



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

# ESTUDIO DE RIESGOS GEOLOGICOS POR EL DESLIZAMIENTO DE UNA LADERA EN BENAMEJI (Córdoba)

Ingeniería GeoAmbiental



01321

Madrid 1991

Este estudio ha sido realizado por el siguiente equipo:

• D. Francisco Javier Ayala Carcedo

Dr. Ingeniero de Minas

Jefe del Área de Ingeniería Geoambiental del I.T.G.E.

• Dña. Mercedes Ferrer Gijón

Dra. en CC. Geológicas

I.T.G.E.

• D. José Antonio Grao del Pueyo

Licenciado en CC. Geológicas

GEONOC, S.A.

• D. Guillermo O. Conconi

Ingeniero Civil

GEONOC, S.A. (Dpto. de Geología)

## 2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## INDICE

1. INTRODUCCION Y ANTECEDENTES
2. SITUACION GEOGRAFICA
3. TRABAJOS REALIZADOS
4. DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DEL DESLIZAMIENTO
  - 4.1. Problemática general.
  - 4.2. Encuadre geológico.
  - 4.3. Encuadre hidrogeológico
  - 4.4. Características geotécnicas de los materiales.
  - 4.5. Condicionantes metereológicos.
  - 4.6. Condicionantes antrópicos.
  - 4.7. Condicionantes sísmicos.
5. MODELO Y SUPERFICIE DE ROTURA
6. MEDIDAS CORRECTORAS.
  - 6.1. Construcción de elementos resistentes.
  - 6.2. Modificación de la geometría del talud.
  - 6.3. Construcción de sistemas drenantes.
  - 6.4. Impermeabilización de la ladera.
  - 6.5. Control y seguimiento de los movimientos
  - 6.6. Medidas complementarias excepcionales.
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

**ANEXOS**

- I. CORTE LITOLOGICO DE LOS SONDEOS
- II. PLANOS Y PERFILES
- III. ENSAYOS DE LABORATORIO
- IV. INFORMES ANTERIORES Y DOCUMENTACION
- V. VALORACION ECONOMICA ESTIMATIVA
- VI. FOTOGRAFIAS
- VII. RECORTES DE PRENSA
- VIII. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA
- IX. PRECIPITACIONES

El Instituto Tecnológico Geominero de España (I.T.G.E.), ha realizado con la colaboración de GEONOC, S.A., un estudio sobre Riesgos Geológicos inducidos por deslizamientos de ladera en la localidad Cordobesa de Benamejí.

El estudio se enmarca dentro del conjunto de trabajos de investigación que el I.T.G.E. realiza para el control de situaciones inestables del entorno Geológico.

Los trabajos están destinados al análisis de las características del fenómeno, a evaluar el grado de riesgo de la situación y a determinar unas conclusiones y recomendaciones a seguir para la solución del problema.

Este trabajo se ha realizado en virtud de la asistencia solicitada a este Instituto por el Gobierno Civil de Córdoba y por mediación de la Unidad de Protección Civil de dicha localidad.

MADRID 1991

## 1. INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

Benamejí es una localidad situada en el extremo Sur de la Provincia de Córdoba, lindando con la Provincia de Málaga.

Los deslizamientos de ladera en Benamejí no son un fenómeno aislado ni reciente, y se vienen produciendo periódicamente en los últimos tiempos. La denominación del paraje deslizado ya indica la inestabilidad del lugar: "La grieta".

El asentamiento del municipio, sobre el borde de una zona elevada en relación a la cota del río Genil que pasa al Sur de la localidad, hace que este se haya visto afectado por los fenómenos de movimientos e inestabilidades que, desde tiempos históricos, se han venido produciendo en las laderas que descienden hasta el río.

A partir de reconocimientos de campo y de análisis de fotografías aéreas, se puede comprobar que existieron antiguos deslizamientos que llegaron hasta el río, posiblemente propiciados por la erosión de la corriente en las zonas de pie de ladera, aparte de las bajas propiedades resistentes que presentan los materiales de la zona.

El, último deslizamiento ocurrido, que dio lugar a este - el de diciembre de 1969, hasta el punto de acuerdo con el autor del estudio, no ha afectado a toda la longitud de la ladera, llevando a producir el gran deslizamiento que se observa, produciéndose entre el casco urbano y unos afloramientos de este tipo, correspondiendo a una roca, extrópica, formándose materiales más competentes que forman unos pequeños montículos

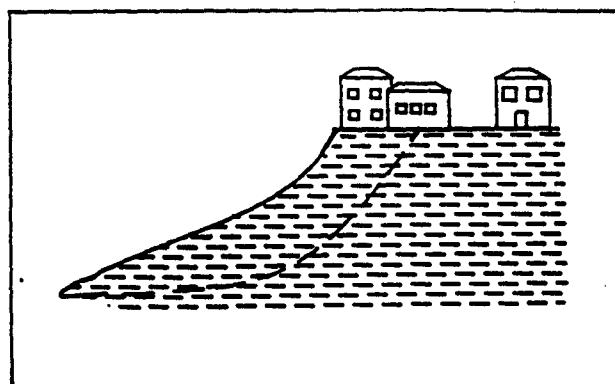
a media ladera.

Encuadre Histórico

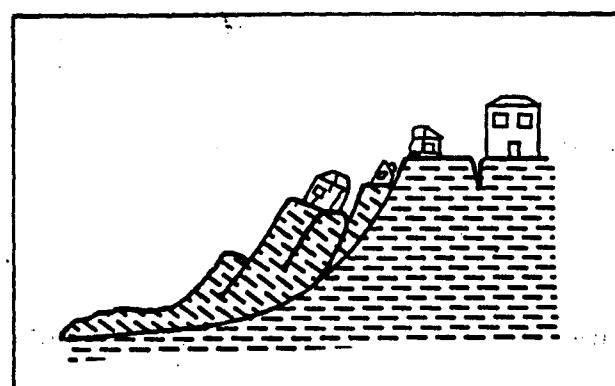
- En 1739 se produjo presumiblemente un gran deslizamiento en la zona estudiada, que afectó además a un Convento Carmelita fundado en 1682, y que resultó seriamente dañado.
- En la fotografía 1 puede verse la localidad de Benamejí y la zona inestable en enero de 1962.
- El 17 de febrero de 1963 se produjo un gran deslizamiento en el mismo lugar. Como consecuencia del mismo, 40 viviendas quedaron en ruinas y otras 51 fueron abandonadas por presentar inminente peligro. La franja deslizada fue posteriormente ocupada por el vertido de numerosos escombros que "restituyeron" en gran parte la topografía existente antes de dicho deslizamiento. Se creó una gran plataforma e constaludes de vertido hacia la ladera (fotografía 2 realizada en mayo de 1981).
- Entre 1963 y 1989 se produjeron pequeños deslizamientos en varias ocasiones (uno de ellos en febrero de 1987), pero de pequeña magnitud.
- El 26 de diciembre de 1989, tras un período de intensas lluvias, se produce el gran deslizamiento objeto del presente estudio, correspondiendo a una reactivación y coincidiendo la



## HISTORIA DEL PARAJE DENOMINADO "LA GRIETA" DE BENAMEJÍ (CORDOBA)

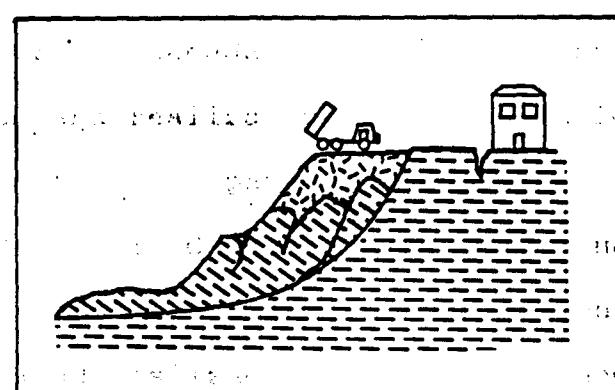


1962



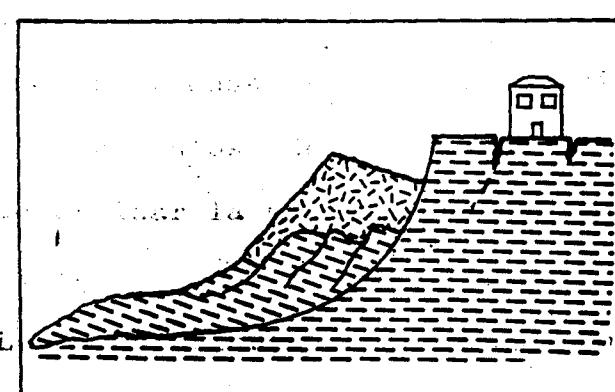
2

17 de FEBRERO de 1963



3

1963 - 1989



4

26 de DICIEMBRE de 1989

superficie de rotura en cabecera, a grandes rasgos con la del movimiento de 1963, y arrastrando a todo el volumen de escombros. En coronación la superficie de rotura se instala en parte en el contacto con los escombros, y en parte a través del terreno natural. Se trata de un deslizamiento de ladera profundo, con superficie de rotura curva, de unos 600 mts. de longitud.

Informes anteriores

\* El 18 de mayo de 1970, el Ingeniero de Caminos D. Manuel Mateo realiza 4 nivelaciones en 17 puntos y emite un informe que tiene como conclusión que persisten los movimientos en la ladera. Dicho informe aparece en los Anexos.

\* En la década de los 70, el Instituto Geológico y Minero de España realiza con la colaboración de GEIN S.A., un "Estudio Geotécnico para reconocimiento de un talud deslizado en Benamejí (Córdoba) y de la zona de Ampliación del Núcleo Urbano". En dicho informe se contó para el reconocimiento del talud deslizado con un sondeo mecánico en la coronación del deslizamiento de 150 m. de profundidad, así como toma de muestras, ensayos de laboratorio, cálculo por ordenador de los círculos de rotura del talud, etc. con el fin de determinar la máxima zona que puede afectar el deslizamiento.

Las conclusiones de dicho informe incluyen las siguientes medidas:

A) Medidas de estabilidad de taludes

a.) "Evitar la erosión del río Genil y por tanto el descalce del pie del talud.

b.) Prohibición de vertidos de escombros en la coronación del talud.

c.) Pavimentación y alcantarillado de la cuenca de escorrentía que vierte hacia el talud deslizado (comprende parte del Casco Urbano de Benamejí).

d.) Evitar la infiltración en la ladera deslizada de aguas de lluvia, o bien de surgencias de aguas subterráneas, mediante la ejecución de canales protegidos.

e.) Saneamiento superficial de las cuencas de escorrentía al NO y NE de Benamejí, para evitar infiltraciones a través de estratos permeables o fisurados cuya dirección o corriente se desconoce y que pudiera afectar a las capas subyacentes en la ladera.

Si estas actuaciones no son suficientes para estabilizar la zona serían necesarias las siguientes medidas:

f.) Realización de un dren longitudinal, paralelo al borde superior del talud y en sus proximidades, y también en la zona de estrechamiento del talud deslizado.

g.) Drenes horizontales, mediante perforación e instalación de tubos drenantes en una profundidad de 30 metros o posiblemente más.

h.) Impermeabilización y consolidación del suelo mediante inyección de morteros de cemento y bentonitas, preferentemente en fallas, fracturas y agrietamientos.

i.) Tratamiento del talud de la ladera mediante vegetación, arbolado, etc.

j.) Por último, y en caso extremo, ejecución de refuerzos con muros de contención o modificaciones en las pendientes del talud.

**B) Medidas de control y comprobación**

En todos los casos se establecerá una serie de puntos fijos en el pueblo y en la ladera para su observación periódica desde el momento actual, durante la ejecución de las medidas de estabilidad y posteriormente, hasta plazos de varios años.

En cada operación se tomarán datos antes y después de las obras para la evaluación correcta del grado de mejora logrado".

\* El 9 de marzo de 1987, la Dirección Provincial en Córdoba del Ministerio de Industria y Energía, emite un informe

firmado por el Dr. Ingeniero de Minas D. Juan González Montero, que concluye con las siguientes recomendaciones:

" Las medidas a tomar -con carácter inmediato- serían:

1. Dejar de verter cualquier tipo de escombro y basura en la zona de "La Grieta", alambrando, si es preciso, el perímetro de la misma.
2. Drenar y conducir fuera de la zona de deslizamientos las aguas que discurren o surgen de la zona inestable.
3. Inspeccionar detenidamente las redes de alcantarillado y agua potable en el entorno de "La Grieta" y corregir las eventuales fugas existentes.
4. Dejar de regar los jardines, calles, huertas y patios interiores de las viviendas de la zona de "La Grieta", salvo en los casos en que exista garantía de que las aguas de escorrentía van a la red de alcantarillado.
5. Hacer un ramal de alcantarillado que circunvale la zona de "La Grieta", conectando el mismo a la red del alcantarillado general, para que las aguas de lluvia vayan fuera de la cuenca natural de esa zona.
6. Hacer una serie de perfiles topográficos de precisión en la zona de "La Grieta", para ir siguiendo la evolución a lo largo

del tiempo del terreno de la misma.

Si las medidas anteriores no fueran suficientes para conseguir que la masa del terreno de la zona de "La Grieta" se vaya desecando y perdiendo el estado plástico que tiene actualmente, habría que recomendar otras actuaciones más enérgicas y costosas. Si dichas medidas fueran suficientes, se podría pasar -una vez controlado el estado de humedad del terreno- a otras actuaciones de tipo complementario (fundamentalmente la nivelación, y fijación del terreno de la grieta con vegetación)".

\* El 28 de diciembre de 1989, a raíz del gran deslizamiento del día 26 del mismo mes, el Ingeniero Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía, Sr. Vázquez Orellana, emite un informe que concluye con las siguientes recomendaciones:

"Se comunicó al Sr. Alcalde que:

- Prohiba el acceso rodado y peatonal a la zona deslizada.
- Díese aviso de desalojo a todos los propietarios que queden dentro de una franja de 25 m. desde el borde del deslizamiento ante la proximidad de posibles lluvias en días próximos que pueden agravar la zona siniestrada.

- Dice aviso de que se extreue la vigilancia por parte de los vecinos, así como de las autoridades municipales de posibles fisuras en las casas que pueden anunciar el incremento de la zona de deslizamiento."

"Independientemente de la urgente solución de nuevo alojamiento a los afectados directamente, sería conveniente realizar un estudio completo de la zona inestable, en el cual se propongan una serie de medidas de actuación que impidan que sucesos como éste, vuelvan a ocurrir provocando daños análogos."

\* En febrero de 1990 técnicos del I.T.G.E. visitan la zona y emiten un informe con fecha de 26 de febrero, en el que reflejan la necesidad de realizar un estudio en profundidad que implica levantamiento topográfico, sondeos, toma de muestras, ensayos de laboratorio, etc. Asimismo considera como medidas urgentes:

"- El cese total e inmediato de los vertidos de escombros y de todo tipo en la zona afectada.

- La colocación de testigos (de yeso), en las grietas detectadas en los edificios colindantes, que deberán ser vigilados para comprobar si estos se rompen. Asimismo deberá ser vigilada la aparición de nuevas grietas en la calzada o en las fachadas.

- El control y medición periódica (una vez a la semana) del nivel de agua de los pozos cercanos a la parte afectada, para observar posibles variaciones en el nivel freático."

\* El 12 de febrero de 1990, D. Antonio Daza Sánchez, del Departamento de Minería de la Universidad de Córdoba, emite un informe que concluye con la necesidad de realizar un estudio en profundidad.

\* El 14 de noviembre de 1990, D. Manuel Delboy Fuentes, Presidente de la Asociación de Afectados de la Grieta "27 de diciembre" de Benamejí, solicita al Ayuntamiento la realización de un Estudio Geológico de la zona, la colocación de una valla metálica y solicita declaración de zona catastrófica.

\* Asimismo se tiene conocimiento de la existencia de otros informes sobre este deslizamiento y a los cuales no hemos tenido acceso; por ejemplo:

- Informe del Servicio Geológico de fecha de 10 de junio de 1965.

## 2. SITUACION GEOGRAFICA

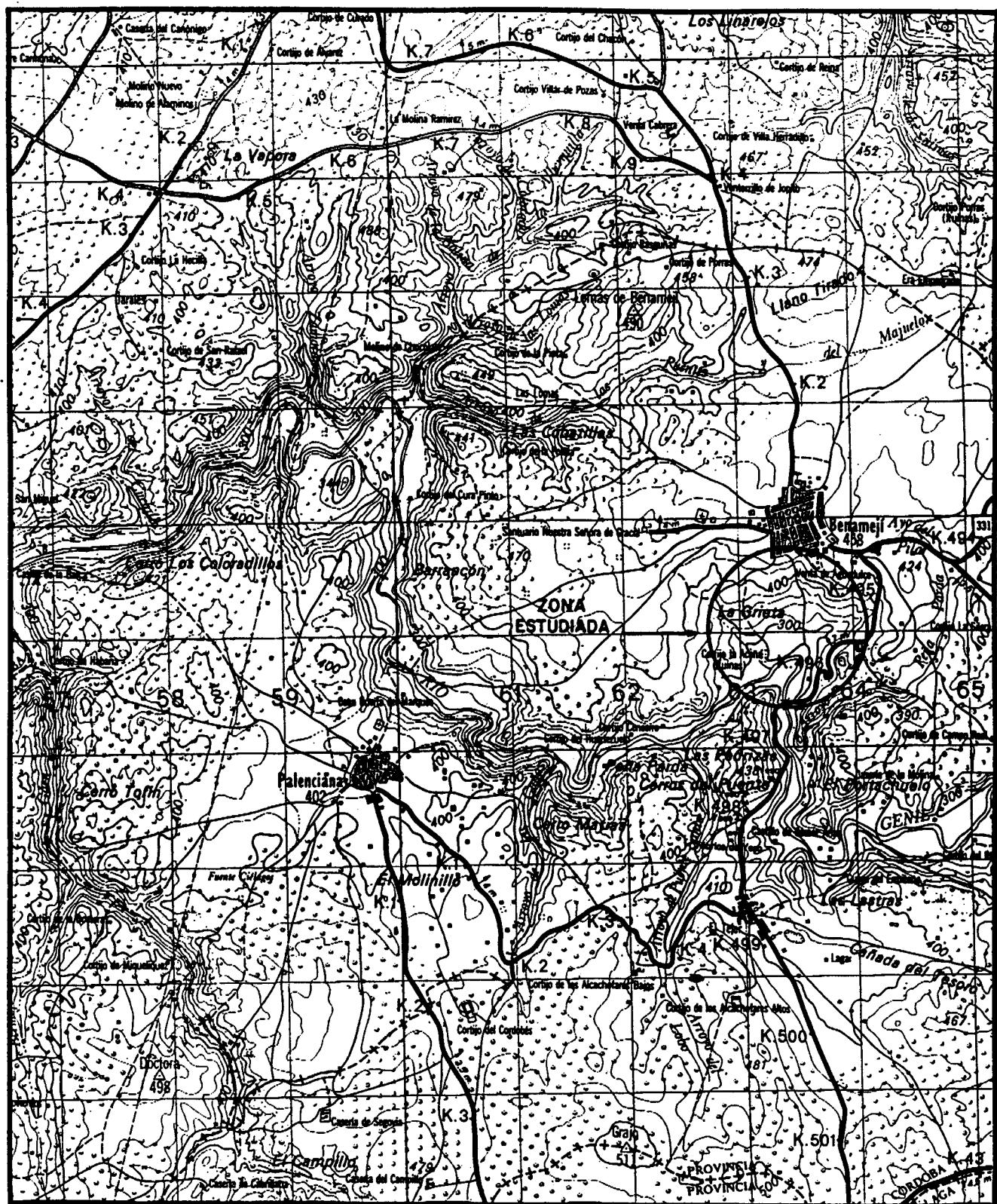
La localidad de Benamejí se encuentra en el límite Sur de la Provincia de Córdoba y linda con la de Málaga. Dista cerca de 100 km. de la capital de la Provincia y se accede por la N-331 Córdoba-Málaga. Benamejí es una población de cerca de 5.000 habitantes situada a 458 m. sobre el nivel del mar. El Casco Urbano se extiende en una superficie circular de unos 400 m. de radio. En el límite Sur del Casco Urbano aparece la zona objeto del presente estudio, denominada significativamente "La Grieta". Está constituida por una ladera de 170 m. de desnivel que desciende hasta el río Genil. La pendiente media es de 12°. El río Genil ha sido regulado y 15 km aguas arriba aparece una importante presa. (Iznajar).

La zona del Casco Urbano afectada por el deslizamiento corresponde con un escarpe semielíptico de 400 m. de largo.

L

# BENAMEJÍ

16-41  
(1006)



FUENTE : SERVICIO GEOGRAFICO DEL EJERCITO

ESCALA 1 : 50000

### 3. TRABAJOS REALIZADOS

A raíz de la visita realizada en febrero de 1990 se verificó la necesidad de realizar un estudio en profundidad de la zona inestable que requería un levantamiento topográfico de la zona inestable a escala 1:500 y la realización de sondeos. Los trabajos realizados con vistas al estudio han sido:

- reconocimiento y cartografía de la zona afectada y alrededores
- toma de medidas de dimensiones y geometría del deslizamiento
- levantamiento topográfico de la zona inestable a escala 1:500
- realización de 3 sondeos situados en cabecera y en la zona deslizada, con profundidad de 20, 32 y 25 mts.
- medición de niveles de agua periódicamente en pozos y sondeos, realización de ensayos de bombeo
- ensayos de laboratorio para identificación y caracterización geotécnica y geomecánica de los materiales implicados
- análisis del deslizamiento y estudio de la influencia de los diferentes factores involucrados.

#### 3.1. Sondeos

Se han llevado a cabo 3 sondeos mecánicos a rotación con extracción de testigo continuo, tomando muestras de testigo inalteradas e instalando en ellos tubería piezométrica. La

situación de los sondeos figura en la topografía realizada (Plano I de los Anexos).

Las profundidades alcanzadas han sido las siguientes:

SONDEO	PROFUNDIDAD
<u>nº</u>	<u>(m)</u>
1	20.00
2	32.00
3	25.00

Después de la observación detallada del testigo continuo se han preparado los correspondientes cortes litológicos de los sondeos, que figuran en los anexos.

En dichos gráficos se incluyen el tipo de perforación, capas atravesadas, espesor y características de las mismas, nivel freático, profundidad de la toma de muestras, profundidad probable de la superficie de rotura y otros datos complementarios.

### 3.2. Ensayos de laboratorio

Dentro del conjunto de trabajos encaminados a conocer las características del terreno, los ensayos de laboratorio definen los parámetros fundamentales utilizados en el análisis de estabilidad de la ladera.

Con las muestras procedentes de la investigación realizada en campo se han efectuado ensayos de identificación (límites, granulometrías, ...) y de estado (densidad, humedad, ....) que identifican los distintos tipos de suelo y describen el estado en que se encuentran las distintas fases que lo forman (sólida, líquida y gaseosa).

A partir de este conocimiento previo se han realizado ensayos mecánicos de resistencia al corte (compresión simple, corte directo lento,...) de los cuales se deducen las características geotécnicas más importantes de los materiales involucrados en la inestabilidad estudiada.

El tipo y número de ensayos realizados ha sido el siguiente:

<u>ENSAYO</u>	<u>NUMERO</u>
- Límites de Atterberg .....	19
- Granulometrías por sedimentación .....	19
- Contenido en carbonatos .....	2
- Densidad aparente y seca del suelo .....	19
- Humedad natural .....	19
- Corte directo lento .....	3
- Corte directo lento con medida de residuales	2
- Compresión Simple .....	19
- Sulfatos (Cualitativos) .....	7
- Análisis Geoquímico del agua .....	1

La totalidad de los ensayos realizados y sus resultados figura en el cuadro general de laboratorio incluido en los anexos.

#### 4. DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DEL DESLIZAMIENTO

##### 4.1. Problemática general

\* La ladera inestable está constituida desde el punto de vista geológico, por la apilación de materiales terciarios fundamentalmente arcillosos y margosos, que han deslizado desde tiempos históricos. Estos deslizamientos se han reactivado periódicamente y han ido progresando hacia el interior del Casco Urbano de Benamejí.

Se trata, en general, de deslizamientos de ladera profundos con superficies de rotura curvas.

En la reactivación del paleodeslizamiento acaecida el 17 de febrero de 1963, se produjo la rotura afectando a una franja semielíptica de unos 400 m. del Casco Urbano.

