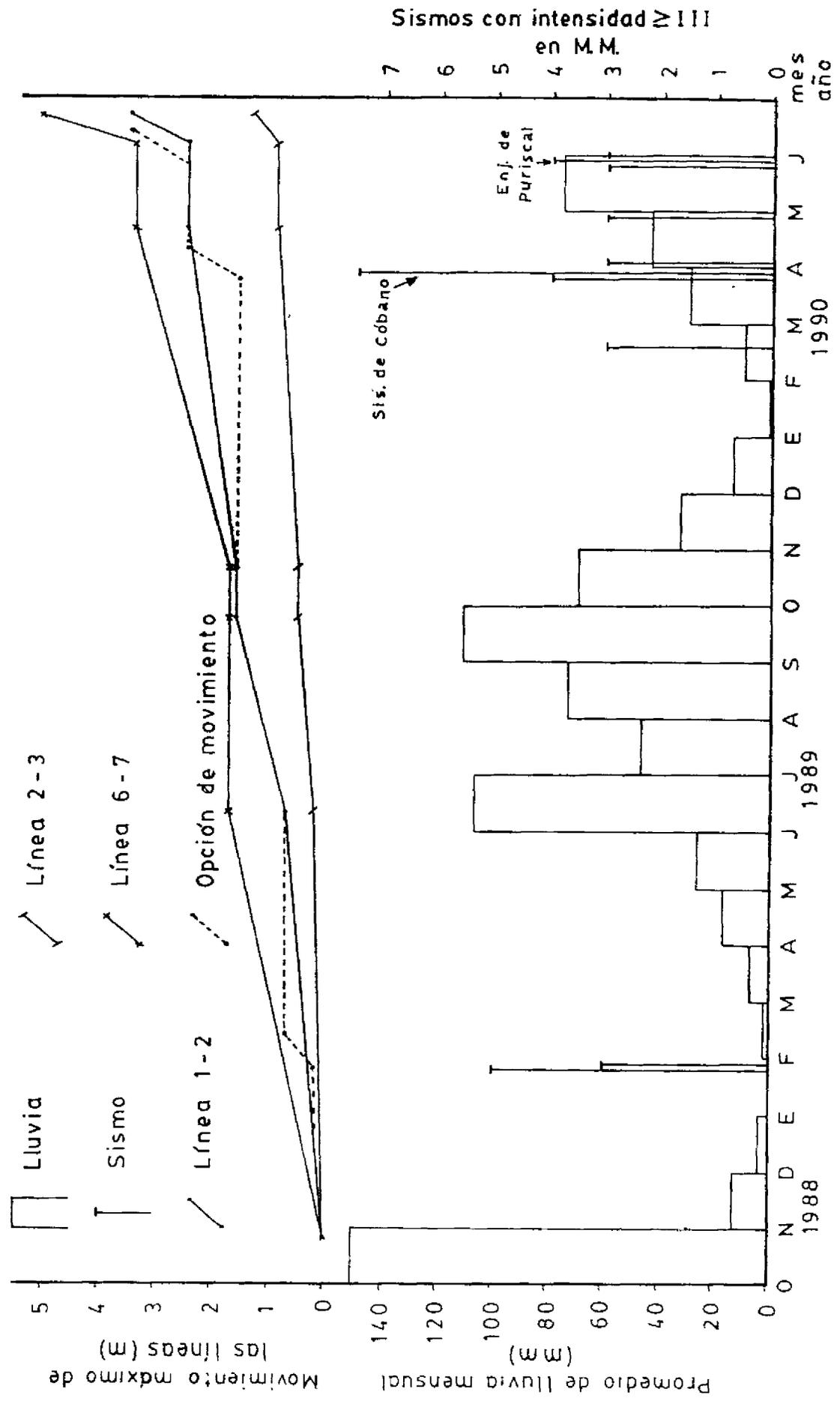
En la figura (5.4) se observa que la línea 6-7 es la que presenta, hasta la fecha, un mayor desplazamiento, con una magnitud de 5.1 m. En la línea 1-2 el desplazamiento alcanza 3.5 m y en la línea 2-3 1.85 m; sin embargo, estas dos líneas son más sensibles a períodos lluviosos.

En la misma figura, se aprecia una correlación de los movimientos del material deslizante, con los promedios de lluvias mensuales (de la estación de Santa Ana) y sismos con intensidades iguales o mayores a III (para el área de San José), en la escala de Mercalli Modificada. Además, con la ayuda de observaciones hechas en el campo, se comprueba, que

# CONTROL TOPOGRAFICO

Deslizamiento del Alto de Tapezco, Santa Ana, Costa Rica

FIG. 5.4



el deslizamiento es sensible tanto a la lluvia como a los temblores pero de forma diferente:

- Al presentarse meses con promedios de lluvias importantes ( $> 100$  mm), el deslizamiento se desplaza en forma constante, de manera tal que su movimiento puede seguir aún después del término del período lluvioso (hasta abatirse el nivel freático y disiparse la presión de poros).

- Al suceder un sismo de intensidad  $\geq IV$ , o varios de menor grado, por lo general el deslizamiento presenta movimientos de una velocidad superior que los causados por las lluvias, representando un mayor peligro.

Por lo tanto, con base en los sismos y promedios de lluvias mensuales se muestra, en líneas a trazos, una posible forma de evolución del movimiento.

- También se puede dar la combinación de los dos eventos. De acaecer esto, tanto el grado de intensidad del sismo, como el promedio de lluvia mensual necesarios para que sucedan movimientos dentro del deslizamiento, pueden ser menores a los mencionados, causando un efecto combinado similar o peor.

- Del mismo modo, existen lapsos durante los cuales, el deslizamiento se encuentra en equilibrio temporal. Este puede ser interrumpido por un sismo que provoque la aceleración del suelo. También por meses con promedios de lluvias importantes que al infiltrarse el agua, generen un aumento en la presión de poros y en el peso de la masa deslizante. Al mismo tiempo, disminuirá la cohesión y por lo tanto la resistencia al corte. Como resultado, aumentará la velocidad del movimiento y la frecuencia de desprendimientos dentro del

deslizamiento. En especial, por el clima que impera en la región, esto será más probable en los períodos de mayo a junio y de setiembre a octubre.

## CAPITULO VI

### ASPECTOS GEOTECNICOS

#### 6.1 Generalidades

Visto en planta, el deslizamiento presenta una forma cercana a la elíptica, con su eje mayor orientado más o menos en dirección E - W, alcanzando una longitud de 889 m y un ancho de 452 m. Muestra una morfología que acusa el avance por sectores, dando un aspecto escalonado.

Las elevaciones varían desde 1760 msnm en la corona superior y 1500 msnm en su base, que se encuentra aflorando a unos 350 m sobre el nivel del río Uruca. Por ello, se le denomina como un deslizamiento "colgante", el que además, se encuentra a favor de buzamiento.