Posteriormente, esta franja fue ocupada por el vertido de numerosos escombros que "restituyeron" en gran parte la topografía existente antes de dicho movimiento. Estos escombros produjeron una sobrecarga en la cabecera del deslizamiento.

En la reactivación del movimiento ocurrida el 26 de diciembre de 1989, tras un periodo de intensas lluvias, la superficie de rotura en cabecera se instala en el contacto entre los echadizos de escombros y el terreno natural.

Al tratarse de la reactivación de un deslizamiento antiguo, la resistencia del terreno se rige por condiciones residuales.

\* Las principales dimensiones del deslizamiento (26-XII-89) son:

- Longitud zona deslizada ..... 600 m.
- Ancho en coronación ..... 325 m.
- Ancho en las proximidades del "pié" ..... 150 m.
- Escarpe de coronación ..... 7-21 m.
- Profundidad máxima de la superficie de rotura ..... 30 m.

\* Entre las variables que influyen en la estabilidad de la ladera, destacan las siguientes:

- Condicionantes geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos
- Condicionantes metereológicos
- Condicionantes antrópicos
- Condicionantes sísmicos

El hecho de que la concurrencia de varios de los factores antes citados derive en una situación de riesgo resulta de la excesiva proximidad a la zona inestable de algunas viviendas pertenecientes al Casco Urbano de Benamejí.

El conocimiento de todos estos factores permite asimismo evaluar el peligro existente y, por tanto, las medidas necesarias para evitar o corregir los posibles movimientos de

la ladera.

A continuación se describen más ampliamente cada uno de estos factores.

#### 4.2. Encuadre Geológico

En el entorno de Benamejí, afloran materiales pertenecientes a la zona subbética (Triásico, Cretácico y Terciario) y a la zona circumbética (Terciario del Flysch de Benamejí) de las Cordilleras Béticas.

El contacto entre ambas zonas está mecanizado (cabalgamiento).

A grandes rasgos, los afloramientos sobre los que se asienta la población corresponden a materiales terciarios calcareníticos o arcillosos, que se reparten irregularmente debido a la mecanización que han sufrido.

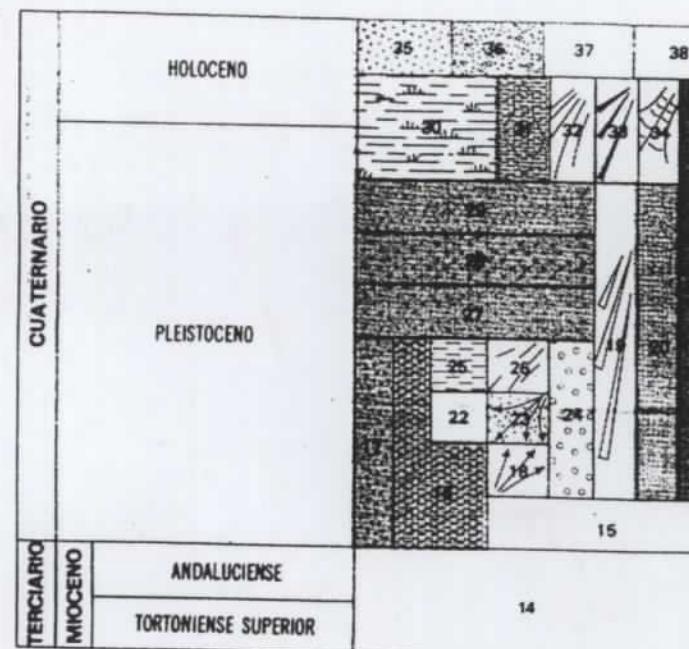
A continuación se describen más ampliamente las formaciones antes mencionadas:

##### FLYSCH DE BENAMEJI

Calcarenitas con Microcodium, conglomerados, microbrechas, calizas y margas.

CHÍLVE (1967) nos dice que estos formaciones aparecen en

LEYENDA  
FORMACIONES POSTOROGENICAS



- 38 Arenas arcillas y cantos (ALLUVIAL FONDO DE VAJAS)

37 Arenas y cantos (ALLUVIAL CANAL PRINCIPAL)

36 Fango oscuro (ZONAS DE ENCHARCamiento TEMPORAL)

35 Fango con corriente salina (FONDOS DE LAGUNAS CHAPCAS)

34 Arcillas, arenas y cantos (COLLUVION)

33 Arcillas, arenas y cantos (GLACIS)

32 Arcillas arenas y cantos (CONO ALLUVIAL)

31 Arcillas y margas con bloques (DESLIZAMIENTO)

30 Arenas, arcillas y cantos reconocidos (TERRAZA LLANURA DE INUNDACION)

29 Arenas, arcillas y cantos reconocidos (TERRAZA)

28 Arenas, arcillas y cantos reconocidos (TERRAZA)

27 Arenas, arcillas y cantos reconocidos (TERRAZA)

26 Arcillas, arenas y cantos con encostamiento (CONO ALLUVIAL)

25 Costa puyuriente, hoyaosa y masiva ("dalle") y arcillas rojas (SUPERFICIE)

24 Arenas, arcillas y cantos cementados (TERRAZA)

23 Arcillas, arenas y cantos con encostamiento (CONO ALLUVIAL)

22 Costa puyuriente, hoyaosa y masiva ("dalle") y arcillas rojas (SUPERFICIE)

21 Arcillas y arenas rojas (MATERIALES DE DESCALZACION Y RELLENO DE DEPRESIONES)

20 Arcillas, arenas y cantos con encostamiento (COLLUVIONES)

19 Arcillas, arenas y cantos con encostamiento laminar (GLACIS)

18 Cantos, arcillas y arenas con encostamiento (CONO ALLUVIAL)

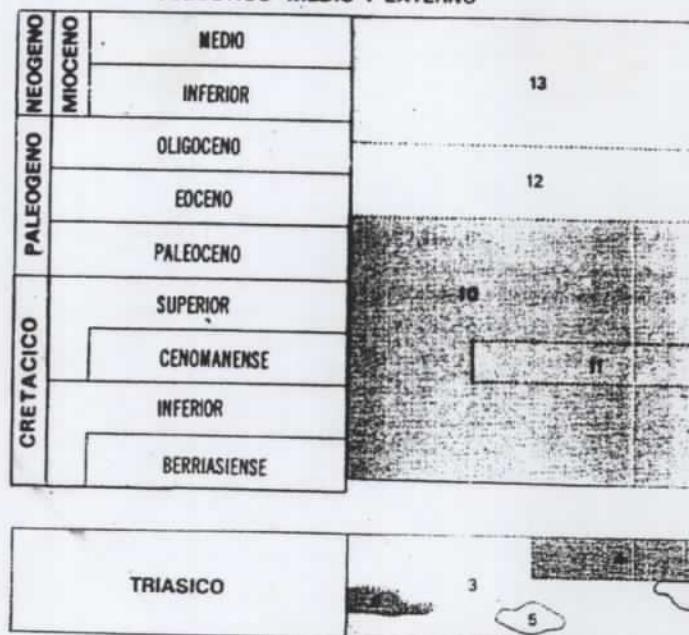
17 Conglomerados, limos y arcillas

16 Costa puyuriente hoyaosa y masiva ("dalle") con resarcimientos rojos (SUPERFICIE)

15 Costa puyuriente y masiva ("dalle") y arcillas rojas (SUPERFICIE)

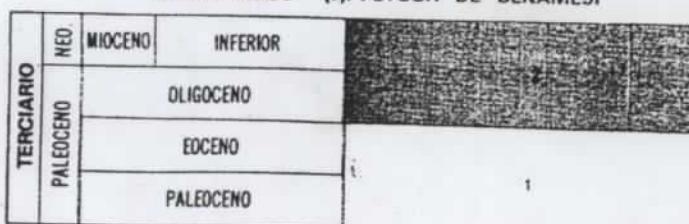
14 Arenas bioclasticas, marcas y concreciones

## ZONA SUBBETICA SUBBETICO MEDIO Y EXTERNO



- 13. Mergas y areniscas calizadas.
  - 12. Alternancia de calcarrentas y mergas.
  - 11. Mergocalizas blancas siles.
  - 10. Mergocalizas y mergas.
  - 5. Otras.
  - 4. Dolomitas, brechas dolomíticas y carnolas.
  - 3. Arcillas y mergas obscuras del norte.

ZONA CIRCUMBETICA  
NEONUMIDICO (?). FLYSCH DE BENAME



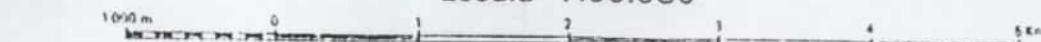
- 2 Arcillas vermicolores con calcarenitas

1 Calcarenitas con *Microcodium*, conglomerados, microbrechas, calizas y marcas

## MAPA GEOLOGICO

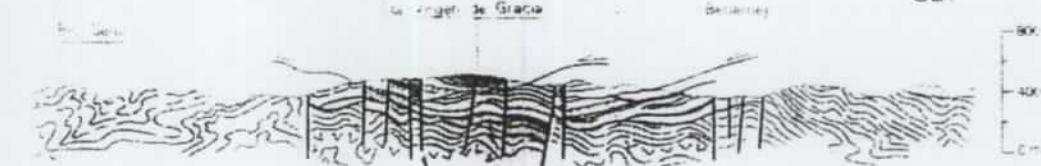


Escala 1:50.000



1-1

SE



FUENTE : I G M E (1983) HOJA 1006

La formación *flyschoide* se caracteriza por la presencia de gruesos bancos de calcarenitas con encostramientos superficiales, de color oscuro en corte fresco. Parecen alternar con niveles más o menos potentes de margas o arcillas.

Las calcarenitas, a veces muy arenosas, tienen abundantes foraminíferos fragmentados de *Lithothamnium* y sobre todo trozos de prismas de *Microcodium* orientados. Hacia la base, y próximos a los niveles arcillosos verdosos, aparecen calcarenitas con *Lepidocyclinas* y *Nummulites*, o incluso microbrechas y conglomerados con *Nummulites* PEYRE encuentra tres edades claramente diferenciadas que ajustan a los tres tipos de facies dominantes. Las calizas de *Microcodium* del Paleoceno, los conglomerados y calizas con *Nummulites* del Cuisiense inferior y calcarenitas y microbrechas con *Lepidocyclinas* del Oligoceno.

Arcillas verdosas, a veces versicolores con bloques y calcarenitas

En Benamejí, estas arcillas se apoyan mecánicamente tanto sobre la cobertura subbética, representada por margo calizas rosadas, e incluso moronitas de edad Cretácico-Terciario, como sobre margas y yesos del Triás.

PEYRE (1974) interpreta estas formaciones arcillosas de Benamejí ligadas a una unidad del Subbético distinto al

conocido en esos lugares y que denomina Unidad de Benamejí. La descripción litoestratigráfica de la unidad se basa precisamente en los afloramientos de la localidad citada.

Según PEYRE el corte estratigráfico de Benamejí muestra una "serie" de edades comprendidas entre el Cretácico inferior y el Mioceno.

Al pie de la población de Benamejí el término arcilloso presenta colores verde oliva, a veces rojizas y "engloba" bloques calcáreos *flyschoides*, propios del mismo término. Hacia techo, coincidiendo con un cambio de coloración a tonos rojizos aparecen niveles turbidíticos centimétricos, calcareníticos.

Cartográficamente hay argumentos para pensar en una superposición tectónica, puesto que los afloramientos de "arcillas verdes oliva" ocupan sucesivamente posiciones que contactan indistintamente con Trías, Cretácico y Terciario.

Es esta formación la más involucrada en el deslizamiento objeto del presente estudio, aflorando en la mayor parte de la ladera afectada.

En su desarrollo superiano, que es el que nos interesa, en el Terciario inferior, se presentan las características de "capas rojas salmón", con abundante *foraminífero marjocan*, *radiolarios*, *globigerinidos*, con *foraminíferos* porcentajes variante en taludito fino. Se observa que el espesor de la

### TRIASICO

Estos materiales afloran en las proximidades del río Genil, al Sur de la zona deslizada.

#### Arcillas y margas abigarradas, areniscas y yesos

Consta de arcillas y margas abigarradas y yesos. La aparición de areniscas es sin embargo bastante más ocasional.

Los yesos son los elementos más significativos del conjunto. Presentan también tonos abigarrados, estratificados o seudoestratificados, y un aspecto sacaroideo o espártico. También se puede detectar la presencia de sal gema.

### CRETACICO

#### Margocalizas y Margas

Al Sur de la localidad de Benamejí aflora el Cretácico Superior y los tramos más altos del Cretácico inferior, constituidos por las series con silex del Cenomanense.

El "Cretácico Superior", que con probabilidad alcanza el Terciario inferior, se presenta en la característica facies de "capas rojas salmón". Son margas y margocalizas con radiolarios, globigerinidos y con pequeños porcentajes de cuarzo en tamaño limo. Se interpreta como "de plataforma

externa.

### TERCIARIO

#### Margas arcillosas negras

Al sur del Casco Urbano, entre los materiales del Flysch de Benamejí y los materiales Cretácicos, aparecen unas margas y arcillas de color negruzco que dan lugar a promontorios en las zonas donde afloran (Cerro negro).

### CUATERNARIO

La zona estudiada constituye un paleodeslizamiento que ha sufrido múltiples reactivaciones y que ha ido progresando hacia el Casco Urbano de Benamejí. Se aprecian varias generaciones de deslizamientos. En la coronación de la zona deslizada aparecen vertidos de escombros (Cuaternario antrópico).

#### 4.3. Encuadre hidrogeológico

\* Los materiales implicados en el deslizamiento se pueden clasificar desde el punto de vista hidrogeológico en:

Acuíferos: Las calcarenitas y calizas fisuradas y los rellenos de escombros.

Acuitardos: Las arcillas limosas que engloban los niveles calcareníticos y calizos fisurados.

Acuífagos: Las margas y arcillas no limosas.

Los principales "acuíferos" están constituidos por los rellenos de escombros (Acuífero libre) y sobre todo por los bancos de calcarenita y calizas fisuradas (Acuífero confinado), que aparecen intercaladas entre las arcillas.

Los pozos situados en el Casco Urbano de Benalmádena bajan hasta encontrar los niveles acuíferos calcareníticos. Estos acuíferos son muy permeables pero poco transmisivos, ya que el espesor de estos niveles es muy reducido. Son estos niveles calcareníticos los que pueden aportar agua a la superficie de rotura del deslizamiento.

\* En los sondeos realizados se ha dejado instalada tubería piezométrica ranurada de P.V.C., para poder medir las oscilaciones de los niveles piezométricos.

El agua está confinada en los tramos calcareníticos, por lo que al ser cortados dichos tramos por los sondeos realizados en el deslizamiento, los niveles piezométricos han ascendido hasta estabilizarse a las siguientes profundidades:

SONDEO	NIVEL FREATICO	NIVEL PIEZOMETRICO
<u>nº</u>	<u>(m)</u>	<u>(m)</u>
1	8,30	4,50
2	27,00	9,00
3	11,25	8,50

Poniendo de manifiesto la existencia de presiones intersticiales actuando sobre la superficie de deslizamiento.

Es destacable el importante caudal de agua que fluye hacia el sondeo número 3, situado hacia el pie de la zona deslizada.

\* Se ha realizado un inventario de puntos de agua en base a los pozos situados en las proximidades de la cabecera del deslizamiento. Este inventario aparece en los anexos, y contempla las fluctuaciones de los niveles piezométricos para el periodo febrero-septiembre de 1990. Dichos pozos son excavados y de un diámetro aproximado de 1,00-1,50 m., con una profundidad variable entre 5,00 y 9,50 m. A la vista de dichas observaciones se desprende que los niveles se van deprimiendo de manera gradual al ir adentrándose en épocas secas. Según testimonio de los lugareños, el nivel piezométrico alcanza casi el brocal de los pozos después de épocas muy lluviosas, en momentos con alto riesgo de reactivación del deslizamiento.

En la ladera deslizada aparece vegetación hidrofita indicativa de surgencias o zonas con mayor concentración de humedad.

\* Asimismo se tiene conocimiento (informe de la Dirección Provincial de Córdoba del Ministerio de Industria y Energía con fecha 30/4/1987) de la existencia en esa época de 5 puntos de agua incluidos en los anexos:

- El número 1 es un pozo de unos 23 m. de profundidad que da unos 2.000 litros de agua al día.
- El número 2 es un manantial que da un pequeño hilo de agua.
- Los números 3 a 5 son pequeñas charcas temporales en la zona de los deslizamientos. Estas charcas se pueden formar de surgencias en la ladera del nivel acuífero de calcarenitas, o bien del agua infiltrada en los rellenos y que surge en el contacto con las arcillas impermeables del terreno natural.

\* Además de la recarga natural de los acuíferos procedente de las precipitaciones, se produce otra recarga adicional procedente de fugas de redes de alcantarillado, saneamiento o agua potable que discurren por las proximidades de "La Grieta". Estas fugas de las redes de saneamiento se confirman por el alto contenido en nitratos de la muestra de agua tomada en el sondeo 1.

Del estudio hidrogeológico de la zona se deduce que la ladera deslizada no actúa como zona drenante de los acuíferos superiores (situados en los materiales calcareníticos sobre los que se asienta el pueblo), si bien puede existir

comunicación subterránea entre ellos. Tampoco parece que las aguas de escorrentía de la explanada del pueblo viertan hacia la ladera cuando hay grandes lluvias, como prueba la red de drenaje de la zona y la existencia de una ligera pendiente en sentido contrario a la ladera.

Con la finalidad de conocer el comportamiento hidrogeológico de los materiales, se realizaron 3 ensayos de bombeo en pozos por medio de la Unidad de Protección Civil de Córdoba. Los resultados obtenidos fueron:

Nº ensayo	Prof.	Prof.nivel	Prof.nivel	Prof.nivel
	pozo	agua	agua deprimido	agua
	(m)	(m)	<u>por bombeo (m)</u>	<u>recuperado</u>
1	6.5	3.95	4.75	3.95 a 4hs
2	8.15	3.30	4.75	3.75 a 10'
3	6.70	2.65	4.15	3.25 a 10'
				3.10 a 3hs

A partir de los datos obtenidos se puede deducir una permeabilidad y transmisividad elevada en los tramos ensayados, y una capacidad de recuperación importante. No obstante, debido a la poca duración de los ensayos y a su carácter puntual, no se pueden establecer conclusiones más detalladas.

#### 4.4. Características Geotécnicas de los materiales

En el apartado 4.2. ya se han mencionado las litologías aflorantes en los alrededores de Benamejí.

La totalidad de los ensayos realizados y sus resultados, aparecen en los anexos.

A continuación incluimos los parámetros geotécnicos asignables a las 3 formaciones más directamente involucradas en el deslizamiento.

#### ARCILLAS VERSICOLORES Y CALCARENITAS

La superficie de rotura del deslizamiento se ha producido en las arcillas versicolores, como se ha deducido de los sondeos realizados y del análisis del deslizamiento. Asimismo, son estos materiales los que han deslizado y constituyen la mayor parte de la ladera afectada.

Se trata de unas arcillas limosas de alta plasticidad, con porosidades medias y con una consistencia muy variable, pero en general "firme". Se han localizado algunos tramos totalmente saturados en agua. Presentan asimismo un alto contenido en carbonatos (margosos), y su ángulo de rozamiento interno es bajo.

La resistencia obtenida corresponde a un "suelo", con parámetros resistentes muy bajos, tanto para la cohesión como para el ángulo de resistencia interna.

A estos materiales arcillosos pertenecen los siguientes parámetros geotécnicos:

- Granulometrías:

Pasa tamiz # 200 .....	65	-	99	%
Retenido en tamiz # 4 .....	0			%

- Plasticidad:

Límite Líquido .....	WL = 38	-	98	%
Límite Plástico .....	WP = 15	-	29	%
Indice de Plasticidad .....	IP = 21	-	70	%

- Densidad .....
  - Densidad seca .....
  - Humedad .....
  - Porosidad .....
  - Grado de saturación .....
  - Resistencia a compresión simple .
  - Deformación .....
  - Contenido en carbonatos .....
  - Angulo de rozamiento interno .....
  - Cohesión .....
  - Contenido de sulfatos en "suelo"...
  - Contenido de sulfatos en "agua" ..
- $\gamma = 1.88$  -  $2.10 \text{ Tn/m}^3$
- $\gamma_d = 1.47$  -  $1.77 \text{ Tn/m}^3$
- $\omega = 15$  -  $29$  %
- $n = 34$  -  $45$  %
- $Sr = 79$  -  $100$  %
- $qu = 0.59$  -  $5.23 \text{ Kg/cm}^2$
- $\epsilon = 3$  -  $13$  %
- $CO_3Ca = 52$  -  $66$  %
- $\phi = 10$  -  $15$  °
- $c = 0.50$  -  $0.65 \text{ Kg/cm}^2$
- "exento"
- $SO_4 = 1439 \text{ ppm}$

**MARGAS ARCILLOSAS NEGRAS**

Aparecen a ambos lados del deslizamiento, en la zona próxima al pie, constituyendo unos montículos que encauzan y limitan a los materiales deslizados.

Se trata de unas arcillas limosas de alta plasticidad con porosidades medias-altas, y con una consistencia elevada: de "Firme" a "Dura".

La resistencia obtenida corresponde a un "suelo", pero con parámetros resistentes superiores a los del nivel de arcillas versicolores.

A estos materiales pertenecen los siguientes parámetros geotécnicos:

- Granulometrías:

Pasa tamiz # 200 .....	91	-	99	%
Retenido en tamiz # 4 .....	0			%

- Plasticidad:

Límite Líquido .....	WL = 83	-	92	%
Límite Plástico .....	WP = 30	-	42	%
Indice de Plasticidad .....	IP = 49	-	59	%

- Densidad .....  $\delta$  = 1.90 - 1.93 Tn/m<sup>3</sup>

- Densidad seca .....  $\delta_d$  = 1.47 - 1.52 Tn/m<sup>3</sup>

- Humedad .....  $\omega$  = 25 - 29 %

- Porosidad .....  $n$  = 43 - 45 %

- Grado de saturación .....  $S_r$  = 90 - 97 %

- Resistencia a compresión simple .  $q_u$  = 1.40 - 4.24Kg/cm<sup>2</sup>

- Deformación .....  $\epsilon$  = 3 - 7 %

- Contenido en sulfatos ..... "exento"

- Cohesión (sin drenaje) .....  $C_u$  = 0.70-2.12 Kgs/cm<sup>2</sup>

### RELEÑOS ANTROPICOS

Aparecen en la coronación de la zona deslizada. Se trata de unos escombros con bloques, muy flojos, y muy poco resistentes. Presentan unos parámetros geotécnicos muy variables.

#### 4.5. Condicionantes meteorológicos

Las precipitaciones constituyen un importante factor desencadenante de inestabilidades en la ladera. El agua de lluvia, al infiltrarse en los escombros vertidos en "La Grieta", aumenta las subpresiones del terreno y produce una sobrecarga debido a su propio peso. Asimismo el agua infiltrada tanto en los rellenos como en los niveles areniscosos muy fisurados, ha circulado hasta la superficie de rotura del deslizamiento. Este agua ha actuado como lubricante de dicha superficie de rotura favoreciendo el desencadenamiento de los movimientos en la ladera (o la reactivación).

Se tienen datos de precipitaciones (ver anexos) de los años 1968. a 1989. Las precipitaciones medias mensuales del intervalo 1984-1988 son las siguientes:

Ene 78.8 Feb 73.4 Mar 34.2 Abr 49.8 May 34.8 Jun 8.2

78.8 73.4 34.2 49.8 34.8 8.2 superficies de debilidad

<u>Jul</u>	<u>Ago</u>	<u>Sep</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>	<u>Total anual</u>
0.4	9.2	10.0	50.8	72.0	36.0	457.6

La precipitación media de los meses de noviembre y diciembre es de 108 l/m<sup>2</sup> (72+36). Durante los meses de noviembre y diciembre de 1989 cayeron sobre la zona 323 l/m<sup>2</sup> (193+130), el triple que la precipitación media de ese periodo.

Estos valores indican claramente la influencia de las precipitaciones en la reactivación del deslizamiento acaecida el 26 de diciembre de 1989.