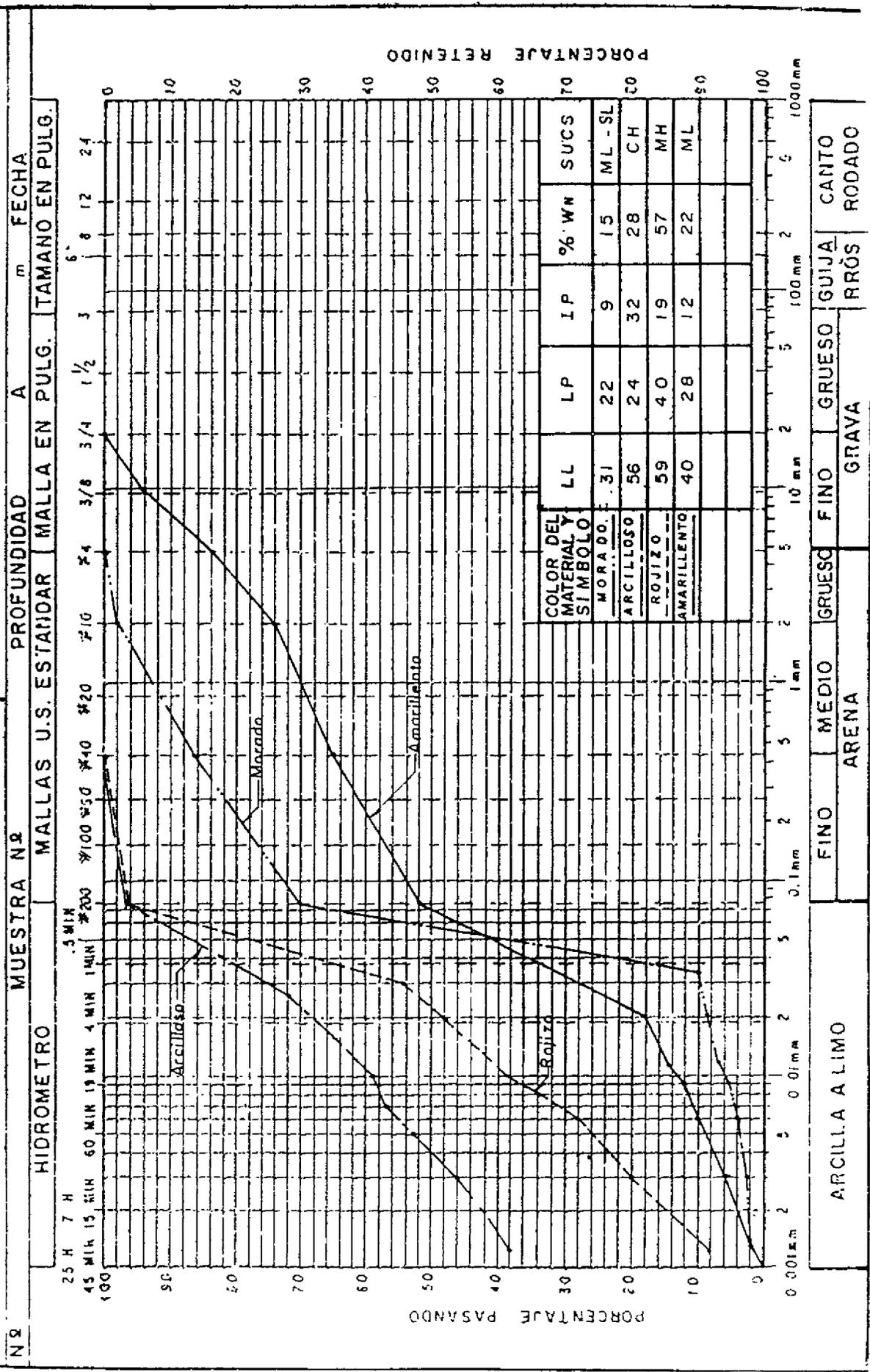
En la última medida hecha en el campo, al elaborar un levantamiento con plancheta, alidada y mira (por H. Taylor y M. Taylor, 1988-1989), su extensión fue de 25.8658 ha.

Este deslizamiento está constituido por varias clases de materiales, los más típicos se clasifican (según el S.U.C.S.) como: limos arenosos de baja plasticidad (ML-SL), limos de baja plasticidad (ML), limos de alta plasticidad (MH) y arcillas de alta plasticidad (CH). Las curvas granulométricas y su clasificación se presentan en la figura 6.1. En general, se les puede denominar como suelos residuales y rocas muy alteradas, constituidos por limos heterogéneos, en ocasiones con estratos arenosos intercalados. Dichos materiales, están presentes a diferentes profundidades y en ellos se

FIG 6.1

Tomado de Delgado 1990

# CURVA GRANULOMETRICA



desarrollan los problemas de inestabilidad de laderas, que presenta la cuenca del río Uruca.

## 6.2 Caracterización de los materiales

Con base en las propiedades mecánicas y físicas, obtenidas de los ensayos geotécnicos, criterios geológicos (descripción de núcleos de perforación (anexo 1), afloramientos y observaciones hechas en el campo), se pudo distinguir los diferentes tipos de materiales.

Se han diferenciado 4 capas y a continuación, se caracterizan desde el punto de vista geotécnico (cuadros 6.1 y 6.2 ):

CUADRO 6.1

### Características de los Materiales

Límites Líquido %	Límites Plástico %	Humedad Natural %	R.Q.D. %	Compresión Simple (qu) KPa	Penetración S.P.T. #golpes
37-76	25-63	25-72	-	20-100	7-8
31	22	8-15	0-10	300-400	28
33	28		0-20	230-450	
			0-100	22000-38000	

La primera capa presenta límites líquidos (LL%) que varían desde 37% hasta 76%, límites plásticos (LP%) que oscilan entre 25% y 63%, al igual que una humedad natural (Wn%) entre 25% y 72%. Estos materiales son muy impermeables y algunos presentan un contenido de humedad cercano al límite líquido.

Además, dicha capa tiene una densidad que varía entre 1.05 y 1.70 g/cm<sup>3</sup>, mientras que la resistencia máxima a la compresión simple ( $q_u$ ) es de 20 a 100 KPa y una penetración normalizada estándar de 7 a 8 golpes/30 cm.

De los ensayos triaxiales consolidados no drenados (CU) y cortes directos, se obtuvieron valores para el ángulo de fricción ( $\phi_{cu}$ ) de 17.5° a 18.5° grados y cohesiones ( $C_{cu}$ ) de 20 a 40 KPa. En los ensayos triaxiales no drenados no consolidados (UU), la cohesión ( $C_{uu}$ ), fue de 90 a 110 KPa en limos de baja plasticidad y en los limos arcillosos de alta plasticidad resultó ser de 15 KPa.

Se puede considerar como: un suelo de mediana densidad, baja cohesión y fricción mediana.