Asimismo son muy destacables las precipitaciones ocurridas durante los meses de:

- diciembre 1969 - enero 1970: 170 + 237 = 307 l/m<sup>2</sup>
- diciembre 1976 - enero 1977: 175 + 135 = 310 l/m<sup>2</sup>
- enero - febrero 1979: 130 + 169 = 289 l/m<sup>2</sup>
- enero - febrero 1987: 129 + 101 = 230 l/m<sup>2</sup>

y que posiblemente desencadenaron pequeños movimientos en la ladera deslizada.

Por todo lo anterior se puede deducir que el papel fundamental en el proceso de deslizamiento lo tiene el agua de precipitación directa sobre la ladera y aledaños, con la infiltración consiguiente hacia las superficies de debilidad o de discontinuidad de la misma y provocando la saturación de

los materiales. No obstante, ha podido también contribuir a la generación de presiones intersticiales, un aumento de caudal subterráneo como consecuencia de las precipitaciones.

#### 4.6. Condicionantes antrópicos

El vertido incontrolado de escombros y basuras en "La Grieta" ocupando la franja deslizada en febrero de 1963, ha originado una sobrecarga en la cabecera del deslizamiento. Este incremento de peso ha sido un factor de mucha importancia en el desencadenamiento de los movimientos acaecidos el 26 de diciembre de 1989.

Las sobrecargas en la cabecera de los deslizamientos perjudican de forma notable la estabilidad de la ladera, ya que modifican las condiciones de equilibrio existentes en la misma, ya de por sí muy próximas al límite de equilibrio al corresponder con una zona anteriormente deslizada.

Además se pueden considerar como sobrecargas el incremento del peso motivado por fugas de conducciones de alcantarillado o agua potable de las redes que discurren por el entorno de "La Grieta". [Este hecho se ha confirmado por la alta contaminación por Nitratos en el agua del sondeo 1].

#### 4.7. Condicionantes sísmicos

La sismicidad puede ser un factor desencadenante de grandes deslizamientos, ocasionando verdaderas catástrofes.

El factor sísmico de mayor incidencia en los movimientos de la ladera es la intensidad de la sacudida, y en menor medida, su duración.

Benamejí pertenece a una zona de sismicidad alta (Grado VIII).

La Norma Sismorresistente PDS-1/1974, establece para este grado las siguientes características:

- Velocidad ..... 12.0 cm/seg
- Aceleración ..... 150.7 cm/seg<sup>2</sup>
- Desplazamiento ..... 0.96 cm

Si se produjera un sismo de gran intensidad (>6.5 en la Escala Mercalli) podría desencadenar un gran deslizamiento que afectaría a edificaciones próximas a la cabecera del mismo.

## 5. MODELO Y SUPERFICIE DE ROTURA

Respecto a la superficie de rotura que ha funcionado durante el movimiento, se han obtenido del estudio los siguientes datos:

- es una superficie de rotura curva con gran grieta de tracción en cabecera
- la parte superior (escarpe) coincide, en algunas zonas, con la superficie del movimiento de 1963 (y por tanto se corresponde con el contacto terreno natural-escombros), aunque ha retrocedido algunos metros hacia el pueblo en algunas zonas del escarpe
- se ha detectado la posible superficie de rotura en profundidad en dos de los sondeos realizados ( a los 27 m. de profundidad en el S-2 y a los 11725 m. para el S-3); apareciendo agua a presión y coincidiendo con niveles permeables de calcarenitas, por debajo de los cuales aparecen unas arcillas duras y consistentes, básicamente diferentes de las que aparecen en los niveles superiores
- la profundidad máxima deducida para la superficie de rotura bajo la zona deslizada es de unos 28-30 m.

El proceso de deslizamiento corresponde en general a un proceso geológico natural de erosión de vertientes, que actúa

también en otros puntos de la zona y que viene afectando a la ladera sistemáticamente. Posiblemente en épocas anteriores la erosión del río influyó en el descalce de la ladera y en la aceleración de los movimientos de la misma.

La ladera está constituida por materiales blandos (fundamentalmente arcillosos), con afloramientos de materiales más duros y consistentes con contactos mecánicos. En el modelo y mecanismo de la última rotura que ha tenido lugar, estos afloramientos de materiales más duros (que dan resaltes constituyendo pequeños montículos) han jugado un papel importante, canalizando el material blando que rompe y desliza a través de un "paso" que queda entre dos de estos resaltes; a partir de ellos, y hacia el río, el material vuelve a extenderse formando las lenguas deslizadas que llegan hasta la cota del río.

Por tanto, la rotura ha tenido lugar entre el pueblo y este estrechamiento o paso, que coincide con el pie de la superficie de rotura.

A partir de la observación de cartografías y fotos aéreas se puede deducir que este proceso de erosión de ladera ha venido actuando a lo largo del tiempo, comiendo cada vez más terreno al casco urbano de Benamejí.

## 6. MEDIDAS CORRECTORAS.

Las medidas correctoras y actuaciones que se sugieren van encaminadas tanto a estabilizar el terreno actual como a prevenir y evitar futuros movimientos en la zona; se han desarrollado en base al estudio y análisis llevado a cabo, tanto del estado y características del terreno como a los factores influyentes y causas desencadenantes del deslizamiento, y pueden quedar agrupadas en los tipos:

- construcción de elementos resistentes
- modificación de la geometría de la ladera
- realización de drenajes
- impermeabilización
- seguimiento y control

Estas medidas habrán de ser realizadas en diferentes fases de actuación. Los trabajos se enfocan a cumplir con objetivos fundamentales; con la primera medida se pretende evitar que el escarpe de cabecera siga progradando hacia el casco urbano, así como evitar la generación de posibles nuevas roturas, mientras que con las otras tres actuaciones se pretende evitar que la masa de terreno deslizada descalce de nuevo la ladera y se produzcan nuevos deslizamientos.

#### 6.1. Construcción de elementos resistentes

La primera medida consistirá en la ejecución de una pantalla anclada en la cabecera del deslizamiento con el fin de evitar la progresión y avance de dicho deslizamiento hacia el Casco Urbano de Benamejí.

Para el perfecto dimensionamiento de la pantalla y de los anclajes, de manera que se empotren por debajo de la superficie de rotura del deslizamiento, será necesaria la realización previa de 10 sondeos de unos 50 m. cada uno, en los que se instalarán inclinómetros. La situación de estos sondeos aparece en el plano II de los anexos.

Una vez localizada la superficie de rotura, la pantalla se empotrará varios metros por debajo de dicha superficie. La pantalla presentará una viga de atado en coronación y un anclaje en cada panel. La excavación se realizará con una cuchara bivalba. Cada panel tendrá en planta una longitud de 0.80x3.00 m. y se distanciarán con un espaciado de 0.50 m. La profundidad de dicha pantalla se estima entre 15 y 20 m. en una primera aproximación que deberá ser confirmada por los sondeos. Se utilizará cemento sulforresistente ante el alto contenido en sulfatos del agua. La situación proyectada para esta pantalla se encuentra en el plano II de los anexos.

La pantalla será discontinua para favorecer el drenaje de los posibles acuíferos que se atraviesen. El agua así drenada circulará por una cuneta que se construirá al pie de la pantalla, y se conducirá hasta zonas alejadas del deslizamiento.

Una vez que se haya realizado el desmonte y descabezamiento de la zona deslizada (hasta una cierta profundidad), la pantalla se reforzará mediante anclajes de 150 Toneladas.

Los anclajes serán pretensados y su zona de anclaje se situará en las arcillas limosas consistentes con intercalaciones de niveles rocosos calcareníticos. Estos anclajes se tensarán inicialmente a un 50-60 % de su capacidad y durante los 2 meses siguientes a su instalación se llevará a cabo un seguimiento de los incrementos de tensión que se puedan producir por si llegaran al 100 % de su capacidad y fuera necesario reducir la carga de tensado o instalar anclajes adicionales.

#### 6.2. Modificación de la geometría del talud

El descabezamiento de la zona deslizada es una de las medidas mas efectivas en la estabilización de la ladera. Una vez realizada la pantalla de hormigón se realizará un movimiento de tierras que eliminará gran parte del material que aparece en la coronación de la zona ya deslizada. Estos materiales serán en su mayoría escombros y echadizos. Es en dicha zona

donde el peso del material contribuye más al deslizamiento y menos a la resistencia del mismo, dado que en la parte superior de la superficie de deslizamiento es donde ésta tiene su máxima inclinación. Por ello, la eliminación de relativamente escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.

La excavación mecánica se realizará a cielo abierto y los materiales extraídos se trasladarán directamente a vertedero, no como se indicó en el adelanto enviado recientemente en el que se decía que parte del material acumulado en cabecera se llevaría a la zona de pie.

El talud existente por encima de la pantalla, entre ésta y el Borde Sur del Casco Urbano de Benamejí, deberá rebajarse, desmontando hasta las grietas de tracción abiertas que aparecen en coronación. Si se pretendiera un mejor aprovechamiento de esta franja, sería factible la construcción de un muro (de tierra armada por ejemplo), que se apoyara sobre la pantalla. Esta actuación solo presenta el inconveniente del incremento de los costes de las actuaciones a realizar, y no se ha contemplado (el muro de tierra armada) en la evaluación económica estimativa que se incluye en los anexos.

### 6.3. Realización de drenajes

\* Se perforarán 5 pozos verticales de drenaje de 500 mm. de diámetro y de unos 15-20 m. de longitud., en el pie del deslizamiento, (ver plano II de los anexos). En estos pozos se instalarán bombas eléctricas sumergibles de accionamiento automático al rebasar el nivel de agua una cierta cota.

En el pozo será necesario disponer de una gruesa entubación perforada (que evite que el pozo quede seccionado si se produjera un pequeño movimiento en la ladera) y un relleno de filtro entre la entubación y el terreno.

El principal inconveniente de esta medida se refiere al elevado coste del equipo de bombeo y de la energía necesaria para su funcionamiento. Una medida que se podría adoptar es conectar los pozos con drenes horizontales perforados desde una cota inferior de la ladera (es realmente difícil acertar) consiguiendo de esta manera un desagüe por gravedad.

Este agua captada se canalizará hasta fuera de la zona deslizada.

\* Otra posibilidad consistiría en la construcción de 5 pozos drenantes estructurales profundos (15-20 m.) de gran diámetro ( $\phi=2$  m.).

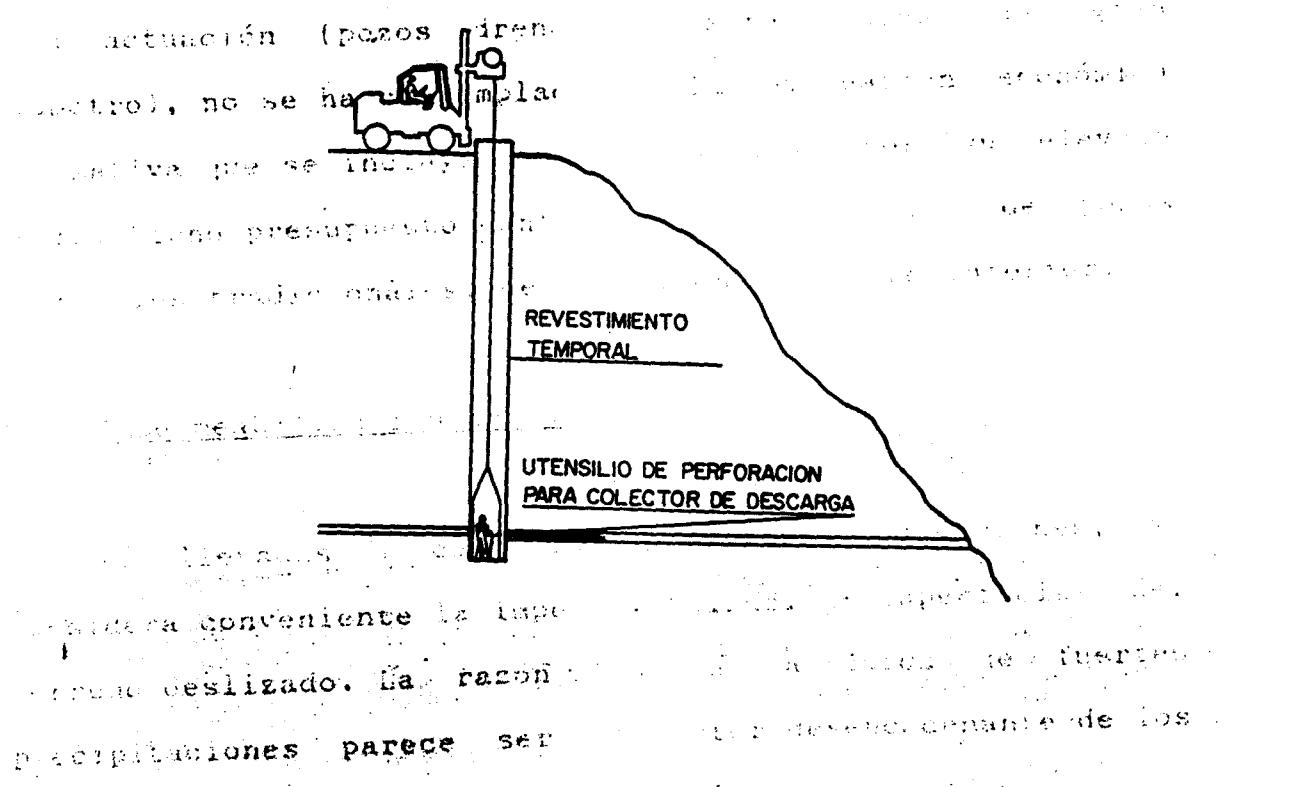
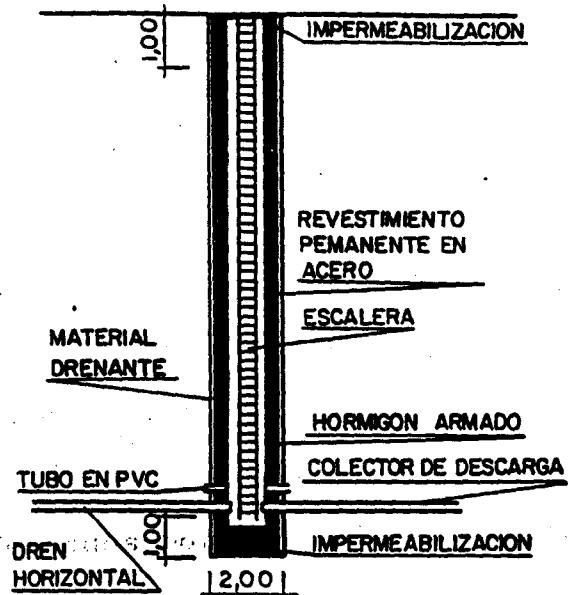


Fig. 6.31. - Pozo drenante estructural y esquema de las operaciones

Estos pozos tienen la ventaja de no presentar bomba ya que desaguan por gravedad mediante un colector de descarga situado en el fondo del pozo.

Asimismo, en el tramo inferior de los pozos, se instalarían drenes subhorizontales dispuestos radialmente lo que amplía sensiblemente el radio de acción del drenaje.

Estos pozos están formados por un anillo de hormigón armado en el espacio anular de dos tubos metálicos concéntricos (Fig. 6.3.1.). La capacidad drenante, está asegurada por la capa exterior de material drenante. Encepados situados en la cabeza de los pozos permiten también aplicar considerables fuerzas estabilizadoras a las laderas inestables.

Esta actuación (pozos drenantes estructurales de gran diámetro), no se ha contemplado en la evaluación económica estimativa que se incluye en los anexos, por su elevado costo. Dicho presupuesto contempla la realización de pozos verticales tradicionales, de coste sensiblemente inferior.

#### 6.4. Impermeabilización de la ladera

Una vez llevadas a cabo las anteriores actuaciones, se considera conveniente la impermeabilización superficial del terreno deslizado. La razón es que la caída de fuertes precipitaciones parece ser el factor desencadenante de los

movimientos registrados en la zona. Para ello se recomienda colocar sobre el terreno de la ladera modificada, una capa de geotextil impermeable, con algún material o geotextil de filtro encima, y sobre estos una capa de material arcilloso compactado de 40-50 cm. de espesor (o de algún otro material que sirva bien para evitar que entre el agua de lluvia o bien para evacuarla rápidamente ladera abajo). El agua de escorrentía deberá ser convenientemente canalizada y desviada al río. El posible problema a resolver en este caso sería el de la erosión del material depositado sobre la ladera, aspecto que quedaría solventado en gran parte mediante la hidrosiembra del talud con especies adecuadas a la zona y mediante la construcción de una serie de cordones de escollera paralelos entre sí y perpendiculares a la pendiente.

Los elevados costos para llevar a cabo la totalidad de esta actuación han conducido a incluir solo la partida del geotextil impermeable, más una capa de 0.50 m. de tierra vegetal por encima, en la evaluación económica estimativa que aparece en los anexos.

De todas formas, sería muy conveniente la realización de esta actuación en su totalidad en una fase posterior, obteniendo una restauración del entorno y reduciendo el impacto ambiental que producen el conjunto de medidas correctoras sugeridas en el presente informe.

#### 6.5. Control de seguimiento de los movimientos

La siguiente fase consistirá en un seguimiento y control de los movimientos en la ladera. Para ello se llevará a cabo un seguimiento topográfico de movimientos superficiales por lo que se instalarán pilares de referencia para el apoyo de teodolitos (bases de replanteo) y puntos fijos en el terreno (por ejemplo clavos de nivelación).

Para controlar los movimientos en el interior del terreno se realizarán 4 o 5 sondeos sobre los que se dejarán instalados inclinómetros.

Una posible ubicación aparece en el plano II de los anexos.

#### 6.6. Medidas complementarias excepcionales

Si después de la realización de las actuaciones anteriormente descritas se detectaran movimientos en la ladera o bien aparecieran nuevas grietas, sería necesaria la toma de nuevas medidas complementarias más efectivas que podrían consistir en la realización de una pantalla de pilotes en la zona próxima al "pie" del deslizamiento.

Se instalaría una pantalla de pilotes en la zona baja del deslizamiento (ver plano II de los anexos) una alineación de pilotes de gran diámetro (1.50 m.) y de una longitud

aproximada de 20-25 m. Para realizar un correcto dimensionamiento de los pilotes sería necesaria la realización de varios sondeos geotécnicos.

Los pilotes se empotrarían no menos de 5 m. en las margas arcillosas negruzcas. Se trataría de pilotes perforados de hormigón armado, con un espaciado entre pilotes de 2 diámetros (3 m.). Estos pilotes estarían unidos en superficie por una viga de atado.

El gran inconveniente de esta medida es su elevadísimo coste con relación al incremento que produce del factor de seguridad de la ladera.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

\* Los deslizamientos de ladera junto al extremo sur del casco urbano de Benamejí no son un fenómeno reciente ni aislado, y se vienen produciendo periódicamente en los últimos tiempos. La denominación del paraje deslizado ya indica la inestabilidad de la zona: "La Grieta".

Se tiene noticia de que ya en 1739 se produjo posiblemente un gran deslizamiento por el que resultaron seriamente dañadas varias edificaciones.

El 17 de febrero de 1963, tras un periodo de intensas lluvias, se produjo un gran deslizamiento que afectó a una franja semielíptica de unos 400 m. del Casco Urbano, dañando numerosas edificaciones.

Posteriormente el desnivel creado en cabecera de la ladera fue ocupado por el vertido de gran cantidad de escombros durante años que "restituyeron" en gran parte la topografía existente antes de dicho movimiento, creándose una gran plataforma con taludes de vertido hacia la ladera.

El 26 de diciembre de 1989, tras un periodo muy lluvioso, se produjo una nueva reactivación del deslizamiento, coincidiendo la superficie de rotura, a grandes rasgos, con la del movimiento de 1963, arrastrando todo el volumen de

escombros. En coronación la superficie de rotura se instala en parte en el contacto con los escombros, y en parte con el terreno natural. Se trata de un deslizamiento de ladera profundo con una superficie de rotura curva.

Las dimensiones del deslizamiento fueron:

- longitud: 600 m
- anchura en coronación: 325 m
- anchura en el pie: 150 m
- prof. escarpe de coronación: 7-21 m

\* Los factores que han condicionado e influido en la inestabilidad de la ladera a lo largo del tiempo pueden quedar agrupados en:

- Factores geológicos y características geomecánicas de los materiales
- Factores hidrogeológicos
- Condicionantes antrópicos.
- Condicionantes sísmicos.

Desde el punto de vista geológico, la ladera inestable está formada por materiales terciarios, constituidos en su mayor parte por arcillas limosas con intercalaciones calcareníticas y en ocasiones margosas, apoyadas mecánicamente sobre la cobertura subbética, y que forman parte de un conjunto

cabalgado y fracturado. Son materiales blandos con parámetros resistentes bajos y que disminuyen aún más con la presencia de agua.

Con respecto a la hidrogeología, los principales acuíferos en la zona del deslizamiento están confinados en niveles poco potentes calcareníticos, muy fisurados, actuando también como acuífero libre el relleno de escombros. Con la realización de los sondeos llevados a cabo se constató la presencia de importantes presiones intersticiales en la masa deslizada; los niveles de agua cortados en los tramos calcareníticos ascendieron varios metros en las tuberías ranuradas instaladas para su medición.

Después de épocas lluviosas, el agua se infiltra en los rellenos vertidos en coronación, produciendo una sobrecarga debida a su propio peso. Asimismo este agua circula hasta la superficie de rotura, actuando como lubricante de la misma. A partir de datos de precipitaciones se observa un incremento importante de la lluvia caída en los meses de noviembre y diciembre de 1989, triplicándose la precipitación media de otros años en ese periodo.

Al tratarse de la reactivación de un deslizamiento antiguo, los parámetros geomecánicos de las arcillas limosas de alta plasticidad se rigen por condiciones residuales, con una resistencia sensiblemente inferior a las condiciones de pico originales del terreno.

El vertido de escombros (condicionante antrópico) en la coronación ha producido una sobrecarga en la cabecera del talud, afectando muy negativamente a la estabilidad de la ladera, ya de por si próxima al límite de equilibrio al ser una zona anteriormente deslizada. Otro condicionante antrópico que hubiera podido influir son las fugas de conducciones de agua, hecho que parece confirmado por la alta contaminación por nitratos que presenta el agua analizada de uno de los sondeos.

La población de Benamejí pertenece a una zona de sismicidad alta (grado VIII). Si se produjera un sismo de gran intensidad, podría desencadenar un gran deslizamiento que afectaría a edificaciones próximas a la cabecera del talud.

\* Con respecto al movimiento registrado en diciembre de 1989, pueden ser establecidos como factores influyentes definitivos:

- morfología de la ladera, correspondiente a un escarpe en cabecera (relleno de escombros) seguido de un talud suave del material deslizado previamente
- presencia de materiales arcillosos blandos impermeables con pequeños niveles permeables a favor de los que circula el agua

- parámetros resistentes residuales en los materiales afectados (la ladera ha sufrido ya varios deslizamientos, algunos de mayor magnitud que el actualmente estudiado), con resistencia correspondiente a un suelo y valores bajos para la cohesión y el ángulo de rozamiento interno
- presencia de un gran volumen de escombros vertidos en cabecera

Sobre esta situación han actuado las fuertes precipitaciones caídas en la zona durante los dos meses previos a la rotura: 323 l/m<sup>2</sup>, más del triple de la precipitación media de la zona en ese mismo periodo de tiempo.

A parte del agua que subterráneamente pudiera haberse desviado hacia la ladera, todo el material antrópico de cabecera (muy permeable) se vió sometido a saturación, con el consiguiente aumento de peso (y disminución de la resistencia) sobre la parte más baja de la ladera.

La saturación de los materiales arcillosos que conformaban la antigua ladera deslizada, y el aumento de tensiones a que se vió sometida en su zona de pie, provocaron su pérdida de resistencia y el desencadenamiento repentino del deslizamiento.

Cabe hacer especial hincapié en el papel de las precipitaciones. Al tratarse de materiales impermeables, se

puede suponer una circulación de agua restringida a los niveles calcareníticos. Asimismo, del estudio hidrogeológico de la zona se deduce que la ladera deslizada no actúa como zona drenante de los acuíferos superiores (situados en los materiales sobre los que se asienta el pueblo), si bien puede existir comunicación subterránea entre ellos. Tampoco parece que las aguas de escorrentía de la explanada del pueblo viertan hacia la ladera cuando hay grandes lluvias, como prueba la red de drenaje de la zona y la existencia de una ligera pendiente en sentido contrario a la ladera.

Por todo lo anterior se puede deducir que el papel fundamental en el proceso de deslizamiento lo tiene el agua de precipitación directa sobre la ladera y aledaños, con la infiltración consiguiente hacia las superficies de debilidad o de discontinuidad de la misma y provocando la saturación de los materiales. No obstante, ha podido también contribuir, a la generación de presiones intersticiales, un aumento de caudal subterráneo como consecuencia de las precipitaciones.

\* Respecto a la superficie de rotura que ha funcionado durante el movimiento, se han obtenido del estudio los siguientes datos:

• es una superficie de rotura curva con gran grieta de tracción en cabecera

- la parte superior (escarpe) coincide, en algunas zonas, con la superficie del movimiento de 1963 (y por tanto se corresponde con el contacto terreno natural-escombros), aunque ha retrocedido algunos metros hacia el pueblo en algunas zonas del escarpe
- se ha detectado la posible superficie de rotura en profundidad en dos de los sondeos realizados, apareciendo agua a presión y coincidiendo con niveles permeables de calcarenitas, por debajo de los cuales aparecen unas arcillas duras y consistentes, básicamente diferentes de las que aparecen en los niveles superiores
- la profundidad máxima deducida para la superficie de rotura bajo la zona deslizada es de unos 28-30 m.

El proceso de deslizamiento corresponde en general a un proceso geológico natural de erosión de vertientes, que actúa también en otros puntos de la zona y que viene afectando a la ladera sistemáticamente. Posiblemente en épocas anteriores la erosión del río influyó en el descalce de la ladera y en la aceleración de los movimientos de la misma.

La ladera está constituida por materiales blandos (fundamentalmente arcillosos), con afloramientos de materiales más duros y consistentes con contactos mecánicos. En el modelo y mecanismo de la última rotura que ha tenido lugar, estos afloramientos de materiales más duros (que dan resaltes

constituyendo pequeños montículos) han jugado un papel importante, canalizando el material blando que rompe y desliza a través de un "paso" que queda entre dos de estos resalte; a partir de ellos, y hacia el río, el material vuelve a extenderse formando las lenguas deslizadas que llegan hasta la cota del río.

Por tanto, la rotura ha tenido lugar entre el pueblo y este estrechamiento o paso, que coincide con el pie de la superficie de rotura.

A partir de la observación de cartografías y fotos aéreas se puede deducir que este proceso de erosión de ladera ha venido actuando a lo largo del tiempo, comiendo cada vez más terreno al casco urbano de Benamejí.

\* Las medidas correctoras y actuaciones que se sugieren van encaminadas tanto a estabilizar el terreno actual como a prevenir y evitar futuros movimientos en la zona; se han desarrollado en base al estudio y análisis llevado a cabo, tanto del estado y características del terreno como a los factores influyentes y causas desencadenantes del deslizamiento, y pueden quedar agrupadas en los tipos:

- construcción de elementos resistentes
- modificación de la geometría de la ladera
- realización de drenajes

- impermeabilización
- seguimiento y control

Estas medidas habrán de ser realizadas en diferentes fases de actuación. Los trabajos se enfocan con dos objetivos fundamentales; con la primera medida se pretende evitar que el escarpe de cabecera siga progradando hacia el casco urbano, así como evitar la generación de posibles nuevas roturas, mientras que con las otras tres actuaciones se pretende evitar que la masa de terreno deslizada descalce de nuevo la ladera y se produzcan nuevos deslizamientos.

#### Construcción de elementos resistentes

La primera labor consistiría en la realización de una serie de sondeos (al menos 10), de unos 50 m. de profundidad cada uno, a pie del escarpe o grieta de cabecera y a lo largo de la misma cubriendo toda su longitud. En estos sondeos se instalarán inclinómetros para detectar la magnitud y situación de los posibles movimientos de esta zona. Una vez detectadas estas posibles superficies de rotura (si es que se produce algún movimiento en este área), se podrá diseñar correctamente una pantalla o muro anclado que se empotraría varios metros por debajo de las posibles superficies de movimiento. Esta pantalla protegería al casco urbano de la aparición de nuevas grietas o superficies de rotura y del retroceso del escarpe.

#### Modificación de la geometría del talud

Es el primero de los trabajos destinados a estabilizar la zona ya deslizada. Consistirá en el descabezamiento o eliminación del material existente en la coronación de la zona deslizada, en su mayor parte escombros y echadizos.

La excavación mecánica se realizará a cielo abierto y los materiales se trasladarán directamente a vertedero.

El talud resultante por encima de la pantalla, entre ésta y el borde Sur del Casco Urbano de Benamejí, deberá rebajarse, desmontando hasta las grietas de tracción abiertas que aparecen en coronación. Si se pretendiera un mejor aprovechamiento de esta franja, sería factible la construcción de un muro (por ejemplo de tierra armada), que se apoyarán sobre la pantalla. Este muro no ha sido contemplado en la evaluación económica estimativa que se ha realizado, y podrá construirse en una fase de actuación futura.

#### Construcción de sistemas drenantes

Con respecto a las medidas correctoras por drenaje, su finalidad es mantener lo más seca posible toda la masa deslizada, para lo que se recomienda como más efectiva la construcción de una serie de pozos (unos 5), con un diámetro de unos 500 mm. situados hacia la zona de pie y una vez

realizada la labor de suavizado de la ladera. En los pozos se colocarían gruesas entubaciones ranuradas de menor diámetro, y el espacio entre éstas y el terreno natural se rellenará con material de filtro (gravas). El sistema de evacuación del agua de los pozos se podrá realizar mediante bombas eléctricas sumergibles o mediante la construcción de una serie de sondeos horizontales que conecten a los pozos con el exterior de la ladera, desde donde se canalizará y evacuará el agua.

Otra solución alternativa a los pozos convencionales, sería la construcción de 5 pozos drenantes estructurales de gran diámetro (2 m.). En el fondo de los pozos se dispondrían radialmente drenes subhorizontales. El agua captada desaguaría por gravedad mediante un colector de descarga. Esta medida (pozos drenantes estructurales) no se ha contemplado en la evaluación económica estimativa por su elevado costo; si se han incluido los pozos verticales de drenaje convencionales.

#### Impermeabilización de la ladera

Una vez llevadas a cabo las anteriores actuaciones, se considera conveniente la impermeabilización superficial del terreno deslizado. La razón es que la caída de fuertes precipitaciones parece ser el factor desencadenante de los movimientos registrados en la zona. Para ello se recomienda colocar sobre el terreno de la ladera modificada una capa de

geotextil impermeable, con algún material o geotextil de filtro encima, y sobre estos una capa de material arcilloso compactado de 40-50 cm. de espesor (o de algún otro material que sirva bien para evitar que entre el agua de lluvia o bien para evacuarla rápidamente ladera abajo). El agua de escorrentía deberá ser convenientemente canalizada y desviada al río. El posible problema a resolver en este caso sería el de la erosión del material depositado sobre la ladera, aspecto que quedaría solventado en gran parte mediante la hidrosiembra del talud con especies adecuadas a la zona y mediante la construcción de una serie de cordones de escollera paralelos entre sí y perpendiculares a la pendiente. En la evaluación económica estimativa se ha incluido tan solo la colocación de un geotextil impermeable, y una capa de tierra vegetal que se dispondrá por encima. De todas formas sería muy conveniente la realización de esta actuación en su totalidad en una fase posterior.

#### Seguimiento y control

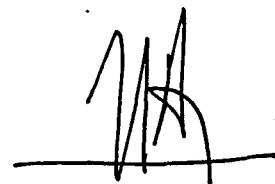
Con las actuaciones propuestas anteriormente aumentará sensiblemente el factor de seguridad de la ladera. La siguiente fase consistirá en el seguimiento y control de la misma, para conocer la posible existencia de movimientos. Para ello se llevará a cabo un seguimiento topográfico de movimientos superficiales, para lo que se instalarán pilares de referencia para el apoyo de teodolitos (bases de replanteo) y puntos fijos en el terreno (por ejemplo clavos

de nivelación). Para controlar los movimientos en el interior del terreno, se realizarán 4 ó 5 sondeos en los que se dejarán instalados inclinómetros.

El coste estimativo de las actuaciones anteriormente descritas, se cifra en torno a 320 millones de pesetas.

Si tras la realización de las actuaciones propuestas se detectaran movimientos en la ladera o bien aparecieran nuevas grietas en el casco urbano, sería necesaria la toma de nuevas medidas complementarias excepcionales para conseguir la estabilización. Estas medidas podrían consistir en la ejecución de una pantalla de pilotes de gran diámetro en las proximidades del pie del deslizamiento. El coste de estas medidas excepcionales se calcula en torno a 85 millones de pesetas.

Solamente con la realización conjunta de las actuaciones antes descritas se podrá garantizar la estabilización definitiva de la ladera que precisa de medidas muy urgentes y evitar así la progresión del deslizamiento hacia el Casco Urbano de Benamejí. Este avance de la inestabilidad podría producirse en un periodo de tiempo no muy lejano, al continuar en la actualidad los movimientos en la ladera.



Fdo. Francisco J. Ayala Carcedo

Dr. Ing. de Minas

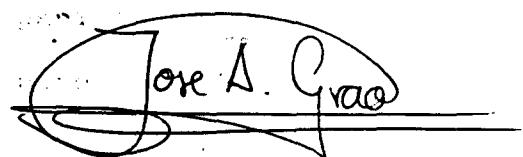
Jefe del Área de Ingeniería

Geoambiental (I.T.G.E.)



Fdo. Mercedes Ferrer Gijón

Dra. en CC. Geológicas



Fdo. JOSE A. GRAO DEL PUEYO

Ldo. en C.C. Geológicas

### BIBLIOGRAFIA

- \* BIANCO, B (1989): "Pozos drenantes profundos para la estabilización de deslizamientos" Simposio sobre: El agua en las infraestructuras viarias. Málaga.
- \* CANMET, (Canadá Centre for Mineral and Energy Technology) (1977): "Pit Slope Manual". Minister of Supply and Services. Canadá.
- \* DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS DEL M.O.P.U. (1982): "Instrucción de Carreteras 51-IC. Drenaje". M.O.P.U.
- \* ENDERLI, M et al (1977): "Estabilización de un deslizamiento mediante anclajes". IX Congreso Internacional de Mecánica del Suelo y Cimentaciones. Tokio.
- \* FARACO MUÑOZ, C. (1982): "Anclajes: ejecución, puesta en carga y ensayos" Bol. Inf. Lab. Carret. y Geot., nº 151.
- \* GRAU, J.I. (1987): "Los pilotes pasivos en estabilización de taludes" Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones. Nº 87.
- \* HUNT, R.E. (1984): "Geotechnical Engineering Investigation Manual". McGraw Hill, New York.

- \* I.G.M.E. (1987): "Manual de taludes". Madrid.
- \* I.G.M.E. (1986): "Mapa Geológico de España. Serie Magna; Hoja 1006: Benameji". Escala 1.50.000. Ministerio de Industria y Energia. Madrid.
- \* JIMENEZ SALAS, J.A. y otros (1976-1980): "Geotécnia y Cimientos", tomos II y III. Editorial Rueda, Madrid.
- \* LENGLER, J. (1976). "Appareils et méthodes de surveillance des glissements de terrain". Bull. Liais. Lab. Ponts et Ch.
- \* MORGENTHORN, N.R. (1982): "The analysis of wall supports to stabilize slopes"; Application of Walls to Landslide Control Problems. A.S.C.E. National Convention. Las Vegas.
- \* RAT, M. (1976): "Drainages". Bull. Liais. Lab. Ponts et Ch.
- \* RODRIGUEZ ORTIZ, J.M. et al. (1984): "Slope stabilization in weathered schists and shales by excavation, piles and drainage". IV Int. Symp. Landslides, Toronto.
- \* SCHNEEBELI, G. (1974): "Muros Pantalla. Técnicas de Realización, Métodos de Cálculo". Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona.
- \* TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1978): "Landslides, Analysis and Control". National Academy of Sciences. Washington D.C.

\* ZARUBA, Q., y MENCL, V. (1982): "Landslides and their control". Developments in Geotechnical Engineering, vol. 31. Elsevier Scientific Publishing Company. Praga.

ONE EIGHT

## ANEXO I: Corte litológico de los sondeos

	Plano n.º 1526/01
CLIENTE: BENAMEJI (CORDOBA)	Verificado
	Dibujado
DESIGNACION	Sondeo n.º Escala
CORTE DEL SONDEO	1 1:100



Piano  
n.º 1526/02B

CLIENTE : BENAMEJI (CORDOBA)

**Verificado**

**Dibujado**

**DESIGNACION**

Sondeo n° Escala

THE JOURNAL OF CLIMATE

2 | 1:100

## CORTE DEL SONDEO

CLIENTE : BENAMEJI (CORDOBA)								Plano n.º 1526/03A		
DESIGNACION CORTE DEL SONDEO.								Verificado	Dibujado	
TIPO PERFORAC.	GEOLOGIA	U.S.C.S.	ALTITUD m.	PROFUND m.	ESPIR CAPAS	NIVEL FREATIC MUESTRAS	CORTE	ENSAYO STANDARD	DESCRIPCION	
ROTACION 101 mm				0,00						
				0,80	0,80				0,00-0,80 m Arcilla limosa marrón-rojiza y verdosa	
				2,00	1,20				0,80-2,00 m Arenisca fisurada.	
				5,30	3,30	MTP			2,00-5,30 m Arcilla limosa marrón y verdosa.	
				6,20	0,90				5,30-6,20 m Arenisca muy fisurada sin agua.	
				11,25	4,05	MTP			6,20-11,25 m Arcilla limosa marrón y verdosa.	
				12,25	1,00	NF			11,25-12,25 m Areniscas muy fisuradas con abundante agua y con niveles arcillosos.	
				17,00	4,75	MTP			12,25-17,00 m Arcilla limosa marrón y verdosa con niveles de arenas de 12,90 a 13,50 m.	
									17,00-25,00 m Margas arcillosas negruzcas muy duras.	

Plano  
n.º 1526/03B

Verificado

Dibujado

Sondeo n.º

Escala

3 1:100

CLIENTE: BENAMEJI (CORDOBA)

DESIGNACION

## CORTE DEL SONDEO

TIPO PERFORAC.	GEOLOGIA	U.S.C.S	ALTITUD m.	PROFUND m. 0,00	ESPESOR CAPAS	NIVEL FREATICO MUESTRAS	CORTE	ENSAYO STANDARD	DESCRIPCION	
									MTP	
				25,00	8,00					

MTP MUESTRA DE TESTIGO PARAFINADA

SUPERFICIE DE ROTURA PROBABLE A 11,00 m

NIVEL FREATICO A 11,25 m. muy abundante.

## ANEXO II: Planos y perfiles

PERFIL GEOLOGICO A-A'

GRIETA  
TRACCION

S-2

S-3

SUPERFICIE DE ROTURA PROBABLE

CABALGAMIENTO

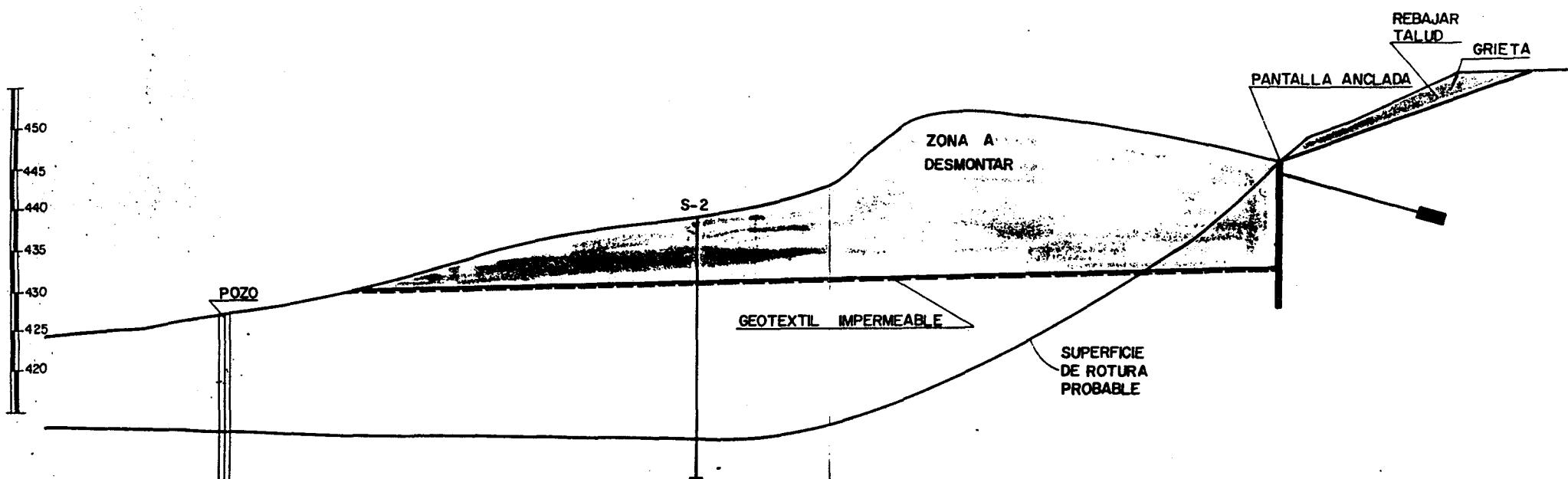
LEYENDA



ESCALA 1/500

(al 70%) Pederación

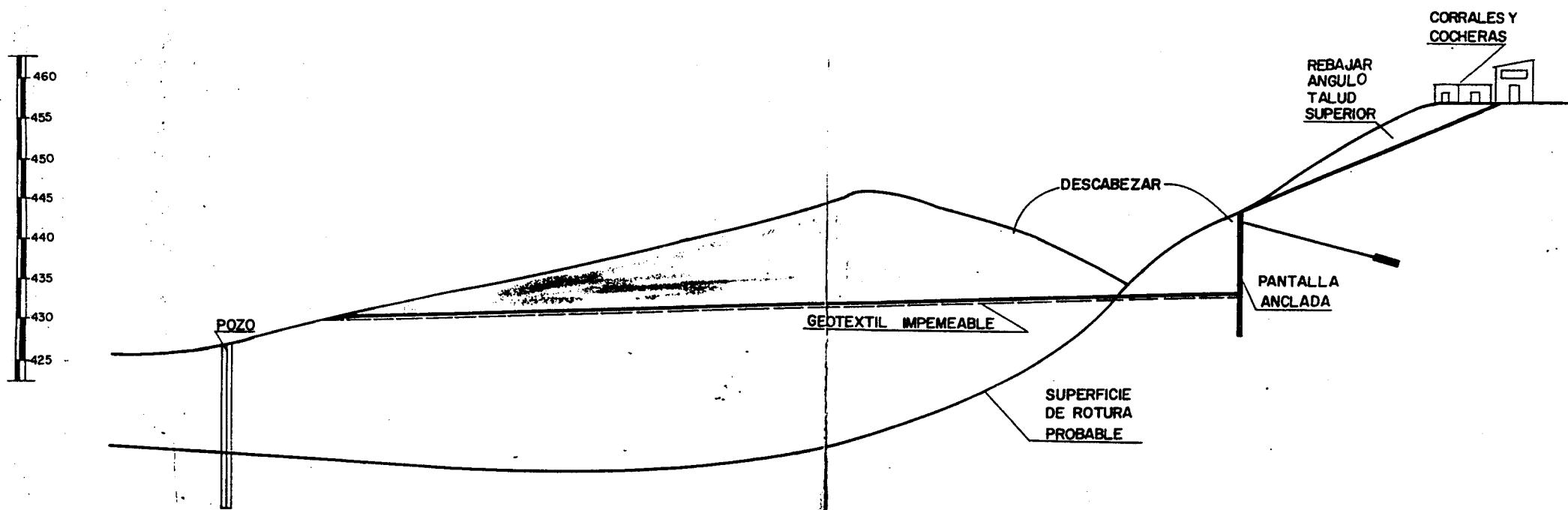
PERFIL A-A'



ESCALA 1/500

(al 70%)

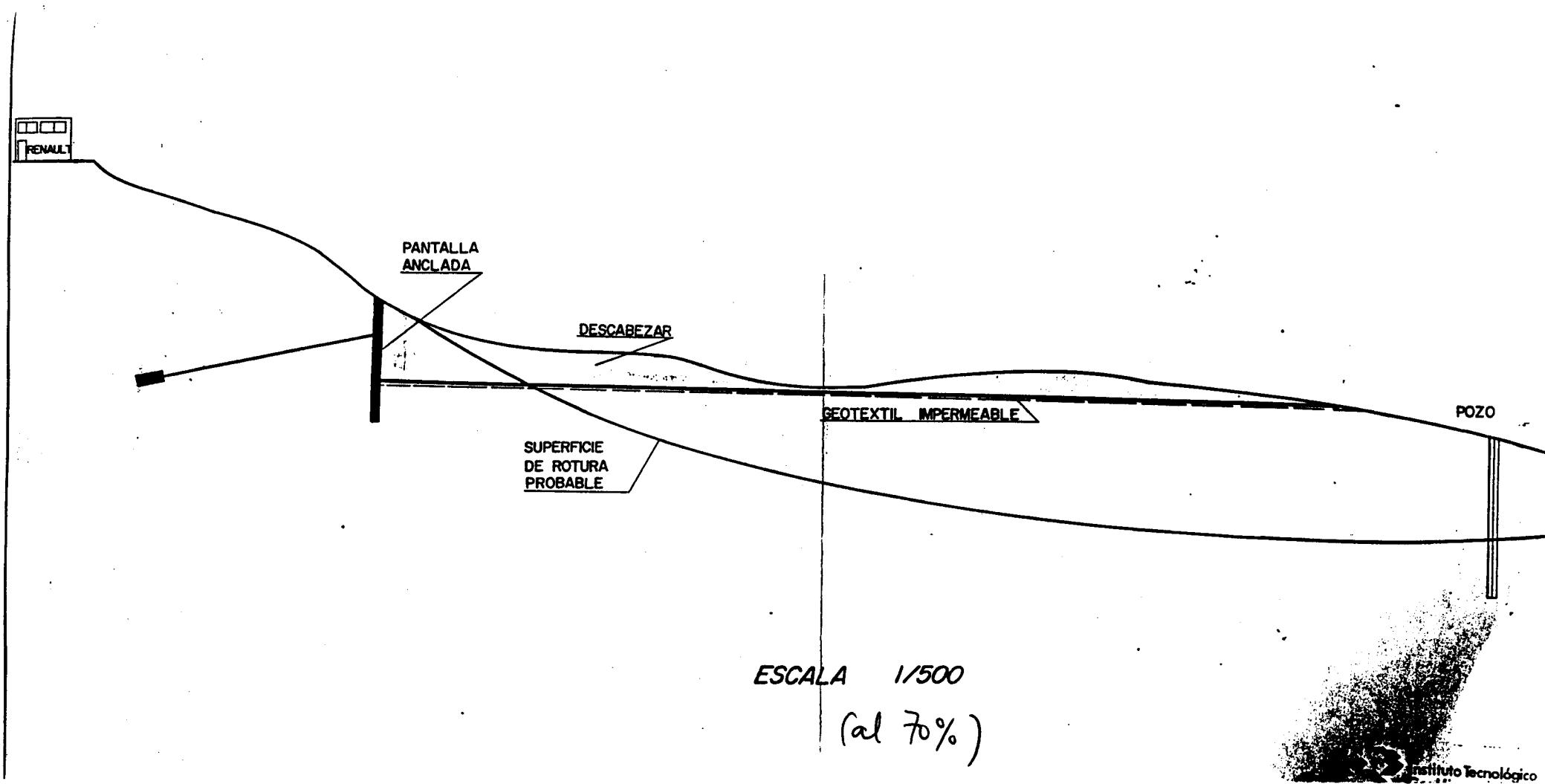
PERFIL B-B'