La segunda capa está constituida por materiales color morado, clasificado como limos arenosos de baja plasticidad (ML-SL). Su grado de alteración cambia y en ocasiones, se presentan vestigios de la roca madre; mostrando propiedades físicas y mecánicas regulares. Sin embargo, su RQD oscila entre 0 y 10%. El contenido de humedad natural varía de 8% a 15%, el límite líquido promedio es de 31% y el límite plástico de 22%. Su densidad fluctúa entre 2.00 y 2.20 g/cm<sup>3</sup> y la cohesión ( $C_{uu}$ ) es de 90 KPa. la resistencia máxima a la compresión simple, oscila entre 300 y 400 KPa. Presenta una penetración normalizada de 28 golpes/30cm.

La tercera capa está constituida por una secuencia silícea, de lutitas y areniscas. En algunos tramos es transformada en arcilla por alteración (constituyendo otra capa. propiedades similares a las capas 1 y 2). Aquí se

combinan las propiedades de ambos materiales para definir la capa tres, con los siguientes valores: los límites líquido y plástico, son en promedio de 33% y 28% respectivamente, con una resistencia máxima a la compresión simple, que fluctúa entre 230 y 450 KPa y el RQD varía de 0% a 10%, aunque en ocasiones es superior.

La cuarta capa, identificada como la base del deslizamiento, está constituida por una brecha sana que presenta una resistencia a la compresión simple entre 22000 y 38000 KPa. Al inicio del estrato, el RQD es de 0% a 10% pero después la calidad de la roca mejora y este valor cambia de 30% a 60% y en ocasiones es hasta de 100%.

Es una roca de condición física aceptable y sus propiedades mecánicas mejoran con la profundidad.

### 6.3 Simulación del plano de ruptura

Con el fin de definir un modelo de ruptura, se estudiaron tres perfiles con la ayuda del programa "STABL" para análisis de estabilidad de taludes, que aplica los criterios de Bishop Modificado y Jambu para el cálculo del factor de seguridad al deslizamiento. Utiliza datos de densidad, cohesión, fricción y posición del nivel freático. Este programa permite una amplia variedad de posibilidades de superficies de deslizamiento, haciendo la salvedad que el programa toma el material como un suelo homogéneo en cada estrato designado (algunos valores utilizados, se han tomado bajo criterios de comparación con otros ensayos en materiales similares y por la experiencia de los profesionales con que se trabajó).

Como datos base de la mayor cantidad de las pruebas, se utilizaron los del cuadro 6.2.

CUADRO 6.2

Capa #	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Saturada (g/cm <sup>3</sup> )	Fricción $\phi$ grados	Cohesión C (KPa)
1	1.70	1.99	18	30
2	2.00	2.20	18	40
3	2.00	2.20	23	30

Roca

Se considera que los perfiles escogidos son los más coherentes por la información disponible. Presentan pendientes entre 10° y 50°, con tres contactos inferidos de inclinación favorable al deslizamiento y espesores variables entre 20 y 80 m.

El perfil #1 pasa sobre las perforaciones 4 y 5 (denominado línea de perfil A-B; en la figura 3.1), su dirección es S 73 E. En la figura 6.2 se muestran los resultados de las pruebas efectuadas.

El perfil #2, fue trazado sobre las perforaciones 3 y 2 (denominado C-D; en la figura 3.1), su dirección es S 67 E. Todas las pruebas se realizaron con el nivel freático alto y el plano de falla escogido fue el circular. Los resultados se muestran en la figura (6.3).

El perfil #3, atraviesa las perforaciones 4 y 2 (denominado E-F; en la figura 3.1). Su dirección es N 75 E, al igual que en el perfil #2, todas las pruebas se ejecutaron con el nivel freático alto y el plano de falla circular. Los resultados se muestran en la figura 6.4.

ARCHIVO: perfilic.dat      PERFIL 1      TAPEZCO:

#Prueba    Tip.Falla    Niv.Freat    Fact.Siemico    Fact.Segur.  
 ( g )

1	irregular	alto	0.00	1.496
2	circular	alto	0.00	1.396
3	circular	bajo	0.00	1.639
4	circular	alto	0.15	0.847