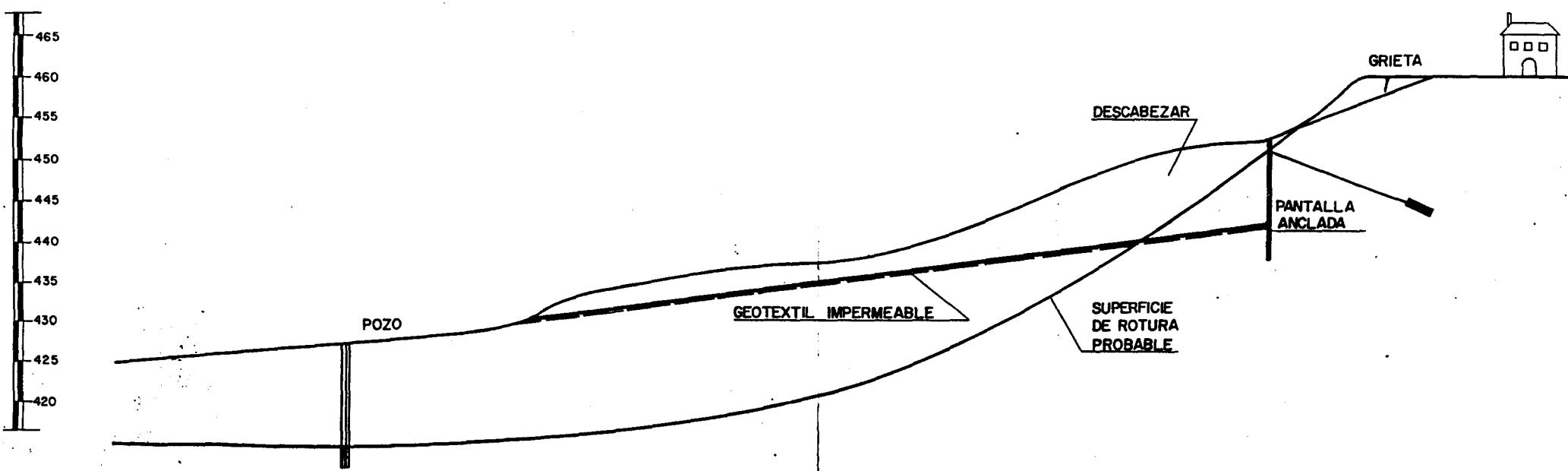
ESCALA 1/500

(al 70%)

PERFIL C-C'



PERFIL D-D'



ESCALA 1/500

(al 70%)

## ANEXO III: Ensayos de laboratorio

EXCEPCIONAL

CLIENTE: BENAMEJI (CORDOBA)

Verificado

Dibujado

## CUADRO GENERAL DE ENSAYOS DE LABORATORIO

SONDEO Nº	1	1	1	1	1	1					
MUESTRA Nº											
PROFUNDIDAD m	3,00	6,00	9,00	12,00	15,00	18,00					
	3,25	6,30	9,30	12,25	15,30	18,30					
U.S.C.S.											
w (%)	28,1	27,9	27,9	24,5	29,2	22,7					
C (t/m³)	1,88	1,97	1,90	2,01	1,89	1,95					
Jc (t/m³)	1,47	1,54	1,49	1,61	1,47	1,59					
γs (t/m³)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70					
wL (%)	88,1	90,5	98,2	98,2	80,6	82,9					
wp (%)	22,7	29,5	27,5	26,5	26,4	23,2					
Ip (%)	65,4	61,-	70,7	62,7	54,2	59,7					
pasos T-200 (%)	93,6 (1)	98,7 (1)	97,4 (1)	98,7 (1)	97,6 (1)	98 (1)					
retenido T-4 (%)	0	0	0	0	0	0					
Ce											
q <sub>u</sub> (kg/cm²)	2,41	3,71	1.33	3,86	0,59	1,18					
E (%)	6	7	4	7	5	8					
c (kg/cm²)				0,50							
φ (%)				15							
Ph (kg/cm²)											
E <sub>r</sub> (%)											
N (%)	45	43	44	40	45	41					
SR (%)	92	99	95	99	96	88					
INDICE CBR (f/máx. ocf)											
INDICE CBR (100% f/máx)											
Mat. org. (%)											
SC <sub>3</sub> (%)	EXENTO		EXENTO		EXENTO						
CC <sub>3</sub> C <sub>2</sub> (%)											
R (cm/seg)											

CLIENTE: BENAMEJI (CORDOBA)

### Verificado

## Dibujado

## CUADRO GENERAL DE ENSAYOS DE LABORATORIO

CLIENTE: BENAMEJI (CORDOBA)

**Verificado**

## Dibujado

## CUADRO GENERAL DE ENSAYOS DE LABORATORIO

## GEOMECHANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : SONDEO 1

FECHA DE MUESTREO :

PETICIONARIO : GEONOC

FECHA DE ANALISIS : 08-02-91

DENOMINACION : BENAHAFI (CORDOBA)

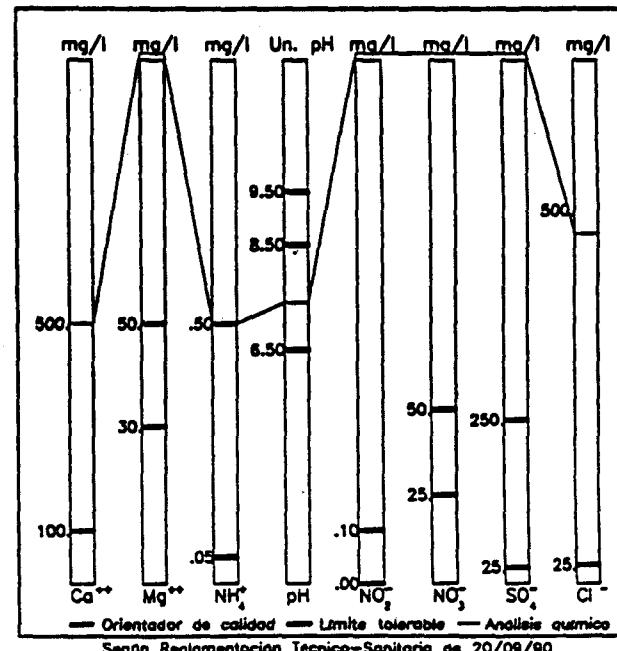
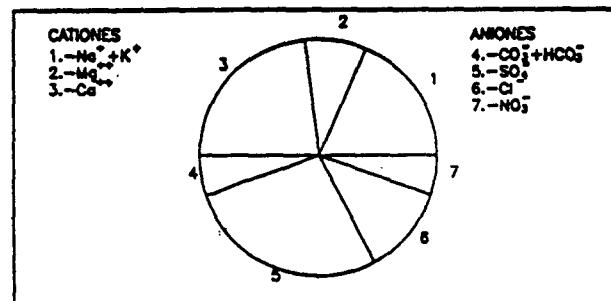
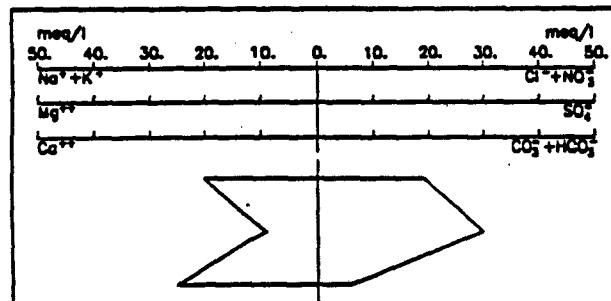
## HOJA DE ANALISIS

## RESULTADOS ANALITICOS :

CATIONES	mg/l	meq/l	ANIONES	mg/l	meq/l
Litio Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1439.00	29.93
Sodio Na <sup>+</sup>	320.00	13.92	Cloruros Cl <sup>-</sup>	469.00	13.23
Potasio K <sup>+</sup>	240.00	6.14	Carbonatos CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	.00	.00
Calcio Ca <sup>++</sup>	500.00	25.00	Bicarbonatos HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	361.00	5.92
Magnesio Mg <sup>++</sup>	110.00	9.09	Nitratos NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	366.00	5.89
Amonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.50	.03	Nitritos NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.04	.02

## ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	4220.	Cl/Na	.95	Mg/Ca	.36
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	1704.30	Cl/(Na+K)	.66	Na/Ca	.56
pH	7.40	Cl/SO <sub>4</sub>	.44	Na/K	2.27
Residuo seco calc. (ppm)	2221.05	(CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )/Ca	.24	SO <sub>4</sub> /Ca	1.20
Error analitico (%)	1.49	(CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )/(Ca+Mg)	.17	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.88



## OTRAS DETERMINACIONES :

## ANEXO IV: Informes anteriores y documentacion

## CORRIMIENTO DE TIERRAS

### BEÑAMEJI

#### NIVELACIONES

OBJETO Observación de la estabilidad de la parte del pueblo afectada por el corrimiento de tierras masivo que destruyó numerosas viviendas.

PETICION Fechada en 5 de Mayo de 1969 para realizar cuatro nivelingaciones.

VISITAS Hemos realizado visitas de observación del corrimiento en Abril 1968, Abril, Julio, Octubre y Diciembre de 1969. Las nivelingaciones se han efectuado en Julio de 1969 y Febrero de 1970.

DATOS SOBRE LOS SUELOS Se acompañan datos de análisis físicos, químicos y mineralógicos de muestras de suelos tomadas en el corrimiento.

NIVELACIONES Se acompañan los datos obtenidos en las dos nivelingaciones efectuadas, situación de los 17 puntos y fotografías de estos puntos.

PROGRAMA En lugar de efectuar las 4 nivelingaciones en un año creemos más conveniente realizarlas en un plazo de dos años.

COMENTARIOS Las nivelingaciones se han realizado con la adecuada precisión. En la primera (Julio 1969) se cerró con un error de 1 mm y en la segunda (Febrero 1970) con un error de 14 mm.

Se observan diferencias en mas o en menos en algunos de los puntos. Esto puede ser debido en algunos casos a errores en la colocación de la mira.

Aquellos puntos que han descendido de una manera significativa son el 7 y el 11

- Punto 7 descenso de 38.9 cm (calle S. Rafael)
- Punto 11 descenso de 4.7 cm (calle Rio)

Esto demuestra que el corrimiento está todavía en activo.

~~INFORME 18/5/69~~ según convenido al terminar las otras dos nivelingaciones.



VISADO

Madrid 18 de Mayo de 1970

Manuel Mateos  
ingeniero de Caminos, M. S., Ph. D.

Manuel Mateos  
Ingeniero de Caminos, M. S., Ph. D.

NIVELACIONES DE LOS 17 PUNTOS SELECCIONADOS

<u>Punto</u>	<u>Julio 1969</u>	<u>Febrero 1970</u>	<u>Diferencia</u>
1	99.859 mm	99.859 mm	0 mm
2	99.152	99.159	+ 7
3	98.022	98.039	+ 17
4	99.274	99.309	+ 35
5	99.343	99.856	+ 13
6	100.211	100.228	+ 17
7	100.439	100.050	- 389
8	101.085	101.093	+ 8
9	103.890	103.881	- 9
10	99.892	99.891	- 1
11	100.912	100.865	- 47.
12	102.525	102.556	+ 31
13	102.855	102.855	+ 20
14	103.467	103.494	+ 27
15	102.923	102.955	+ 32
16	99.106	99.135	+ 29
17	98.889	98.919	+ 30
1	99.838	99.853	—

BENAMEJI

TERCERA MEDICION DE NIVELACIONES EN LOS TERRENOS  
AFECTADOS POR EL CORRIMIENTO DE TIERRAS EN ACTIVO

Punto 1	99,839
2	98,159
3	98,039
4	99,305
5 N	99,590 punto antiguo desaparecido
6 N	99,842 punto antiguo desaparecido
7 N	100,550 punto antiguo desaparecido
8	101,071
9 N	103,900 punto antiguo desaparecido
10	99,870
11	100,836
12	102,551
13	102,844
14 N	103,533
15	102,953
16	99,129
17	98,912
1	99,842 cierre

Comparando estas nivelingaciones con las anteriores se puede observar que los puntos 5, 6, 7, 9 y 14 han desaparecido. Las casas donde estaban los puntos 5 y 6 se demolieron porque estaban ruinosas. La losa donde estaba el punto 7 ha desaparecido por hundimiento y por verter escombros después encima, según creemos. El punto 9 estaba sobre una piedra plana que ha desaparecido. El punto 14 no está por haber allí una acera de mortero de cemento.

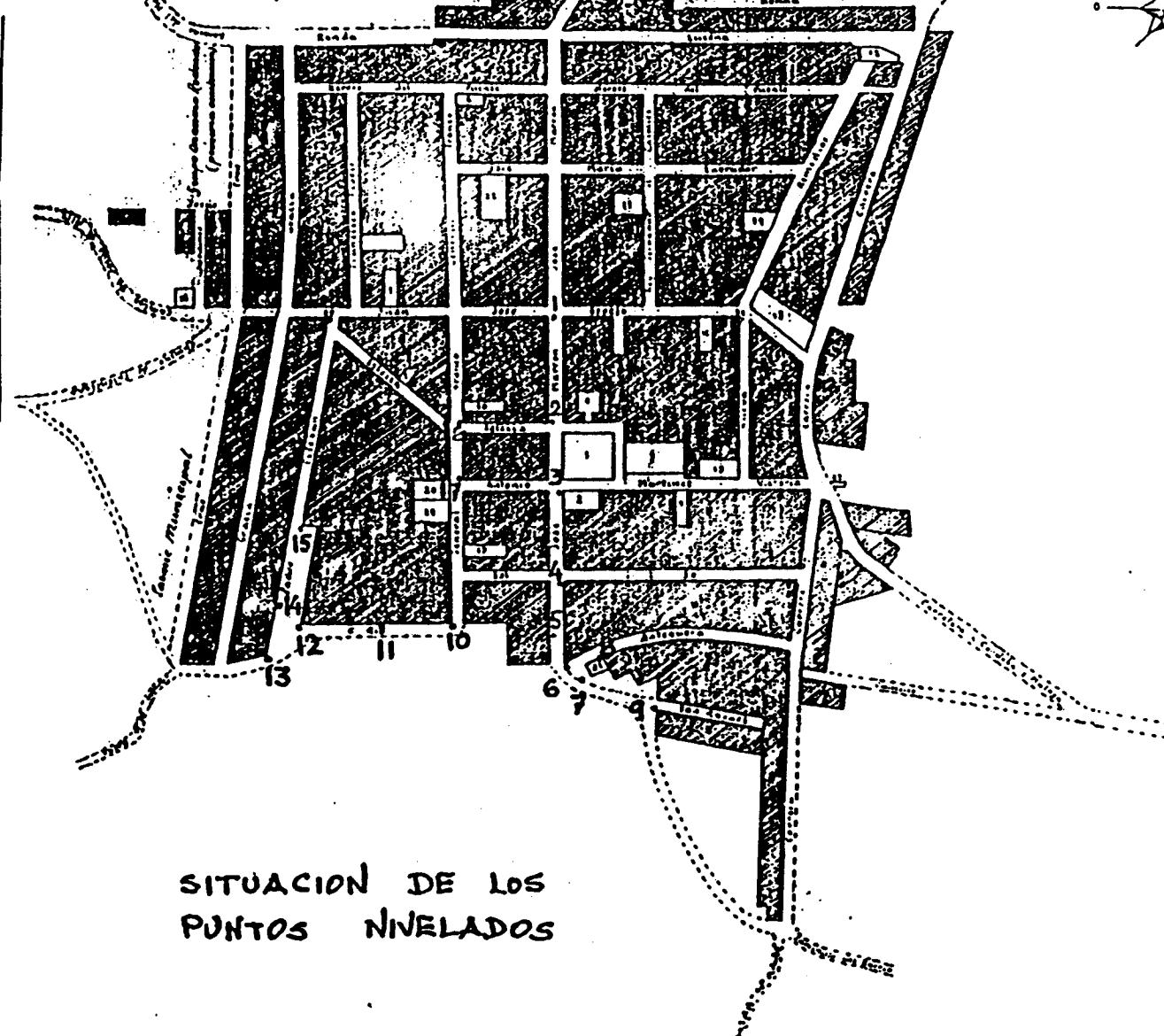
Los puntos que han bajado desde la última medición son los 4, 8, 10, 11, 12, 13, 16 y 17. Resumiendo el corrimiento sigue "en activo".

Madrid 16 de Marzo de 1971.



Edificios Públicos:

- 1 Plaza de José Arturo
- 2 Ayuntamiento
- 3 Plaza
- 4 Plaza de Alcalde
- 5 Juzgado y fiscalía
- 6 Juzgado de Paz
- 7 Correos
- 8 Telefógrafo
- 9 Telefónos
- 10 Banco Imperial de Chile
- 11 Oficina del P.D.P.
- 12 Tramile
- 13 Cuartel Guardia Civil
- 14 Grupo Escuela de niños
- 15 Grupo Escuela de niñas
- 16 Tabacalera
- 17 Escuela de niñas
- 18 Escuela de niños
- 19 Cuartel Ascas
- 20 Central Eléctrica
- 21 Tímacadero
- 22 Caja
- 23 Pilas
- 24 Fuente Pública
- 25 Fuente Pública
- 26 Fuente Pública



SITUACION DE LOS  
PUNTOS NIVELADOS

Manuel Mateos  
Ingeniero de Caminos:

## ESTUDIO DE SUELOS

Muestra tomada en BENAMEJI, en la ladera del corrimiento de tierras

PLASTICIDAD: Límite líquido 73; Índice 42

CARBONATOS: 8 %

SULFATOS: 0,32 % en  $SO_3$

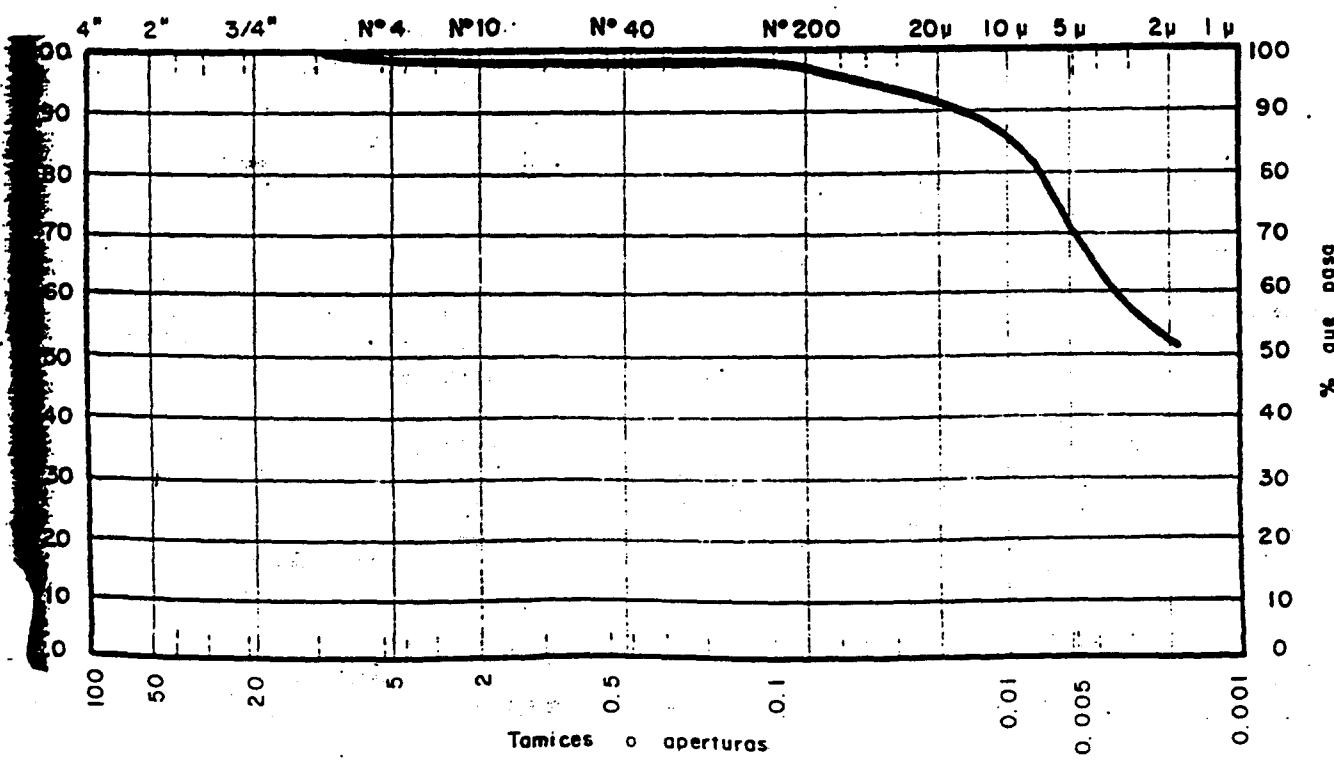
HUMEDAD:

CLASIFICACION: CH A-7-6 (20)

OBSERVACIONES:

### CURVA GRANULOMETRICA

Serie ASTM



INFORME SOBRE LOS ANALISIS DE IDENTIFICACION POR  
RAYOS X DE LOS MINERALES DEL SUELO DEL CORRI-  
NIENTO DE BENAMEJI

Identificación Tomé el pasado Abril muestras representativas del suelo. En la masa de tierra roja, existen unas vetas de tierra verde. Se hacen análisis de difracción de ambas.

La muestra fué reducida a tamaño muy fino, haciéndose la determinación básica tratándola con etileno glicol, al cual son inertes las arcillas. Se hicieron los ensayos en un difractómetro General Electric XRD-5, usando radiación cobre K (alfa), filtro de níquel.

Resultados Se identificaron los siguientes minerales:

<u>Muestra</u>	<u>Minerales</u>	<u>Intensidad relativa</u>
ROJA	Cuarzo	420
	Calcita	110
	Ilita	100
	Caolinita	60
	Montmorillonita	60
	Feldespatos	40
	Dolomita	15
VERDE	Cuarzo	600
	Montmorillonita	550
	Caolinita	60
	Ilita	35

La montmorillonita está saturada de iones de calcio pues expande a 19,5-22 Å al analizar la muestra con agua en vez de glicol.

Aclaraciones Para hallar la intensidad relativa se han tenido en cuenta los picos más fuertes. La intensidad relativa no es una medida directa cuantitativa, al estar influenciada por la intensidad de la muestra, cristalinidad, composición elemental, y orientación preferida del mineral que se mide, así como por la absorción de los rayos X difractados del total de la muestra.



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
DIRECCION PROVINCIAL  
CORDOBA

Fecha 9-3-1987

Referencia

## INFORME sobre corrimientos del terreno en el casco urbano de Benamejí

Como consecuencia de la petición hecha por el Ayuntamiento de Benamejí al Exmo. Sr. Gobernador Civil, solicitando el estudio del fenómeno epigrafiado, el funcionario que suscribe, después de una entrevista con el Sr. Alcalde de Benamejí y una visita a la zona, ha sacado las siguientes conclusiones:

- 1) El casco urbano de Benamejí, que se extiende en una extensión más ó menos circular de unos 400 m. de radio, está asentado sobre un terreno arcillo-yesífero (Kauper) de perfil relativamente suave, excepto en su parte Sur que forma un escarpe hacia el río Genil, al cual se halla a unos 1.000 m. de distancia del centro de dicho casco urbano y a una cota 160 más baja.
- 2) La zona objeto del presente informe, denominada, significativamente, "La Grieta" está situada precisamente en este borde escarpado de la parte sur del casco urbano y ya en las afueras del mismo.
- 3) Como se aprecia por la configuración del terreno, dicha zona está sometida desde tiempo inmemorial a la acción combinada de las aguas de lluvia y escorrentía (terrenos más ó menos incoherentes y plásticos) y de erosión del pie del escarpe por las aguas del río Genil en sus crecidas (que forma un meandro muy agudo al pie del mismo).
- 4) En el año 1.963, con motivo de unas fuertes lluvias que produjeron desprendimientos importantes, se efectuaron estudios, promovidos por el Gobierno Civil, en los que intervino el Instituto Geológico y Minero de España y otros organismos. Aunque se emitieron informes correspondientes a estos estudios, no se tomaron ninguna medida correctora del fenómeno, según ha manifestado a este funcionario el alcalde de Benamejí.
- 5) Posteriormente, hasta 1.987, se volvieron a producir desprendimientos y deslizamientos en varias ocasiones, aunque de menor intensidad que la citada de 1.963.
- 6) Como consecuencia de las fuertes lluvias del pasado mes de febrero, se han vuelto a producir desplomes del terreno que han afectado a una calle que bordea el escarpe y a algunas viviendas, que han perdido alguna habitación en el mismo y que están actualmente en un precario estado.

7) A simple vista, el terreno de casco urbano perdido a causa de este fenómeno, se ciñe a un entrante semielíptico de dicho escarpe, de unos 400 m. de largo y con una anchura máxima de 150 m.

8) Dado que actualmente el río Genil tiene sus aguas reguladas por el pantano de Iznájar (situado unos 15 km. aguas arriba de Benamejí), se puede decir que las causas de la reproducción, con los temporales de lluvia, del fenómeno responden actualmente tan solo a los factores locales de fuerte desnivel y mala calidad del terreno, sin que la acción del río agrave al mismo.

Por todo lo anteriormente expuesto, el funcionario que suscribe estima que la prevención de ulteriores desprendimientos pasa por la adopción de una serie de medidas correctoras ni muy costosas ni muy complejas técnicamente (desvío de las aguas de lluvia en la coronación de la zona, mejora del drenaje en la zona potencial de deslizamientos, retoques locales del perfil del terreno, restitución de la cubierta vegetal y alguna más).

Parce por tanto que, más que iniciar nuevos estudios previos, lo eficaz sería que una Comisión técnica de tipo provincial debatiera el tema y, a la mayor brevedad posible se pudiera abordar la ejecución de esa serie de medidas preventivas y correctoras del fenómeno geológico.

No obstante si, por ser ello necesario para poder recabar la financiación de los trabajos a realizar de los organismos pertinentes de carácter estatal, es conveniente la existencia de unos estudios previos, podrían pedirse estos bien al IGME, o bien directamente al Servicio Geológico del MORU.

El Director Provincial,



Juan González Montero



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

DIRECCION PROVINCIAL

CORDOBA

Fecha 30-4-1987

Referencia

**INFORME** sobre los corrimientos del terreno en el casco urbano de Benameji (Cordoba).

**1.- Introduccion**

Con fecha 9.3.87, el funcionario que suscribe escribió un informe previo, cuya copia se adjunta, sobre el tema epigrafiado.

Posteriormente, se ha formado una Comision Técnica Provincial para estudiar con más detalle el mismo. Dicha Comision, constituida por D. Pedro García del Barrio, arquitecto de la Diputacion Provincial, D. Antonio Gonzalez Aguilar, jefe de la Sección de Minas de la Delegacion de Economia y Fomento y el funcionario que suscribe, se desplazó el 7.4.87 a la zona de estudio, efectuando una visita detenida a la misma y examinando la escasa documentación técnica existente en el Ayuntamiento de Benamejí sobre estos corrimientos.

**2.- Documentación**

Dada la importancia que sobre la evolucion de los corrimientos podía tener el exámen de la documentación gráfica existente a lo largo del tiempo, se ha indagado en este sentido y se ha conseguido reunir la siguiente documentación de la zona de trabajo:

-	fotografía aérea estereoscópica a escala 1/42.000 del año 1.946					
-	" " " " " 1/30.000					1.956
-	" " " " " 1/22.500					1.966
-	" " " " " 1/30.000					1.984

Tambien se han obtenido las siguientes ampliaciones fotográficas:

- Foto aérea a escala 1/5.000 del año 1.956	7
- " " " 1/4.500 " 1.977	8

Asimismo se ha dispuesto de los siguientes planos:

- Plano a escala 1/2.000, con curvas de nivel de 1 m., del año 1.972
- " " 1/1.000, " " 1 m., " 1.976
- " " 1/10.000 " " 10 m., " 1.984
- " " 1/2.000 " " 1 m., " 1.984
- " " 1/2.000 del casco urbano de Benamejí, con la red de agua potable, del año 1.987
- Plano a escala 1/2.000 del casco urbano de Benamejí, con la red de saneamiento.
- Plano a escala 1/2.000 del casco urbano de Benamejí, con la pavimentación (tipo)

Por último se ha dispuesto de la hoja nº 1.006 (Benamejí) del mapa topográfico nacional a escala 1/50.000 (versión del año 1.963) y de las hojas y memorias números 82 y 83 del mapa geológico nacional de síntesis a escala 1/200.000

### 3.- Conclusiones

Del examen detenido y comparación de la documentación citada en el párrafo anterior, en especial de la fotografía estereoscópica, de lo observado en el terreno y de los datos verbales obtenidos en varias conversaciones con el Sr. Alcalde y otras personas del pueblo, se puede deducir lo siguiente:

- 3.1.- No se observan fenómenos de erosión por las aguas del río Genil en la ladera afectada por los corrimientos. La geometría del eje del cauce del río en la zona de estudio ha permanecido inalterada en los últimos 40 años.
- 3.2.- Si parece haber existido un fenómeno geológico de encajamiento y descenso del lecho del río en el terreno. El cambio del nivel de base (fig. 1) supone un rejuvenecimiento de la red hidrográfica y una reactivación de la erosión en la misma.
- 3.3.- El terreno de la zona de estudio, si hacemos abstracción de los suelos cuaternario y del aluvial del río Genil, está constituido en su totalidad por arcillas y margas yesíferas del Keuper y carniolas del Suprakeuper. En la ladera de los corrimientos predominan las arcillas y margas. Se trata por tanto de terrenos muy impermeables en su conjunto y potencialmente plásticos.
- 3.4.- En la ladera de los corrimientos y entorno hay localizados cinco puntos de agua numerados en la fig. 2 del 1 al 5. El nº 1 es un pozo de unos 2 m. de profundidad que dà unos 2.000 litros de agua al día; el nº 2 es un manantial que da un pequeño hilo de agua y los números 3 a 5 son pequeñas charcas temporales en la zona de los deslizamientos.
- 3.5.- Actualmente se están vertiendo toda clase de escombros (incluso tie-

rres saturadas de humedad y fangos) y basura en los huecos del terreno en que los deslizamientos se han ido llevando el material natural.

3.6.- De los puntos anteriores se puede concluir que, aunque existe un trans-fondo geológico en los deslizamientos del paraje "La Grieta" que no puede soslayarse, si se toma una serie de medidas preventivas, el proceso actual de avance del desprendimiento y deslizamiento del terreno podría ser frenado. Estas medidas se exponen como recomendaciones en el apartado siguiente.

#### 4.- Recomendaciones

Las medidas a tomar -con carácter inmediato- serían:

- 4.1.- Dejar de verter cualquier tipo de escombro y basura en la zona de "La Grieta", alambrando, si es preciso, el perímetro de la misma.
- 4.2.- Drenar y conducir las aguas de los puntos números 2 a 5 a que se alude en el apartado 3.4., fuera de la zona de deslizamientos.
- 4.3.- Inspeccionar detenidamente las redes de alcantarillado y agua potable en el entorno de "La Grieta" y corregir las eventuales fugas existentes.
- 4.4.- Dejar de regar los jardines, calles y huertas y patios interiores de las viviendas de la zona de "La Grieta", salvo en los casos en que exista garantía de que las aguas de escorrentía van a la red de alcantarillado.
- 4.5.- Hacer un ramal de alcantarillado que circunvalle la zona de "La Grieta", conectando el mismo a la red del alcantarillado general, para que las aguas de lluvia vayan fuera de la cuenca natural de esa zona.
- 4.6.- Hacer una serie de perfiles topográficos de precisión en la zona de "La Grieta", para ir siguiendo la evolución a lo largo del tiempo del terreno de la misma.

Si las medidas anteriores no fueran suficientes para conseguir que la masa del terreno de la zona de "La Grieta" se vaya desecando y perdiendo el estado plástico que tiene actualmente, habría que recomendar otras actuaciones más energéticas y costosas. Si dichas medidas fueran suficientes, se podría pasar -una vez controlado el estado de humedad del terreno- a otras actuaciones de tipo complementario (fundamentalmente la nivelación, y fijación del terreno de la grieta con vegetación).



Firmado: Juan González Montero  
Dr. Ingeniero de Minas.



Corte A-B-C-D

H = V = 1/10.000

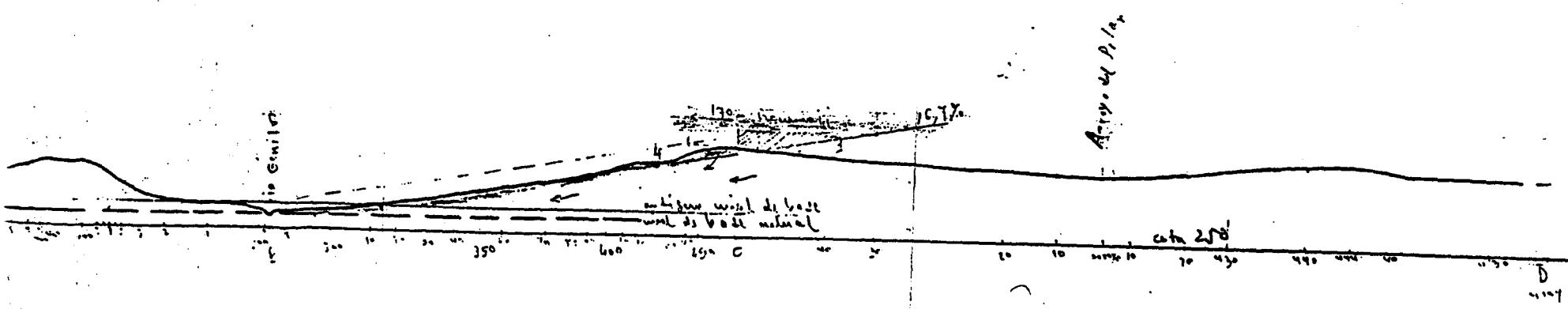


Fig. 1

DEMARCACION DE CARRETERAS  
DEL ESTADO EN ANDALUCIA  
SERVICIO DE PLANEAMIENTO  
PROYECTOS Y CORAS.  
AYDA LOS MIGRANTES  
C.P.D. 60

INFORME SOBRE LA VISITA AL DESLIZAMIENTO OCURRIDO EN BENA-  
MEJÍ EL DÍA 27-12-89

El presente Informe se redacta como resultado de la visita realizada al deslizamiento ocurrido en Benamejí el pasado día 27 de Diciembre de 1.989, a instancias del Gobierno Civil de Córdoba.

ANTECEDENTES

- El paraje "La Crieta" en Benamejí, es una ladera conocida por su inestabilidad, tras los antiguos grandes corrimientos que contaron los lugareños y de los que sólo se ha encontrado documentación en el Ayuntamiento del ocurrido el 17 de Febrero de 1.963 que dejó en ruinas 40 casas y otras 51 en inminente peligro.
- En 1.970 se realizó un somero estudio de la ladera, en el que se concluía la necesidad de un estudio más amplio de la zona para discutir posibles soluciones.

Desde 1.963 a 1.987 se han producido pequeños deslizamientos y desplomes que dieron lugar a la designación de una Comisión que estudiase el problema..

En 1.987, constituida una Comisión Técnica Provincial compuesta por un Arquitecto de la Diputación Provincial y el Jefe de la Sección de Minas de la Delegación de Economía y Fomento, y estudiado el problema, se recomienda:

- Dejar de verter
- Dejar de regar jardines
- Hacer plantaciones en la ladera
- Vigilar las redes de alcantarillado y agua potable.

### DESCRIPCION DE LA VISITA

En visita conjunta con el Sr. Alcalde y una Perito del Ayuntamiento, se observó que se había producido un deslizamiento de tierras en la zona sur del casco con una longitud en la cabecera de unos 550 metros y una profundidad aproximada del primer escalón de unos 12 a 15 metros.

La distancia a las edificaciones suele ser unos 10 metros existiendo puntos en los que éstas se han quedado a unos 3 ó 4 metros.

No se había afectado gravemente ninguna edificación, salvo pequeños asentamientos que habían producido grietas en esquinas y pequeñas tapias.

El Sr. Alcalde notificó por escrito el desalojo de un taller muy cercano al borde del deslizamiento; no produciéndose éste hasta la finalización de la mañana.

Se observaron grietas transversales en la calle denominada en el plano como General Franco.

El corrimiento pudo describirse como un deslizamiento en círculo secundario de la ladera, que no ha afectado al posible sistema general inestable de la zona comprendida entre el casco urbano y el Río Genil, sino solamente a la parte superior de la misma.

Se hace notar que el deslizamiento ha afectado a zonas sin pavimentar en su mayoría, circunscribiendo en líneas generales a las edificaciones, tal vez por el menor aparte de agua al terreno en estas zonas.

### CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO

Presumiblemente las causas del deslizamiento han sido:

1º. La propia ladera por su constitución de arcilla triásicas (keuper) y su forma con el río Genil en el fondo hacen que la misma sea inestable.

2º.- En cuánto se producen alteraciones importantes en las condiciones de la ladera como son:

- Lluvias abundantes
- Excesiva erosión del Río Genil

el movimiento se activa, provocando daños y un continuo "morder" en el casco urbano de Benamejí.

3º.- Estas situaciones graves aisladas se ven complementadas por los diferentes vertidos realizados en la zona inestable que no hacen si no cargar la misma ayudando a cualquier movimiento.

#### PRIMERAS RECOMENDACIONES

Se comunicó al Sr. Alcalde que:

- Prohiba el acceso rodado y peatonal a la zona deslizada.
- Díese aviso de desalojo a todos los propietarios que queden dentro de una franja de 25 metros desde el borde del deslizamiento ante la proximidad de posibles lluvias en días próximos que pueden agravar la zona siniestrada.
- Díese aviso de que se extreme la vigilancia por parte de los vecinos, así como de las autoridades municipales de posibles fisuras en las casas que pueden anunciar el incremento de la zona de deslizamiento.

La zona a desalojar en su mayoría son cocheras y patios traseros, sin embargo hay también algunas casas habitadas que pudieran verse afectadas.

De todo lo contenido en este informe se dió conocimiento telefónico y directo al Gobierno Civil en la tarde del 27 de Diciembre

#### CONCLUSION

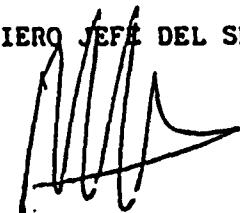
Independientemente de la urgente solución de nuevo alojamiento a los afectados directamente, sería conveniente realizar un estudio completo de la zona inestable, en el cual se propongan una serie de medidas de actuación que impidan que sucesos como éste, vuelvan a ocurrir provocando daños análogos.

CROQUIS ADJUNTOS

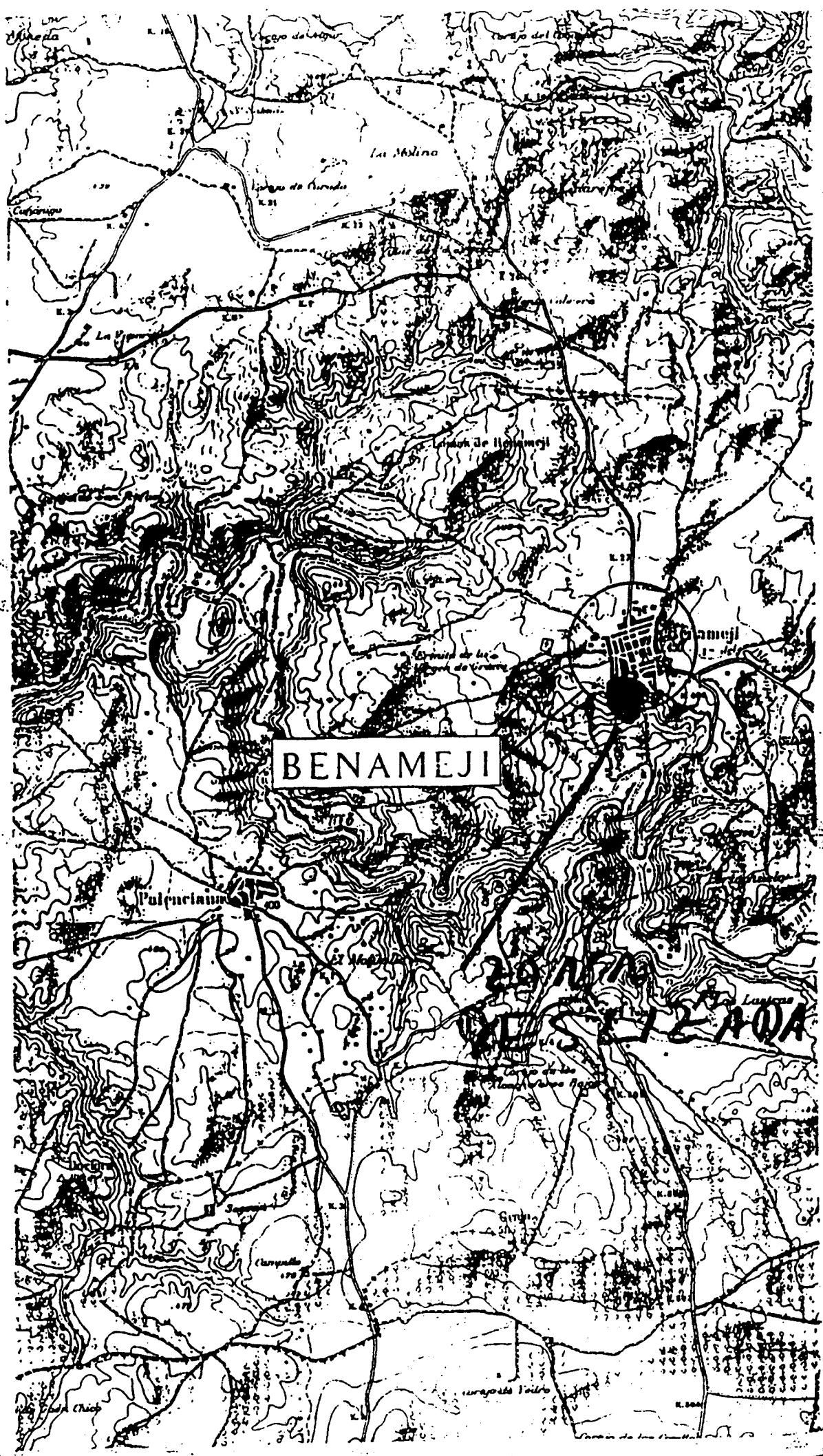
- Plano de situación: 1:50.000
- Deslizamiento de 1.963
- Deslizamiento de 1.989
- Croquis de la sección transversal de este último.

Córdoba, 28 de Diciembre de 1.989

EL INGENIERO JEFE DEL SERVICIO,



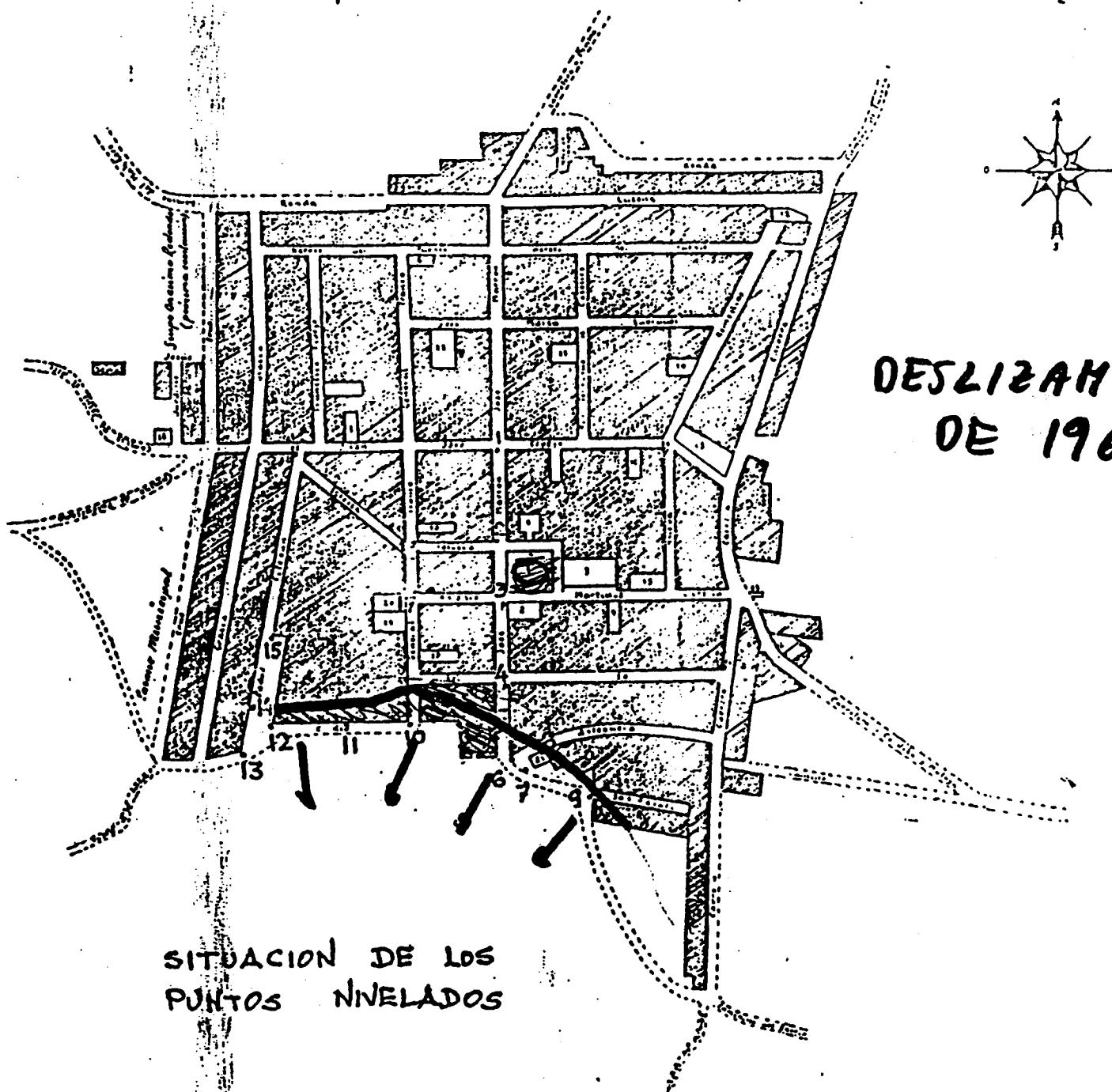
Fdo.: R. Vázquez Orellana.