Nivel freático

Perforación

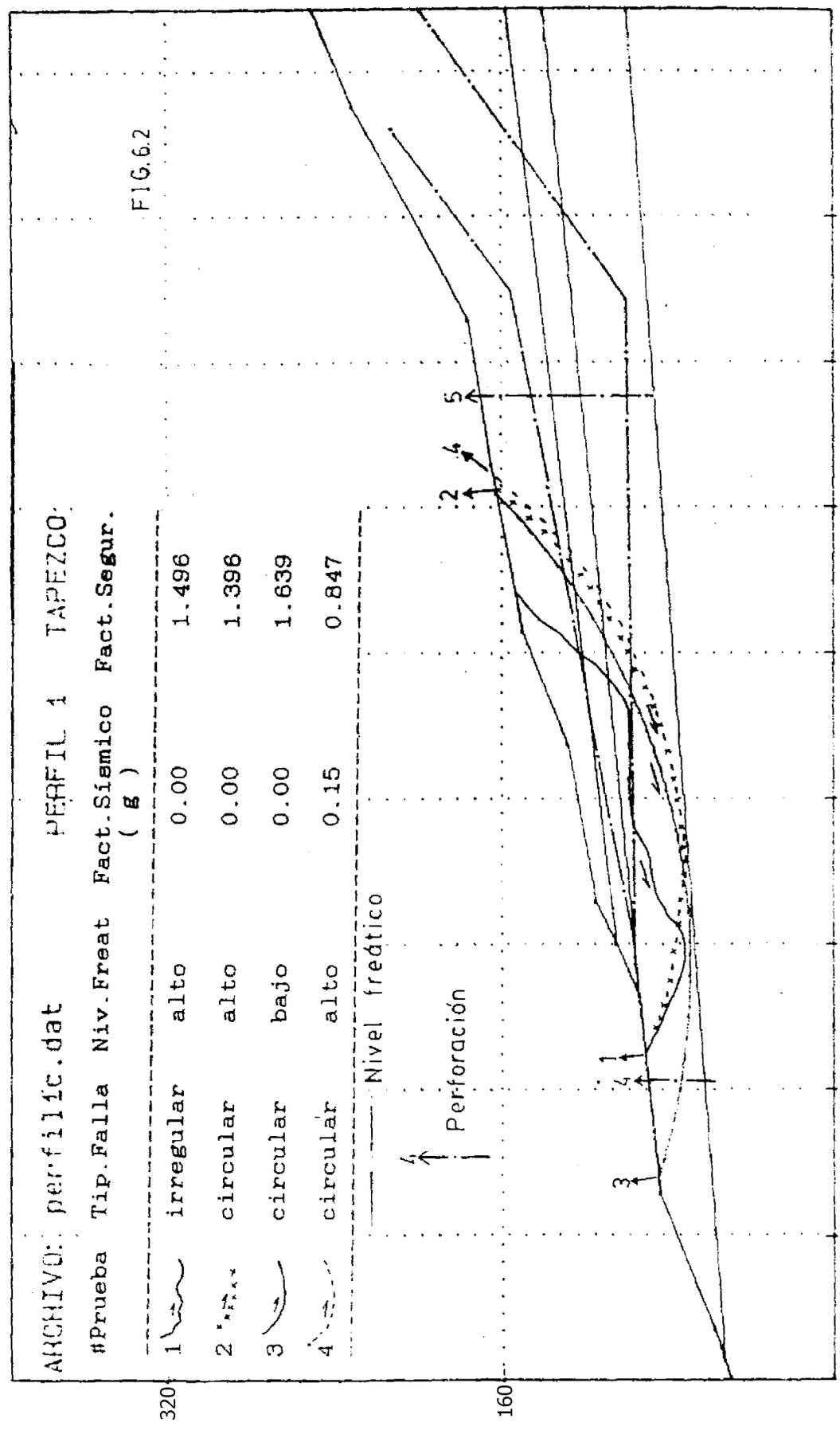


FIG.6.2

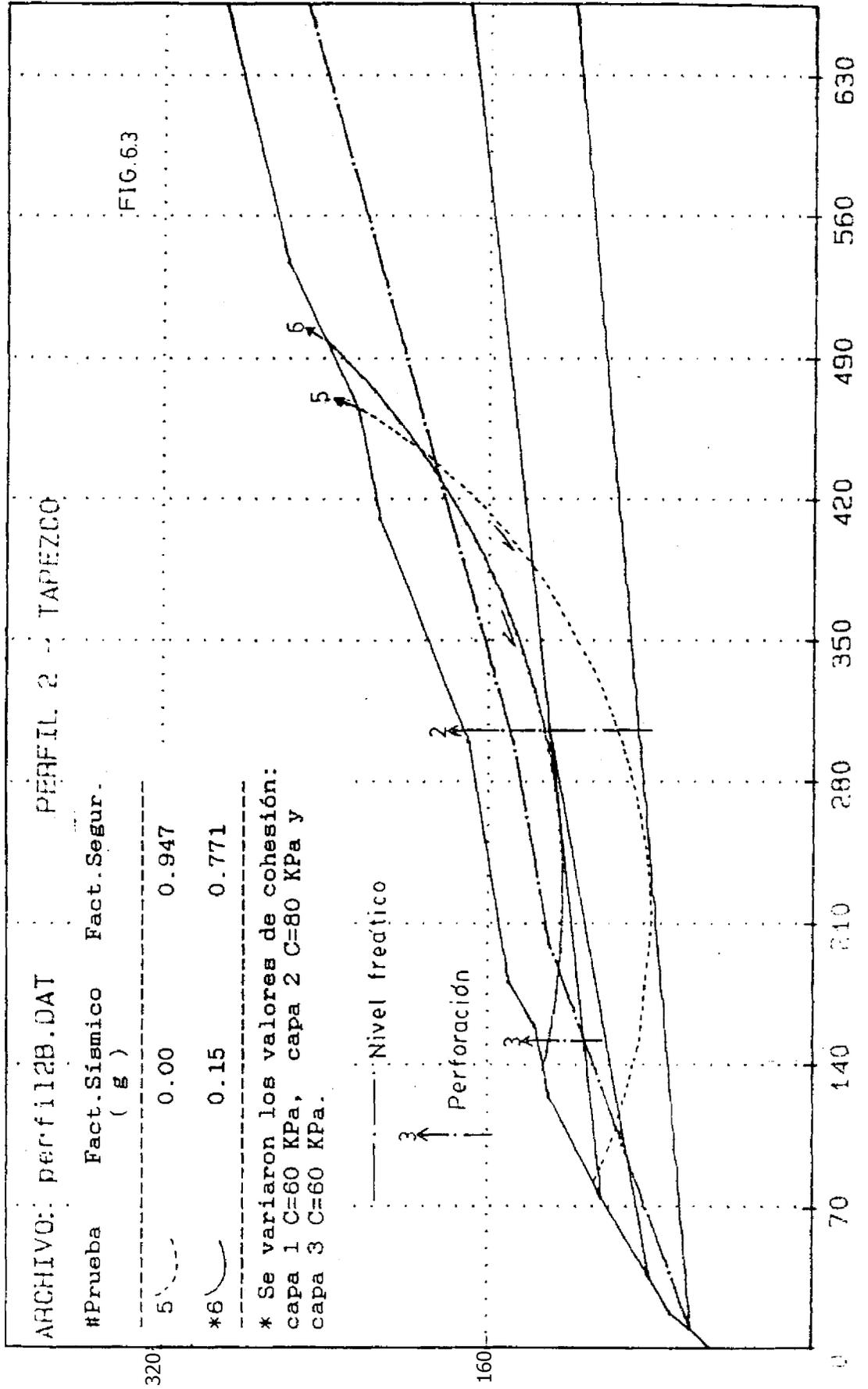
ARCHIVO: perfil12B.DAT

PERFIL 2 - TAPEZCO

#Prueba	Fact.Sísmico ( g )	Fact.Segur.
5	0.00	0.947
*6	0.15	0.771

FIG.6.3

\* Se variaron los valores de cohesión:  
capa 1 C=60 KPa, capa 2 C=80 KPa y  
capa 3 C=60 KPa.



DIST. (m)