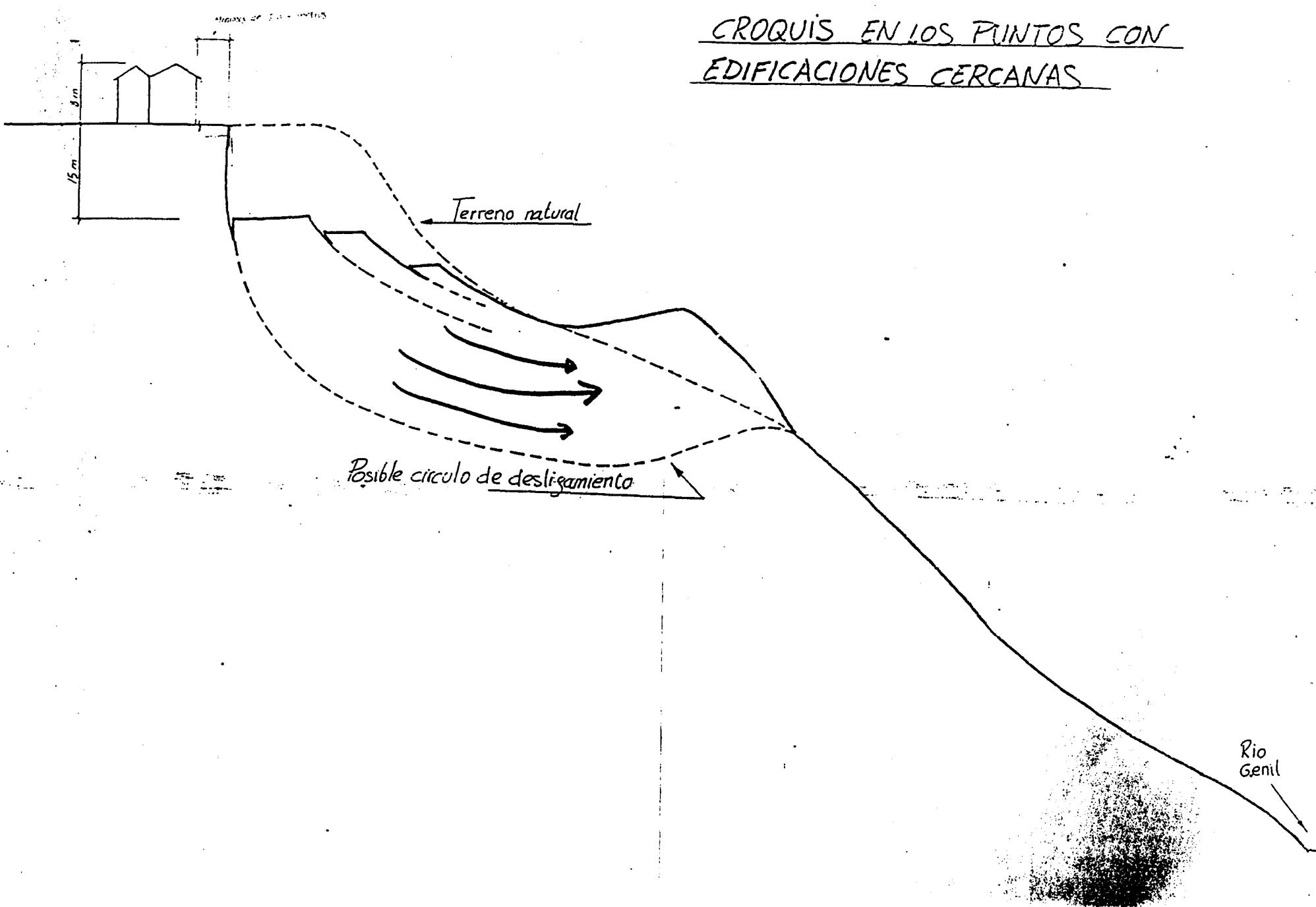
Plano  
de  
Berantevi

Edificios Públicos:

- 1 Plaza de José Antonio
- 2 Ayuntamiento
- 3 Iglesia
- 4 Plaza de Alfonso
- 5 PTT y sindicato
- 6 Juzgado de Paz
- 7 Correos
- 8 Telégrafo
- 9 Teléfono
- 10 Ayuntamiento de Pedralba
- 11 Oficina del PTEP
- 12 Oficina
- 13 Cuartel Guardia Civil
- 14 Oficina Oficial de nubes
- 15 Oficina Oficial de nubes
- 16 Teldaría
- 17 Oficina de nubes
- 18 Oficina de nubes
- 19 Oficina Oficial
- 20 Central Eléctrica
- 21 Blajador
- 22 Correos
- 23 Pilar
- 24 Oficina Pública
- 25 Oficina Pública
- 26 Oficina Pública



CROQUIS EN LOS PUNTOS CON  
EDIFICACIONES CERCANAS





Madrid, 26 de Febrero de 1.990

Sr. D. Gregorio López Martínez  
Excmo. Gobernador Civil de Córdoba  
14071.- CORDOBA

En relación con el Estudio sobre el Deslizamiento de Benamejí solicitado al Instituto Tecnológico GeoMinero de España por Protección Civil de Córdoba, y tras la visita que técnicos del Área de Ingeniería GeoAmbiental han realizado a la zona, se hacen las siguientes consideraciones para su conocimiento:

- \* Dada la complejidad del fenómeno acaecido se cree necesario su estudio en detalle para la determinación de las causas y de los factores influyentes, así como para la estimación de las soluciones adecuadas y medidas a tomar en cuenta.
- \* Para ello es necesaria la realización de una serie de tareas imprescindibles (levantamiento de perfiles topográficos, realización de sondeos, ensayos de laboratorio sobre los materiales, etc.), que el Área de Ingeniería GeoAmbiental del I.T.G.E. llevará a cabo próximamente.
- \* Sin la realización de este estudio detallado, enfocado a la caracterización completa de los materiales afectados y de su entorno, no se podría atacar el problema con suficiente conocimiento.

A la espera de comenzar con las labores anteriormente citadas, se consideran como medidas necesarias a tomar las siguientes:

- El cese total e inmediato de los vertidos de escombros y de todo tipo en la zona afectada.
- La colocación de testigos (de yeso), en las grietas detectadas en los edificios colindantes, que deberán ser vigilados para comprobar si estos se rompen. Así mismo deberá ser vigilada la aparición de nuevas grietas en la calzada o en las fachadas.



- El control y medición periódica (una vez a la semana) del nivel de agua de los pozos cercanos a la parte afectada, para observar posibles variaciones en el nivel freático.

Sin más , y recomendando de nuevo la puesta en práctica de las medidas anteriores a la espera del comienzo de los trabajos por nuestra parte, reciba un cordial saludo.



Fdo.: F.J. Ayala Carcedo  
Jefe del Area de Ingeniería  
GeoAmbiental.



Fdo.: Mercedes Ferrer Gijón  
Area de Ingeniería GeoAmbiental.



TELEFAX

DESTINATARIO:  
Addressed to:

Sr. Fernández de Mesa

EMPRESA/ORGANISMO:  
Company/Organism :

Gobierno Civil CÓRDOBA

PAIS - CIUDAD :  
Country - City:

CÓRDOBA

NUMERO DE FAX:  
Fax number :

937/23-99-39

FECHA:  
Date :

16/1/91

REMITENTE:  
Sender :

Mercedes Ferrer

NUMERO DE PAGINAS,  
Number of pages,

2

INCLUIDA ESTA  
including this one

OBSERVACIONES:  
Remarks :

Un saludo

Mercely



Con respecto al tema del deslizamiento de Benamejí, se están realizando en la actualidad los sondeos proyectados para el estudio del terreno, y que constituyen la última fase de los trabajos planificados para el estudio de la ladera. Se ha concluido la realización del primero de ellos, en la cabecera, y se terminarán los otros en breve plazo.

Al mismo tiempo, se está realizando el informe que incluirá todos los trabajos realizados, medidas, resultados de laboratorio, análisis de las causas del proceso, tipología y medidas adecuadas para estabilizar y solucionar el fenómeno o evitar riesgos futuros.

Una vez terminada la interpretación de los sondeos y los ensayos y análisis de laboratorio correspondientes, así como los cálculos de estabilidad adecuados, se podrá concluir el informe, que les será enviado a la mayor brevedad posible.

Un saludo.

Fdo.: Mercedes Ferrer Gijón  
Área de Ingeniería GeoAmbiental





DEPARTAMENTO DE MINERIA

Cuadernos 2.1 - Tfno. (037) 580025/26

14240 BELMEZ (Córdoba)

DESLIZAMIENTO DE BENAMEJI: RIESGO GEOTECNOLOGICO

El dia 27 de Diciembre de 1989 se presentó un deslizamiento de grandes dimensiones en la localidad cordobesa de Benameji, afectando en coronación (600 m) a varios millones de metros cúbicos y a todo su casco urbano.

Este evento producido por el colapso de los materiales del macizo, con rápido descenso (resbalamiento) de unos 50 m. fue difundido por los medios de comunicación que resaltaban la inestabilidad de estos materiales, que ya sufrieron otros movimientos anteriores, uno de ellos el 17 de Febrero de 1963.

Del Departamento de Minería de la Universidad de Córdoba se desplazan a Benameji los profesores, del campo de la geotecnología Sr. Antonio Daza y Sr. Antonio Morales, el 2 de Febrero de 1990, ante la gravedad de la situación para una toma de contacto con la transcendencia del problema, fruto de aquella visita es la presente memoria.

Se trata de una rotura de tipo circular (o bien rotacional) y parece que las condiciones del macizo incompetente y la magnitud de las fuerzas coinciden con las conocidas para este tipo de deslizamiento. Este mecanismo de rotura requiere un buen conocimiento de los parámetros del macizo.

Se debe estudiar en que condiciones de deslizamiento se encuentra en equilibrio límite y definir el coeficiente de seguridad, para ello es necesario determinar con precisión las superficies de deslizamiento del terreno, en realidad se supone que existe el equilibrio límite en el momento de la rotura. En previsión de posibles nuevos deslizamientos hay que adoptar un factor de seguridad alto que minimice el riesgo, ya



## DEPARTAMENTO DE MINERIA

Covadonga, 24 - Tel. (057) 580021/26

14240 BELMEZ (Córdoba)

que de seguir inestable el macizo desencadenaría una catástrofe de tal naturaleza que afectaría a la mayor parte del casco urbano de Benaméjí. La transcendencia del evento es de alto riesgo actual, el medio humano debe acostumbrarse a la inestabilidad y urgentemente desarrollar la adecuada red de vigilancia de la inestabilidad y las actuaciones prioritarias correctoras o de control y saneamiento.

La solución práctica al problema requiere un seguimiento del deslizamiento y el conocimiento de las características geomecánicas. El Departamento de Minería de la Universidad de Córdoba ha iniciado la toma de datos geológico-geotécnicos en campo y ha realizado una observación *in situ* del comportamiento de los materiales. Así existe una grieta de tracción continua en gran medida y forma circular que verticalmente conecta con la superficie de deslizamiento. Se observa en todo el material, salvo ciertas competencias transversales de cuarzo arenita, un flujo de material con inicios de vuelcos de bloques diferenciados por grietas de tracción longitudinales, ello nos sitúa en un ángulo de la superficie de deslizamiento (contacto con el KEUPER) entre 5° y 30° (posiblemente 15°) y una cohesión a lo largo de este plano de rotura de 0°. Por otra parte las grietas de tracción conectan con la superficie de deslizamiento a una profundidad máxima de 40 m, al ser de débil resistencia estos materiales (en movimiento) permeables y meteorizados, que se encuentran encima de la estructura de margas irisiadas (Keuper) impermeables.

La primera fase de vigilancia de la inestabilidad requiere cuantificar las deformaciones superficiales mediante medidas topográficas (en hitos) y convergencias en grietas, tantear la superficie de rotura, junto a niveles estáticos de agua, inicio de bombeos sistemáticos, control del descenso piezométrico, de los asientos del terreno, y ensayar el ángulo de fricción de los materiales. Una segunda fase necesitaría sondeos



DEPARTAMENTO DE MINERIA

Cuadonga, 24 - Tfno. (037) 580027/26

14040 BELMEZ (Cordoba)

mecánicos, geofísica y gran instrumentación: piezómetros de cuerda vibrante, extensómetros, bombeos con horómetros, control topográfico y de convergencia y un estudio hidrogeológico. Sería también recomendable la instalación de algún inclinómetro de sondeo.

Actualmente cualquier tanteo de cálculo de rotura circular realizado, no va a ser real pero refleja aspectos significativos. Estos gráficos obtenidos con tanteos, de distinto volumen de materiales en movimiento, para dos ángulos de rozamiento distintos y cohesiones mínimas de  $1'3 \text{ T/m}^2$  y prácticamente nulas de  $0'1 \text{ T/m}^2$  para la superficie de deslizamiento nos hacen pensar en la influencia del grado de saturación de la inestabilidad, condiciones hidráulicas que modifican el coeficiente de seguridad de mayor que 1 (estable) a menor que 1 (inestable) para el talud saturado.

Esto es importante ya que la pluviometría ha sido muy alta últimamente y según parece los pozos de agua antes del deslizamiento tenían la cota en superficie, lo que indica una saturación de agua en la superficie de deslizamiento.

Aunque esta fase es previa y las hipótesis de partida discutibles ya que se requiere una investigación, nos podemos adelantar en el diagnóstico del deslizamiento, ya que no parece existir ningún otro parámetro que halla influido tanto en el colapso de la ladera como sus condiciones hidráulicas, es decir la saturación de agua de estos materiales permeables apoyados en las arcillas impermeables del Keuper, contacto este que sufrió la presión y presencia del agua, lubricando, eliminando la cohesión e iniciando la inestabilidad. Todo ello ante la favorable estructura de las margas arcillosas del Keuper.

El Departamento de Minería de la Universidad de Córdoba podría estudiar completamente la realidad del problema del deslizamiento



DEPARTAMENTO DE MINERIA

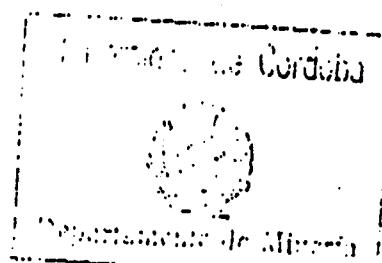
Cuadonga, 24 - Tfno. (957) 51000/5101

14220 BELMEZ (Córdoba)

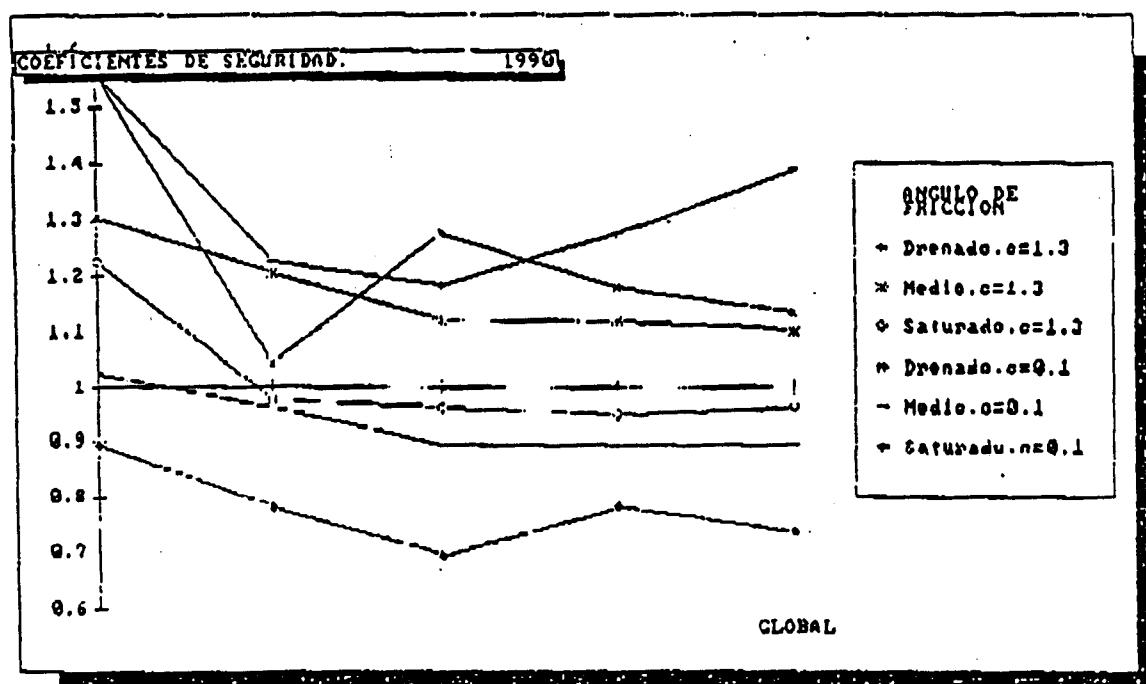
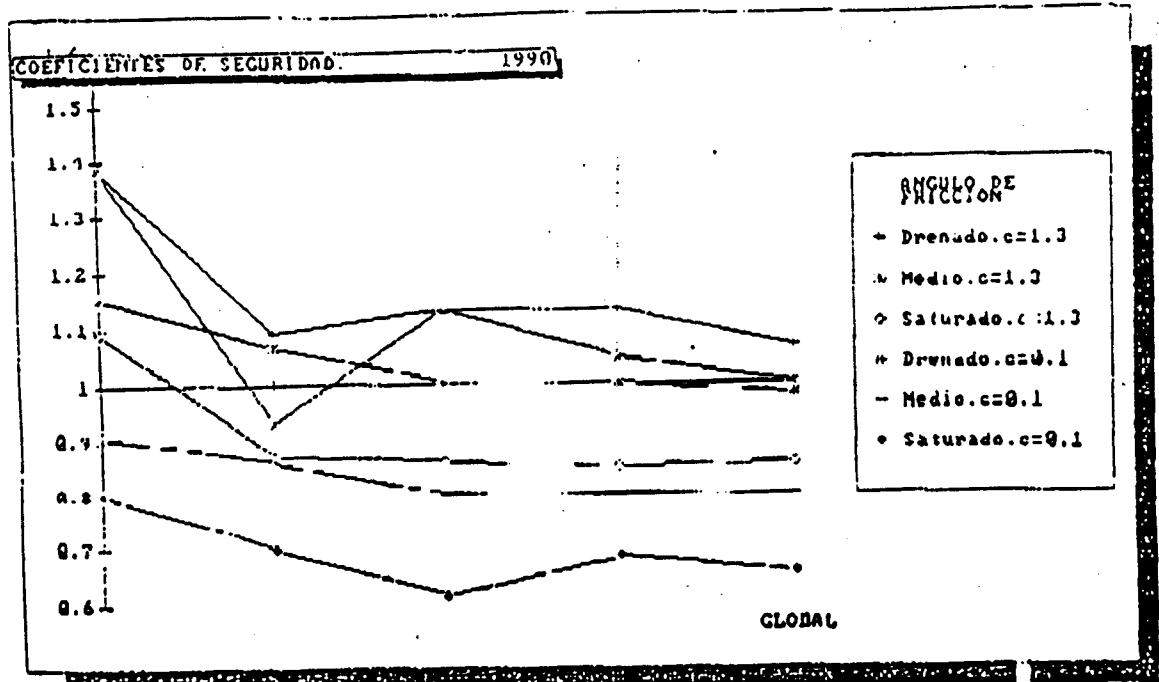
de ladera y dar la solución concreta, haciendo el seguimiento e instrumentación del deslizamiento con las medidas de protección. Siempre podría asesorar cualquier control o consulta que elimine así imponderables en el futuro, minimizando el riesgo con una actuación que evite la catástrofe que potencialmente existe en la actualidad.

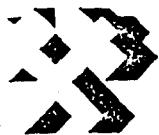
De cualquier manera una 1<sup>a</sup> fase de carácter urgente, a un mes vista, deberá consistir en "Recopilar toda la información disponible y elaborar a partir de ella y de todos los controles que puedan realizarse, sin nuevas instalaciones o equipamientos, un informe previo de definición del ámbito geotécnico del deslizamiento de Benamejí".

Belmez, 12 de Febrero de 1990.



Fdo. Antonio Daza Sánchez.





Sr. Jefe de Protección Civil  
Gobierno Civil de Córdoba

CORDOBA

Estimado amigo:

A punto de concluirse el informe realizado por el Área de Ingeniería Geoambiental del ITGE sobre el deslizamiento de Benamejí, creemos necesaria la realización de un ensayo de bombeo y recuperación en alguno o algunos de los pozos ubicados en las casas del pueblo situadas junto al escarpe de rotura del deslizamiento. Su finalidad es conocer la situación y funcionamiento de los niveles freáticos en esta zona. Para ello puede ser utilizada una bomba de presión que sea válida para realizar el trabajo requerido. Así mismo, sería conveniente que personal de Protección Civil, al corriente de todos los trabajos e investigaciones realizadas en la zona del deslizamiento, llevara el seguimiento de dicho ensayo.

A continuación se detallan los pasos a seguir:

- Elección del pozo o pozos (sería conveniente realizar el ensayo al menos en dos pozos; actualmente éstos están en desuso, por lo que no se causaría ningún perjuicio a los propietarios).
- Medición del nivel de agua en el pozo antes de empezar el ensayo, y medición de la profundidad del pozo y de su diámetro.
- Extracción de agua mediante la bomba. En caso de que se observe bajada del nivel, no es necesario secarlos totalmente; bastará con conseguir un descenso importante del nivel y abandonar el ensayo. Si al extraer el agua no se con-





sigue rebajar el nivel, se abandonará el ensayo después de un tiempo bombeando para comprobar que efectivamente el pozo se recupera.

Si se consigue rebajar el nivel de los pozos, deberán realizarse las siguientes medidas y observaciones una vez terminado el ensayo:

- Medición del nivel de agua deprimido.
- Observar si el nivel de agua vuelve a subir con el paso del tiempo (días, semanas), y tomar nota de las alturas y de las fechas de medida hasta que el nivel de agua vuelva a alcanzar la cota inicial.
- Observar, después de terminar el ensayo, si mana agua, por poca que sea, de las paredes del pozo.

ADELANTO DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL INFORME  
SOBRE EL DESLIZAMIENTO DE LADERA DE BENAMEJI (CORDOBA)

Instituto Tecnológico Geominero de España  
Area de Ingeniería Geoambiental

I.- INTRODUCCION

Los deslizamientos de ladera junto al extremo sur del casco urbano de Benamejí no son un fenómeno reciente ni aislado, y se vienen produciendo periódicamente en los últimos tiempos. La denominación del paraje deslizado ya indica la inestabilidad de la zona: "La Grieta".

Se tiene noticia de que ya en 1739 se produjo posiblemente un gran deslizamiento por el que resultaron seriamente dañadas varias edificaciones.

El 17 de Febrero de 1963, tras un periodo de intensas lluvias, se produjo un gran deslizamiento que afectó a una franja semielíptica de unos 400 m del casco urbano, dañando numerosas edificaciones.

Posteriormente el desnivel creado en cabecera de la ladera fué ocupado por el vertido de gran cantidad de escombros durante años que "restituyeron" en gran parte la topografía existente antes del movimiento, creándose una gran plataforma con taludes de vertido hacia la ladera.

El 26 de Diciembre de 1989, tras un periodo muy lluvioso, se produjo una nueva reactivación del deslizamiento, coincidiendo la superficie de rotura, a grandes rasgos, con la del movimiento de 1963, y arrastrando a todo el volumen de escombros. En coronación la superficie de rotura se instala en parte en el contacto con los escombros, y en parte a través del terreno natural. Se trata de un deslizamiento de ladera profundo con superficie de rotura curva. Las dimensiones del deslizamiento fueron:

- longitud: 600 m
- anchura en coronación: 325 m
- anchura en el pie: 150 m
- prof. escarpe de coronación: 7 - 21 m.

Desde los años 70, varios informes han sido emitidos por diferentes organismos sobre la problemática que afecta a la ladera. En general, en todos ellos fueron recomendados medidas del tipo:

- prohibición de los vertidos
- control de movimientos
- control de redes de alcantarillado y pavimentaciones
- drenajes superficiales y subterráneos
- suavizado de pendientes y plantaciones
- construcción de muros e inyecciones en el terreno.

Tras la visita realizada por Técnicos del ITGE en Febrero del 90 a la zona afectada, se emitió un escrito en el que se reflejaba la necesidad de realizar un estudio en profundidad con levantamientos topográficos, sondeos, toma de muestras, ensayos, estudio hidrogeológico, etc., recomendándose tomar las medidas urgentes:

- cese total e inmediato del vertido de escombros en la zona afectada
- colocación de testigos en las grietas detectadas en los edificios y calles colindantes con el deslizamiento
- control y medición periódica del nivel de agua de los pozos cercanos a la parte del pueblo afectada.

## II.- TRABAJOS REALIZADOS

Con posterioridad, y con vistas al estudio detallado del fenómeno, se han llevado a cabo en la zona los siguientes estudios y trabajos:

- reconocimiento y cartografía de la zona afectada y alrededores
- toma de medidas de dimensiones y geometría del deslizamiento
- levantamiento topográfico de la zona inestable a escala 1/500
- realización de 3 sondeos situados en cabecera y en la zona deslizada, con profundidad de 20, 32 y 25 m
- medición de niveles de agua periódicamente en pozos y sondeos
- ensayos de laboratorio para identificación y caracterización geotécnica y geomecánica de los materiales implicados
- análisis de la estabilidad del deslizamiento y estudio de la influencia de los diferentes factores involucrados.

Todos estos trabajos y los datos obtenidos a partir de ellos, y su interpretación, están incluidos detalladamente en el informe definitivo.

### III.- FACTORES INFLUYENTES

Los factores que han condicionado e influido en la inestabilidad de la ladera a lo largo del tiempo pueden quedar agrupados:

- Factores geológicos y características geomecánicas de los materiales
- Factores hidrogeológicos
- Condicionantes antrópicos
- Condicionantes sísmicos.

Desde el punto de vista geológico, la ladera inestable está formada por materiales terciarios, constituidos en su mayor parte por arcillas limosas con intercalaciones calcareníticas y en ocasiones margosas, apoyadas mecánicamente sobre cobertura subbética, y que forman parte de un conjunto cabalgado y fracturado. Son materiales blandos con parámetros resistentes bajos y que disminuyen aún más con la presencia de agua.

Con respecto a la hidrogeología, los principales acuíferos en la zona del deslizamiento están confinados en niveles poco potentes calcareníticos, muy fisurados, actuando también como acuífero libre el relleno de escombros. Con la realización de los sondeos llevados a cabo se constató la presencia de importantes presiones intersticiales en la masa deslizada; los niveles de agua cortados en los tramos calcareníticos ascendieron varios metros en las tuberías ranuradas instaladas para su medición.

Después de épocas lluviosas, el agua se infiltra en los rellenos vertidos en la coronación de la ladera, produciendo una sobrecarga debida a su propio peso. Así mismo, este agua circula hasta la superficie de rotura, actuando como lubricante de la misma. A partir de datos de precipitaciones se observa un incremento importante de la lluvia caída en los meses de Noviembre y Diciembre de 1989, triplicándose la precipitación media de otros años en ese periodo.