FIG. 6.4

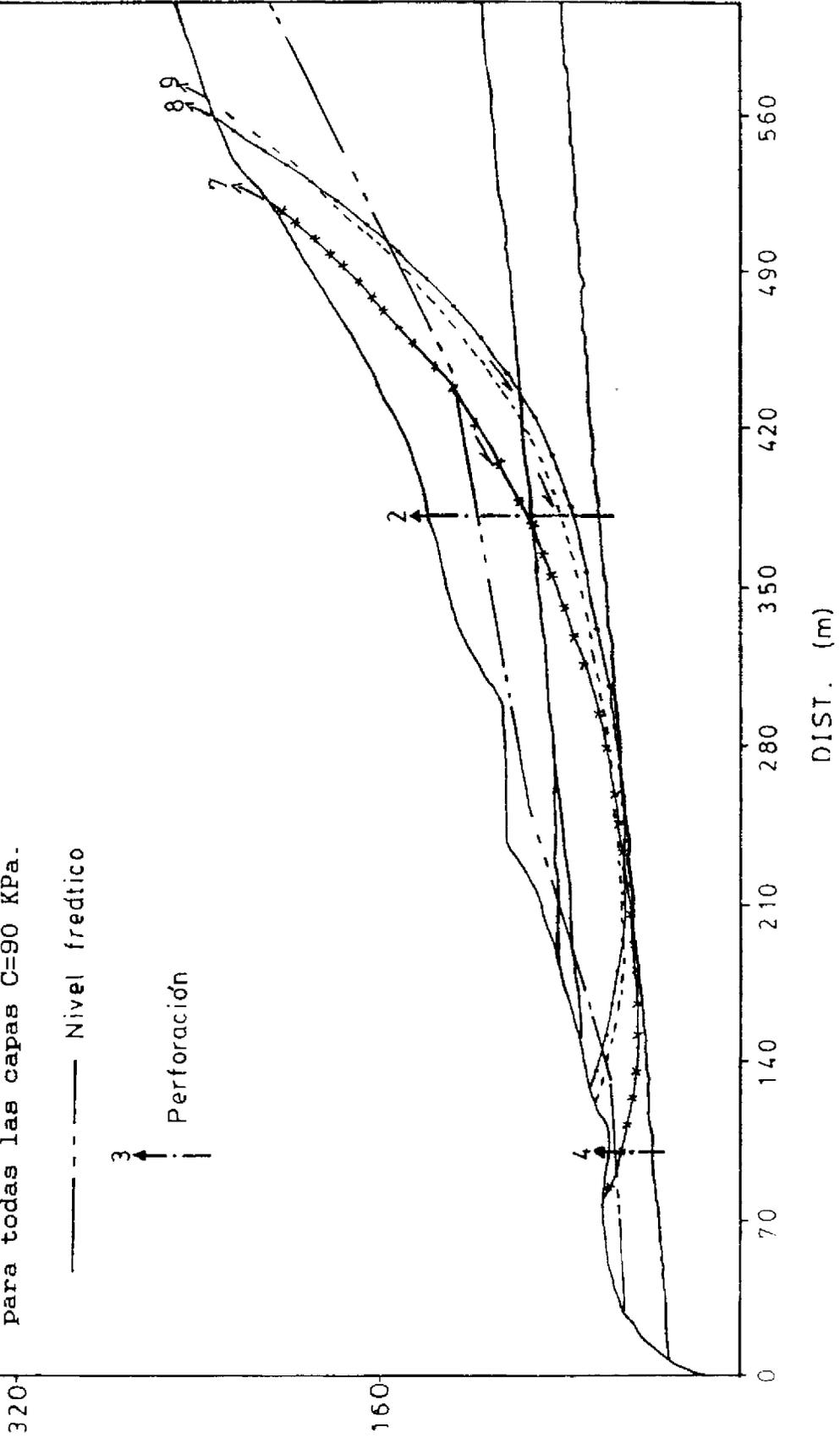
PERFIL 3 - TAPEZCO

#Prueba	Fact. Sísmico ( g )	Fact. Segur.
7	0.00	0.860
8	0.15	0.730
*9	0.15	1.049

\* Se variaron los valores de cohesión, para todas las capas C=90 KPa.

----- Nivel freático

3 ↑  
↓ Perforación



En los ensayos realizados, se comprobó que:

- De acuerdo con los valores obtenidos del factor de seguridad se aprecia que el grado de inestabilidad es elevado.
- El plano de falla de tipo irregular, es menos crítico que el circular para el caso de materiales homogéneos.
- Los factores de seguridad varían sustancialmente de un perfil a otro, lo cual da una idea de lo heterogéneo que es este lugar; en litología, topografía e hidrogeología.
- Existe cierto grado de sensibilidad con respecto a: las condiciones topográficas (pendiente natural y localización), posición del nivel freático y efecto del factor sísmico. Esta sensibilidad es menor al variar los valores de cohesión de los materiales y la geometría de la superficie de deslizamiento. Sin embargo, como consecuencia directa de estos parámetros, varía el factor de seguridad.

Es por estas razones que el perfil #3, resultó ser el más crítico y se escogió para realizar un análisis retrospectivo (apartado 6.4).

#### 6.4 Análisis Retrospectivo (retrocálculo)

Para efectos prácticos se dividió la litología en cuatro tipos de suelo, con sus propiedades inherentes, tomadas de los análisis de laboratorio (cuadro 6.3):

Tipo 1: Suelo de mediana densidad con baja cohesión y una fricción mediana ( $C=30$  KPa y  $\phi = 18^\circ$ ). Cubre toda la superficie del deslizamiento con espesores de 20 a 80m.

Tipo 2: Suelo denso con características de la roca madre de mayor fricción pero siempre con alteración ( $C=0$  KPa,  $\phi = 35^\circ$ , "intercalación de lutitas y areniscas").

Tipo 3 : Suelo más denso con alteración evidente, de una cohesión y fricción un poco mayor al primero (  $C=60$  KPa y  $\phi$   $23^\circ$ ), generalmente de color amarillo claro ("intercalación de lutitas y areniscas alteradas").

Tipo 4 : Roca de condición física aceptable, sus propiedades mecánicas mejoran con la profundidad ("brecha").

CUADRO 6.3

Suelo #	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad saturada (g/cm <sup>3</sup> )	Cohesión (KPa)	Fricción $\phi$ grados
1	1.70	2.30	30	18
2	2.00	2.20	0	35
3	1.80	2.35	60	23
4	2.40	2.45	0	40

Con estas propiedades se iniciaron los análisis, de los cuales resultaron críticos los valores que se muestran en el cuadro 6.4, para un factor de seguridad igual a 1 (FS = 1) y una falla combinada en el talud general.

CUADRO 6.4

Suelo #	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Saturada (g/cm <sup>3</sup> )	Cohesión (KPa)	Fricción $\phi$ grados
1	1.70	2.30	10	18
2	2.00	2.20	0	35
3	1.80	2.35	30	23
4	2.40	2.45	0	40

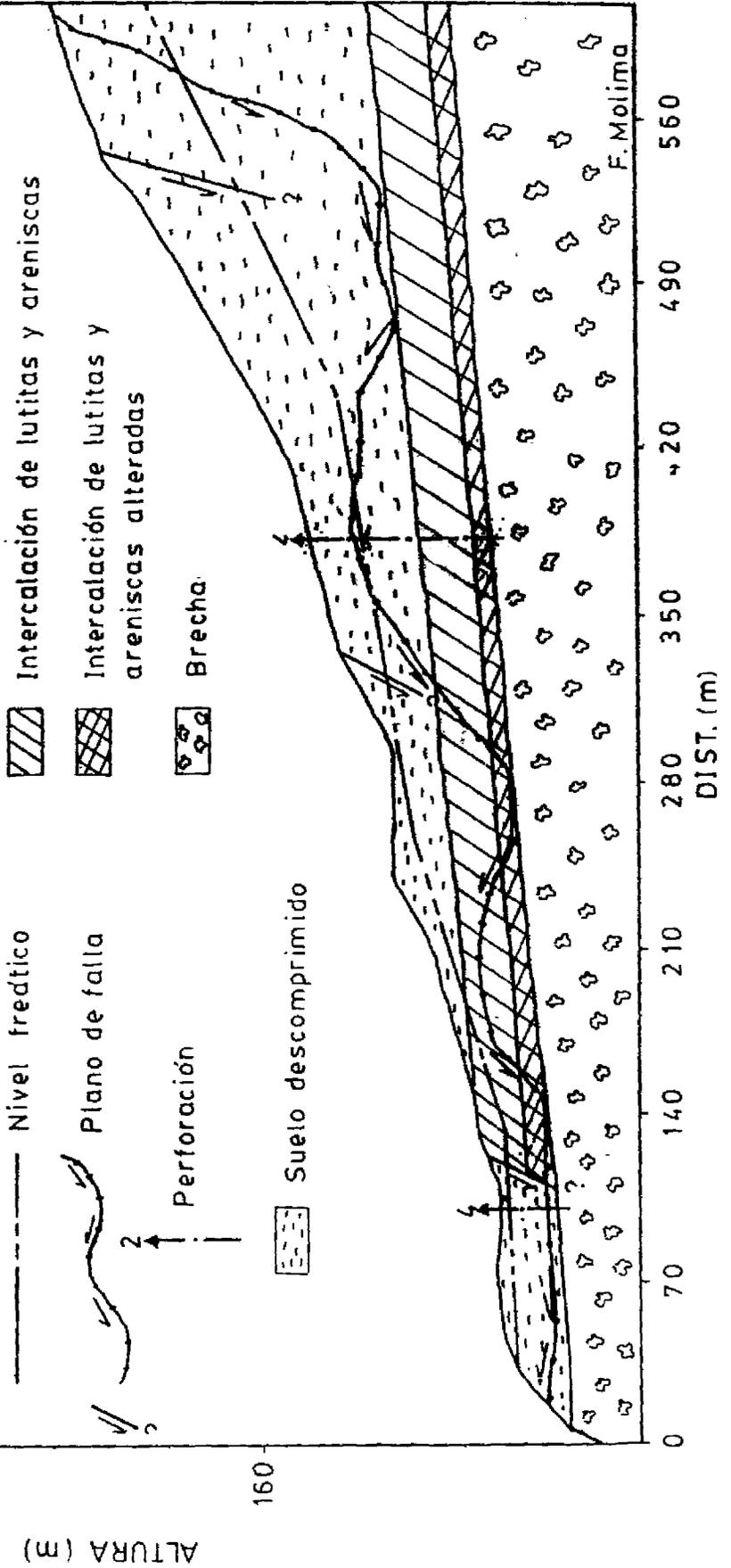
Considerando condiciones estáticas, el programa modeló la falla según se ve en la figura (6.5), exponiendo tres secuencias principales con un grado de amenaza creciente de arriba hacia abajo en el talud (figuras 6.6,6.7,6.8).

**TAPEZCO  
TALUD GENERAL**

FIG. 6.5

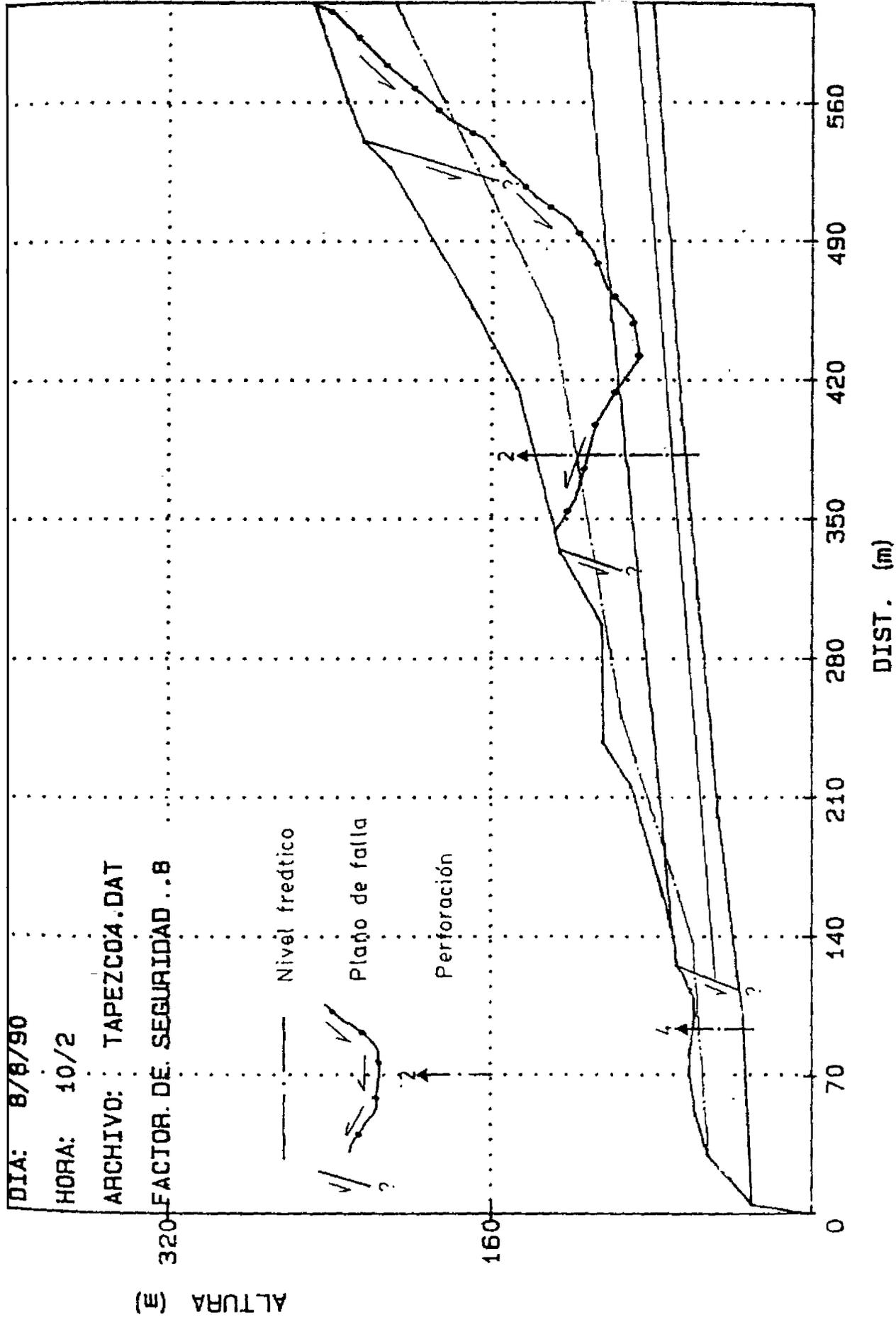
**FACTOR DE SEGURIDAD 1.0**

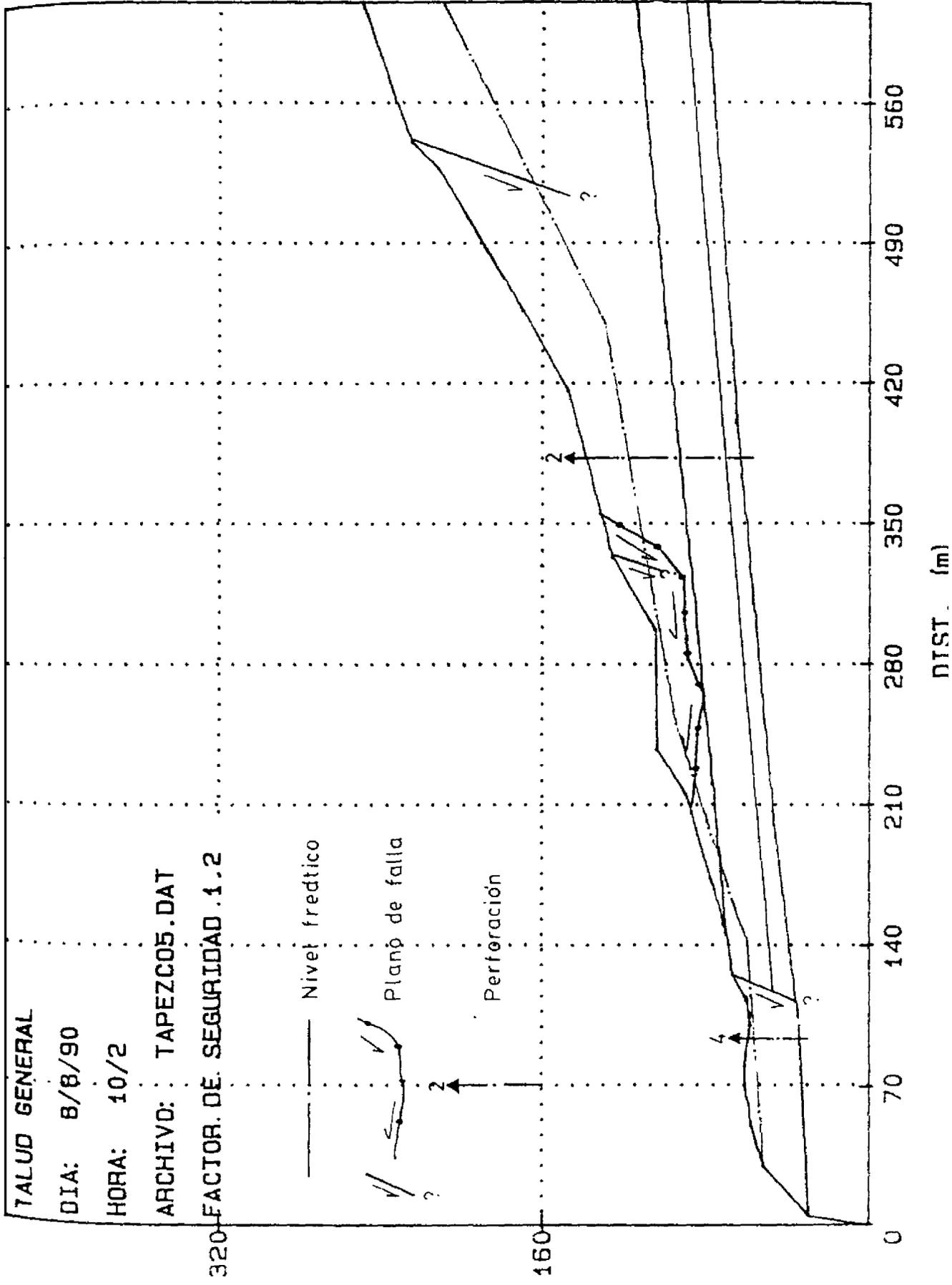
Suelo #	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Saturada (g/cm <sup>3</sup> )	Cohesión (KPa)	Fricción $\phi$
1	1.70	2.30	10	18
2	2.00	2.20	0	35
3	1.80	2.35	30	23
4	2.40	2.45	0	40



ALTURA (m)

DIST. (m)





TALUD GENERAL

DIA: 8/8/90

HORA: 10/2

ARCHIVO: TAPEZCO5.DAT

FACTOR DE SEGURIDAD 1.2

Nivel freático

Planø de falla

Perforación

DIST. (m)

ALTURA (E)

FIG 6 8

**TAPEZCO :**

TALUD GENERAL

DIA: 8/8/90

HORA: 12: 0

ARCHIVO: TAPEZCO5.DAT

320 FACTOR. DE. SEGURIDAD 3.3

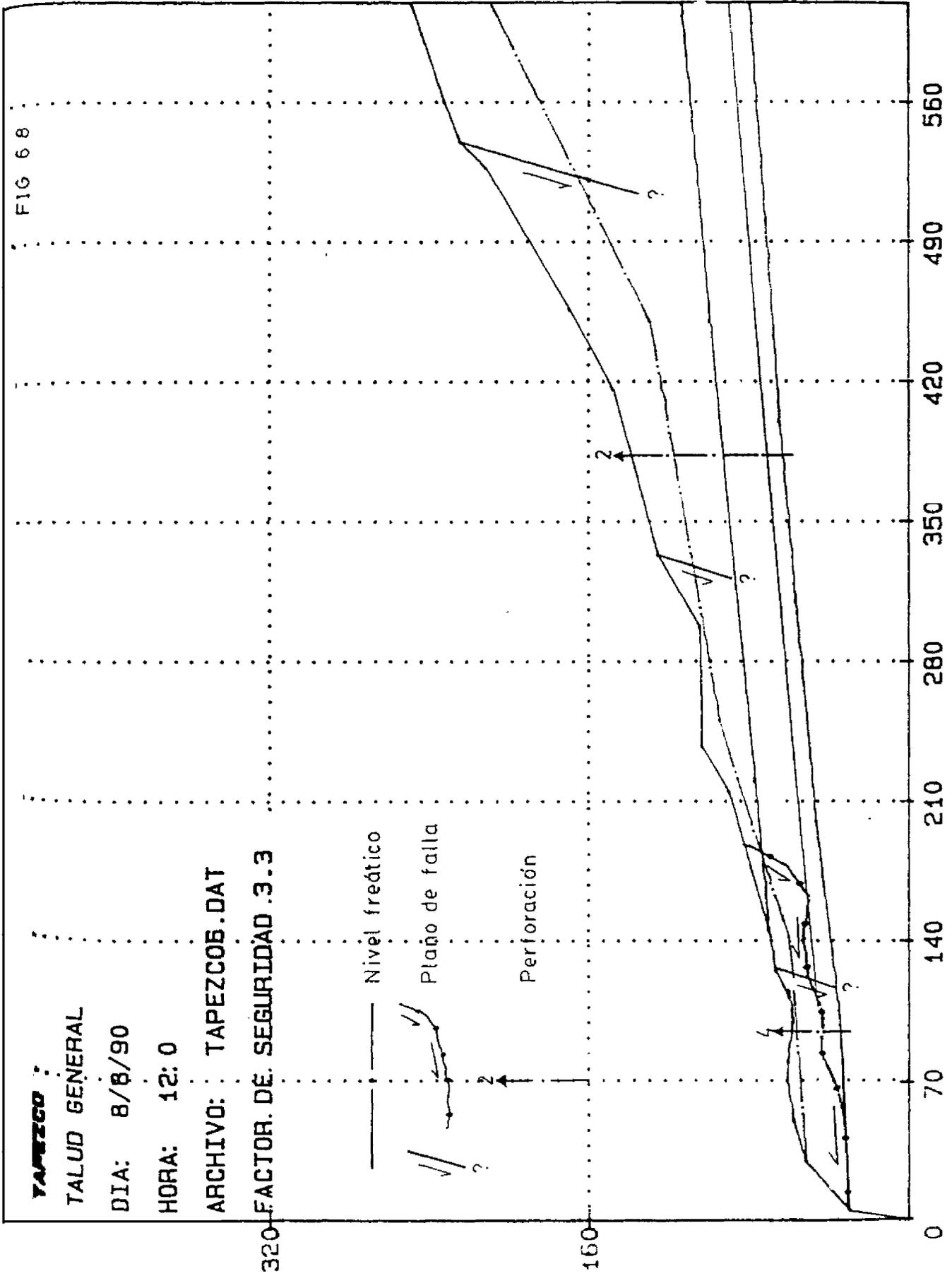
ALtura (m)

Nivel freático

Plano de falla

Perforación

DIST. (m)



Además, se parametrizaron algunos de los factores que inciden, tales como nivel freático y actividad sísmica, representados en la figura (6.9).

Como conclusión de este análisis retrospectivo (retrocálculo) y de la parametrización, se pueden realizar los siguientes comentarios:

- Estamos ante la presencia de un deslizamiento de falla compuesta, rotacional en su parte superior y traslacional en su parte final.

- La parte que presenta un mayor grado de inestabilidad es la superior. En el perfil analizado se distinguen tres sectores independientes que presentan un mayor factor de seguridad conforme se acercan al pie del deslizamiento. Esto se explica por tres razones principales:

- a. Conforme se recorre pendiente arriba, el ángulo de la gradiente superficial aumenta.

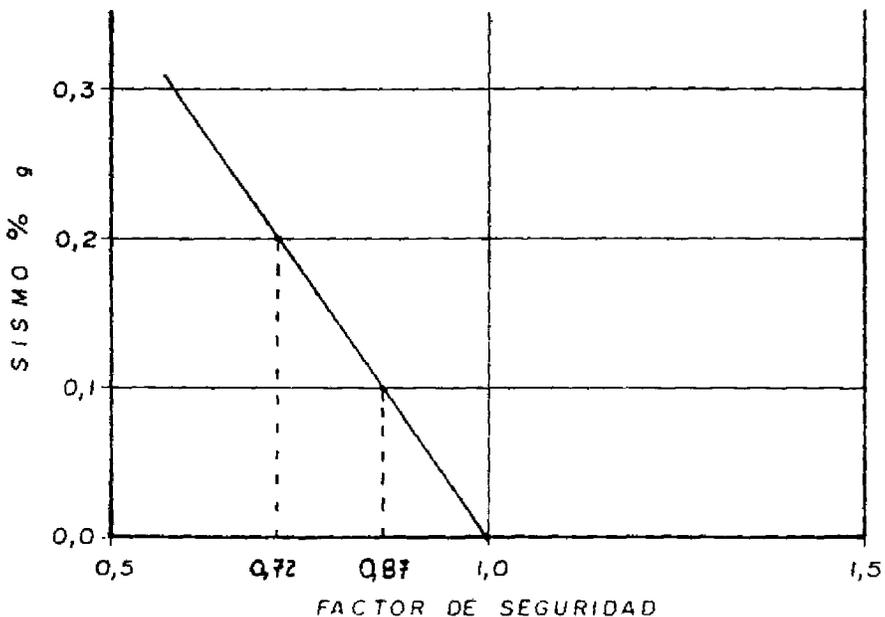
- b. En la misma forma el espesor de suelo residual (tipo I) aumenta, motivando resistencias menores.

- c. El efecto del nivel freático se hace más relevante, pues el estrato meteorizado es de mayor espesor y la porosidad considerable.

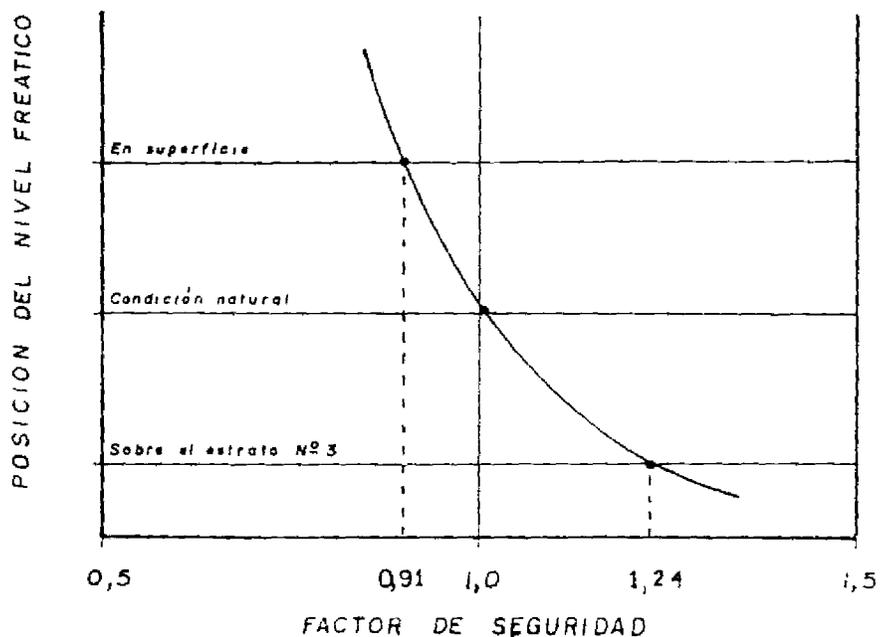
- El área al pie del deslizamiento, para los mismos parámetros de caracterización, resultó con un factor de seguridad más alto. Esto sin tomar en cuenta el efecto del área contigua superior. Lo cual hace pensar que el deslizamiento se origina en las partes altas y produce un efecto de empuje desestabilizador sobre las partes bajas.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA GEOTECNICA  
 SECCION EXPERIMENTACION GEOTECNICA  
**DESLIZAMIENTO TAPEZCO**  
**TALUD GENERAL**

*Efecto de un sismo sobre el factor de seguridad en el perfil N°3, en condiciones normales de nivel freático.*



*Sensibilidad de la posición del nivel freático sobre el factor de seguridad en condición estática*



- De suceder un sismo que genere una aceleración al terreno entre 0.1 y 0.2 %g, el factor de seguridad del talud decrecerá hasta alcanzar valores que varían de 0.87 a 0.72 y que generarían una estabilidad precaria general e incluso una desestabilización masiva.

- Si el nivel freático desciende de la profundidad normal (abatimiento), la estabilidad del deslizamiento aumentaría, pero de suceder lo contrario durante una lluvia muy intensa, el factor de seguridad puede disminuir hasta 0.91.