Al tratarse de la reactivación de un deslizamiento antiguo, los parámetros geomecánicos de las arcillas limosas de alta plasticidad involucradas, se rigen por condiciones residuales, con una resistencia sensiblemente inferior a las condiciones de pico originales del terreno.

El vertido de escombros (condicionante antrópico) en la coronación, ha producido una sobrecarga de peso en la cabecera del talud, afectando negativamente a la estabilidad de la ladera, ya de por sí próxima al equilibrio al ser una zona anteriormente deslizada. Otro condicionante antrópico que hubiera podido influir son las fugas de conducciones de agua, hecho que parece confirmado por la alta contaminación de nitratos que presenta el agua analizada de uno de los sondeos.

La población de Benamejí se encuentra ubicada en una zona de sismicidad alta (grado VIII). Si se produjera un sismo de gran intensidad, podría desencadenar un gran deslizamiento que afectaría a edificaciones del casco urbano próximas a la cabecera del talud.

## IV.- FACTORES DESENCADENANTES

Con respecto al movimiento registrado en Diciembre de 1989, pueden ser establecidos como factores influyentes definitivos:

- morfología de la ladera, correspondiente a un escarpe en cabecera (relleno de escombros) seguido de un talud suave del material deslizado previamente
- presencia de materiales arcillosos blandos impermeables con pequeños niveles permeables a favor de los que circula el agua
- parámetros resistentes residuales en los materiales afectados (la ladera ha sufrido ya varios deslizamientos, algunos de mayor magnitud que el actualmente estudiado), con resistencia correspondiente a un suelo y valores bajos para la cohesión y el ángulo de resistencia interna
- presencia de un gran volumen de escombros vertidos en cabecera.

Sobre esta situación han actuado las fuertes precipitaciones caídas en la zona durante los dos meses previos a la rotura: 323 l/m<sup>2</sup>, más del triple de la precipitación media de la zona en ese mismo periodo de tiempo.

A parte del agua que subterráneamente pudiera haberse desviado hacia la ladera, todo el material antrópico de cabecera (muy permeable) se vió sometido a saturación, con el consiguiente aumento de peso (y disminución de la resistencia) sobre la parte más baja de la ladera.

La saturación de los materiales arcillosos que conformaban la antigua ladera deslizada, y el aumento de tensiones a que se vió sometida en su zona de pie, provocaron su pérdida de resistencia y el desencadenamiento repentino del deslizamiento.

Cabe hacer especial hincapié en el papel de las

precipitaciones. Al tratarse de materiales impermeables, se puede suponer una circulación de agua restringida a los niveles calcareníticos. Así mismo, del estudio hidrogeológico de la zona se deduce que la ladera deslizada no actúa como zona drenante de los acuíferos superiores (situados en los materiales sobre los que se asienta el pueblo), si bien puede existir comunicación subterránea entre ellos; para despejar este último punto se van a realizar una serie de ensayos de bombeo en los pozos del pueblo. Tampoco parece que las aguas de escorrentía de la explanada del pueblo viertan hacia la ladera cuando hay grandes lluvias, como prueba la red de drenaje de la zona y la existencia de una ligera pendiente en sentido contrario a la ladera.

Por todo lo anterior se puede deducir que el papel fundamental en el proceso de deslizamiento lo tiene el agua de precipitación directa sobre la ladera y aledaños, con la infiltración consiguiente hacia las superficies de debilidad o de discontinuidad de la misma y provocando la saturación de los materiales. No obstante, ha podido también contribuir, a la generación de presiones intersticiales, un aumento de caudal subterráneo como consecuencia de las precipitaciones.

#### V.- MODELO Y SUPERFICIE DE ROTURA

Respecto a la superficie de rotura que ha funcionado durante el movimiento, se han obtenido del estudio los siguientes datos:

- es una superficie de rotura curva con gran grieta de tracción en cabecera
- la parte superior (escarpe) coincide, en algunas zonas, con la superficie del movimiento de 1963 (y por tanto se corresponde con el contacto terreno natural-escombros), aunque ha retrocedido algunos metros hacia el pueblo en algunas zonas del escarpe
- se ha detectado la posible superficie de rotura en profundidad en dos de los sondeos realizados, apareciendo agua

a presión y coincidiendo con niveles permeables de calcarenitas, por debajo de los cuales aparecen unas arcillas duras y compactas, básicamente diferentes de las que aparecen en los niveles superiores

- la profundidad máxima deducida para la superficie de rotura bajo la zona deslizada es de unos 28-30 m.

El proceso de deslizamiento corresponde en general a un proceso geológico natural de erosión de vertientes, que actúa también en otros puntos de la zona y que viene afectando a la ladera sistemáticamente. Posiblemente en épocas anteriores la erosión del río influyó en el descalce de la ladera y en la aceleración de los movimientos de la misma.

La ladera está constituida por materiales blandos (fundamentalmente arcillosos), con afloramientos de materiales más duros y compactos con contactos mecánicos. En el modelo y mecanismo de la última rotura que ha tenido lugar, estos afloramientos de materiales más duros (que dan resaltes constituyendo pequeños montículos) han jugado un papel importante, canalizando el material blando que rompe y desliza a través de un "paso" que queda entre dos de estos resaltes; a partir de ellos, y hacia el río, el material vuelve a extenderse formando las lenguas deslizadas que llegan hasta la cota del río.

Por tanto, la rotura ha tenido lugar entre el pueblo y este estrechamiento o paso, que coincide con el pie de la superficie de rotura.

A partir de la observación de cartografías y fotos aéreas se puede deducir que este proceso de erosión de ladera ha venido actuando a lo largo del tiempo, comiendo cada vez más terreno al casco urbano de Benameji.

## VI.- MEDIDAS CORRECTORAS

Las medidas correctoras y actuaciones que se sugieren van encaminadas tanto a estabilizar el terreno actual como a prevenir y evitar futuros movimientos en la zona; se han desarrollado en base al estudio y análisis llevado a cabo, tanto del estado y características del terreno como a los factores influyentes y causas desencadenantes del deslizamiento, y pueden quedar agrupadas en los tipos:

- construcción de elementos resistentes
- modificación de la geometría de la ladera
- realización de drenajes
- impermeabilización
- seguimiento y control.

Estas medidas habrán de ser realizadas en diferentes fases de actuación. Los trabajos se enfocan con dos objetivos fundamentales; con la primera medida se pretende estabilizar el escarpe de cabecera y evitar que este siga progradando hacia el casco urbano, así como evitar la generación de posibles nuevas roturas, mientras que con las otras tres actuaciones se pretende evitar que la masa de terreno deslizada descalce de nuevo la ladera y se produzcan nuevos deslizamientos.

### Construcción de elementos resistentes

La primera labor consistiría en la realización de una serie de sondeos (al menos 10), de unos 50 m de profundidad cada uno, a pie del escarpe o grieta de cabecera y a lo largo de la misma cubriendo toda su longitud. En estos sondeos se instalarán inclinómetros para detectar la magnitud y situación de los posibles movimientos de esta zona. Una vez detectadas estas posibles superficies de rotura (si es que se produce algún movimiento en este área), se podrá diseñar correctamente una pantalla o muro anclado que se empotrará varios metros por debajo de las posibles superficies de movimiento, y que deberá tener una serie de características detalladas en el informe definitivo. Esta pantalla protegería al casco urbano de la aparición de nuevas grietas o superficies de rotura y del retroceso del escarpe.

### Modificación de la geometría del talud

Es el primero de los trabajos destinados a estabilizar la zona ya deslizada. Consistiría en el suavizamiento y uniformización de la pendiente de la ladera actual (tal como quedó después de la rotura), desde la grieta de tracción hasta el pie del deslizamiento, llevando parte del material acumulado en cabecera hacia la zona de pie para construir una pendiente lo más suave y uniforme posible hacia el río de toda la zona deslizada.

### Construcción de sistemas drenantes

Con respecto a las medidas correctoras por drenaje, su finalidad es mantener lo más seca posible toda la masa deslizada, para lo que se recomienda como más efectiva la construcción de una serie de pozos (unos 5), con un diámetro de unos 300-400 mm, situados hacia la zona de pie y una vez realizada la labor de suavizado de la ladera. En los pozos se colocarían entubaciones ranuradas de menor diámetro, y el espacio entre éstas y el terreno natural se llenaría de material filtro (gravas). El sistema de evacuación del agua de los pozos se podrá realizar mediante bombas eléctricas sumergibles o mediante la construcción de una serie de sondeos horizontales que conecten a los pozos con el exterior de la ladera, desde donde se canalizará y evacuará el agua.

Con respecto al tema del agua, se está a la espera de los resultados de una serie de ensayos de bombeo, proyectados en los pozos del pueblo, para confirmar las conclusiones con respecto al flujo del agua en la zona.

### Impermeabilización de la ladera

Una vez llevadas a cabo las anteriores actuaciones, se considera conveniente la impermeabilización superficial del terreno deslizado. La razón es que la caída de fuertes precipitaciones parece ser el factor desencadenante de los movimientos registrados en la zona. Para ello se recomienda colocar sobre el terreno de la ladera modificada una capa de geotextil impermeable, con algún material o geotextil de filtro encima, y sobre estos una capa de material arcilloso compactado

de 40-50 cm de espesor (o de algún otro material que sirva bien para evitar que entre el agua de lluvia o bien para evacuarla rápidamente ladera abajo). El agua de escorrentía deberá ser convenientemente canalizada y desviada al río. El posible problema a resolver en este caso sería el de la erosión del material depositado sobre la ladera, aspecto que quedaría solventado en gran parte mediante la hidrosiembra del talud con especies adecuadas a la zona y mediante la construcción de una serie de cordones de escollera paralelos entre sí y perpendiculares a la pendiente.

#### Seguimiento y control

Con las actuaciones propuestas anteriormente aumentará sensiblemente el factor de seguridad de la ladera. La siguiente fase consistirá en el seguimiento y control de la misma, para conocer la posible existencia de movimientos. Para ello se llevará a cabo un seguimiento topográfico de movimientos superficiales, para lo que se instalarán pilares de referencia para el apoyo de teodolitos (bases de replanteo) y puntos fijos en el terreno (por ejemplo clavos de nivelación). Para controlar los movimientos en el interior del terreno, se realizarán 4 ó 5 sondeos en los que se dejarán instalados inclinómetros.

Si tras la realización de las actuaciones propuestas se detectaran movimientos en la ladera o bien aparecieran nuevas grietas en el casco urbano, sería necesaria la toma de nuevas medidas complementarias para conseguir la estabilización.

Todos estos aspectos se detallan y describen en el informe definitivo que esperamos remitir próximamente, al igual que el coste aproximado de las diferentes fases de actuación propuestas y la localización de los sondeos, pozos, etc.

Madrid, Abril de 1991

## ANEXO V: Valoracion economica estimativa

### EVALUACION ECONOMICA ESTIMATIVA DE LAS ACTUACIONES PROPUESTAS

- Realización de 10 sondeos mecánicos de 50 m. de longitud en los que se instalarán inclinómetros ..... 10.000.000
- 310 ml. de pantalla hormigonada "in situ", armada y anclada, con viga de atado en coronación. Profundidad media estimada 15 m. Excavación con una cuchara bivalba. Paneles de 0,80 x 3,00 m. y distanciados 0,5 m. Cada panel se reforzará con un anclaje de 150 tn. (m.l. a 650.000 pts) ..... 201.500.000
- 100.000 m<sup>3</sup> de excavación mecánica a cielo abierto con transporte a vertedero (m<sup>3</sup> a 400 pts.) ..... 40.000.000
- Ejecución de 5 pozos verticales de drenaje de unos 20 m. de profundidad, entibados, con filtro y bomba ... 5.000.000
- 15.000 m<sup>2</sup> de geotextil impermeable recubierto por 50 cm. de tierra vegetal ..... 20.000.000

Seguimiento y control de los movimientos:

- a) Realización de 4 sondeos de 50 m. en los que se instalarán inclinómetros
- b) Topografía de precisión, con seguimiento periódico ..... 10.000.000

SUMA ..... 286.500.000

12 % I.V.A..... 34.380.000

SUMA TOTAL .... 320.880.000P

EVALUACION ECONOMICA ESTIMATIVA DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS  
COMPLEMENTARIAS EXCEPCIONALES

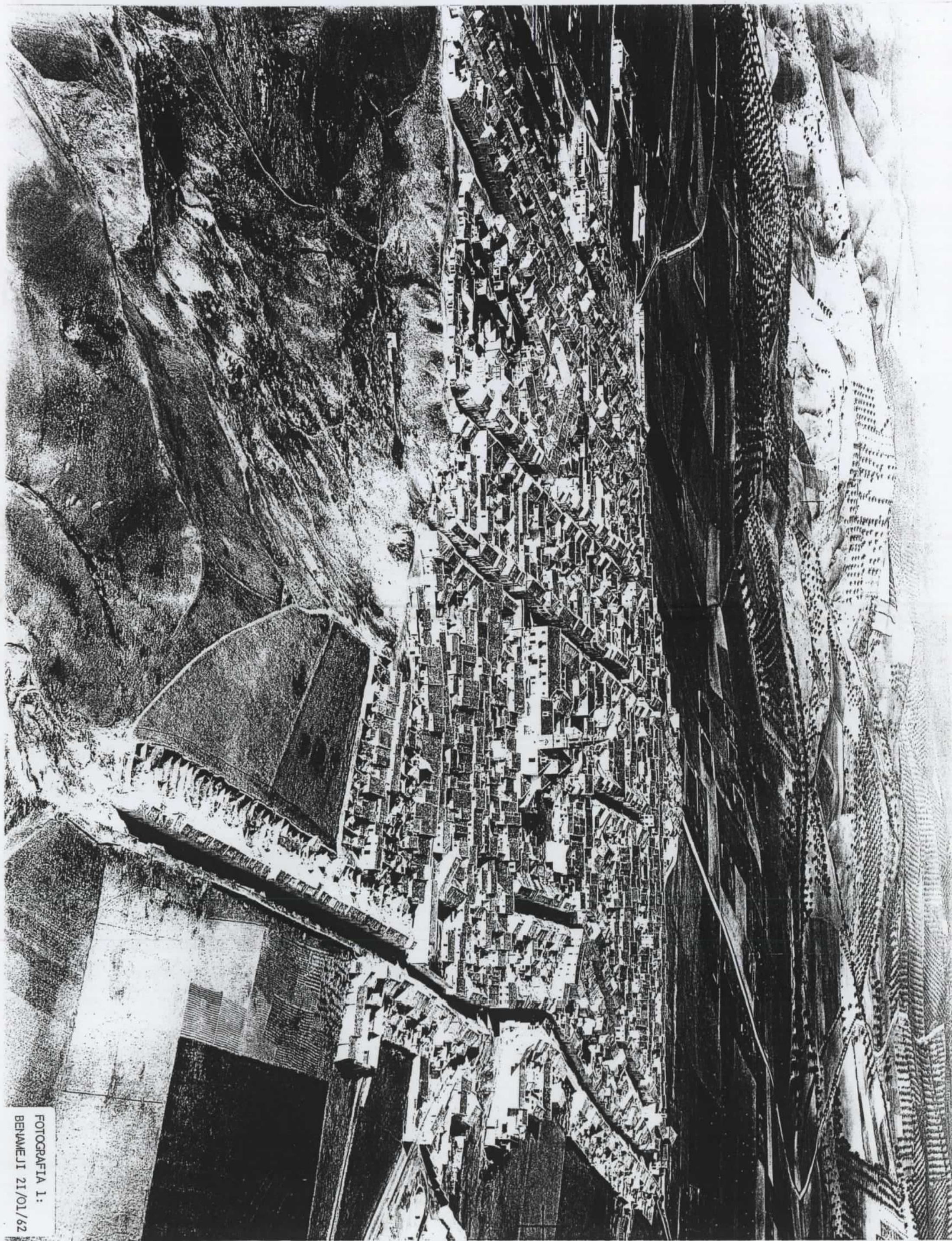
- 140 ml. de pantalla de pilotes. Profundidad media de los pilotes estimada 22 m. pilotes de 1,5 m. de diámetro, espaciados 3 m. En superficie estarán en cepados. Para el correcto dimensionamiento de los pilotes se realizarán previamente 5 sondeos mecánicos de unos 30 m.

SUMA ..... 75.000.000

12 % I.V.A..... 9.000.000

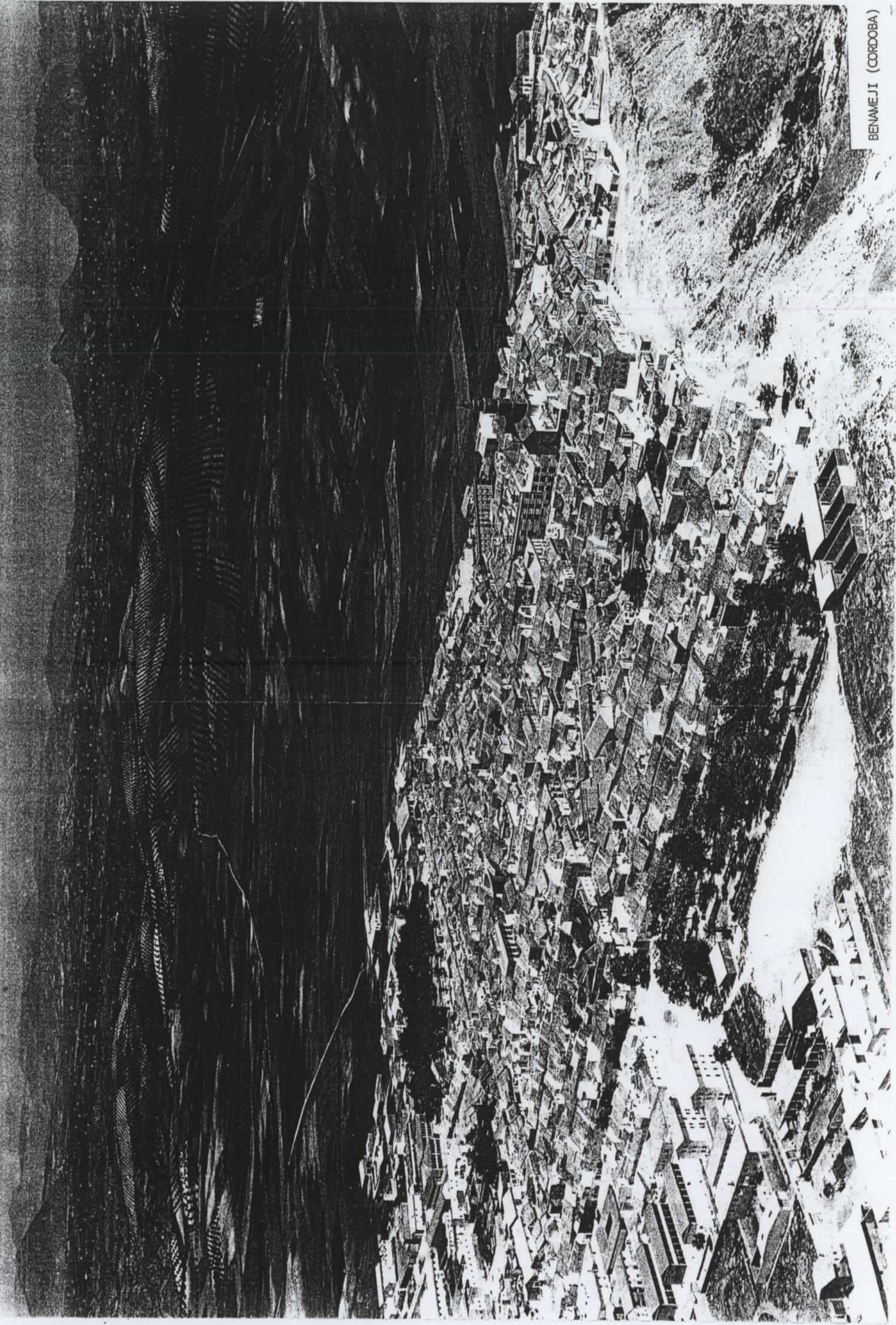
SUMA TOTAL ..... 84.000.000

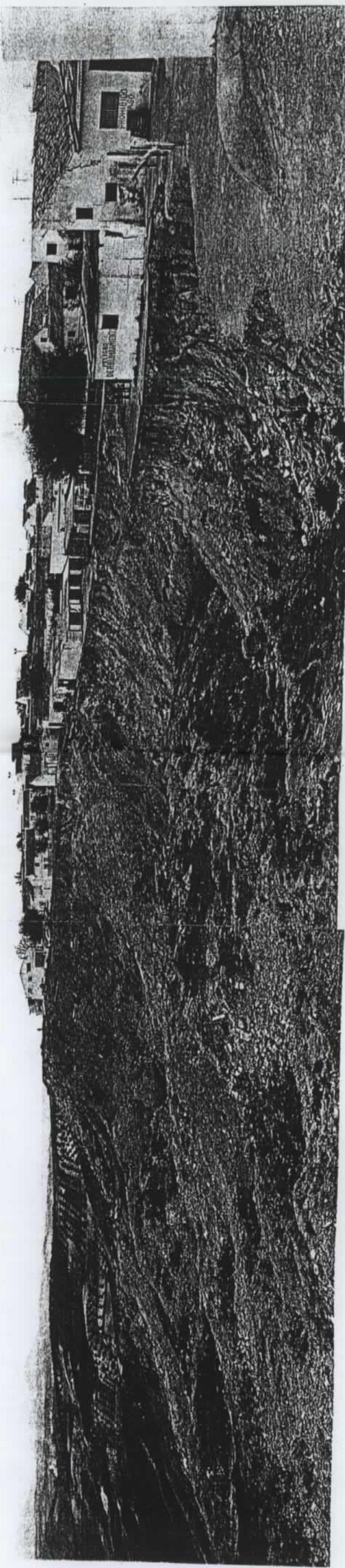
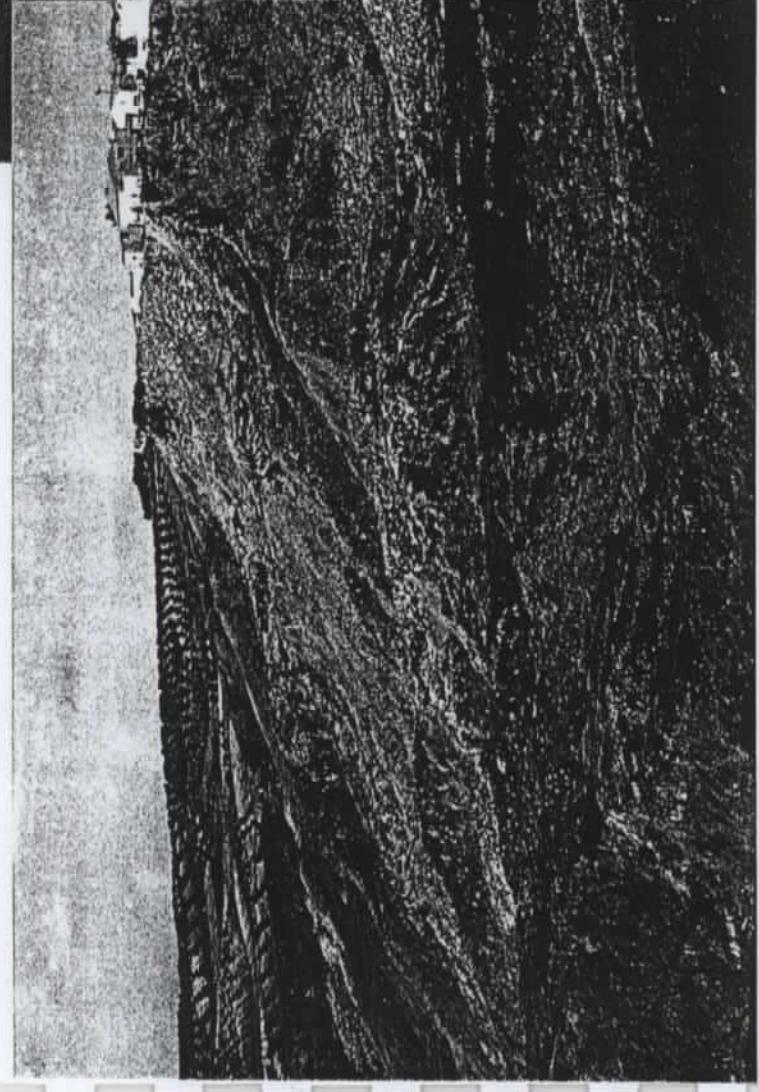
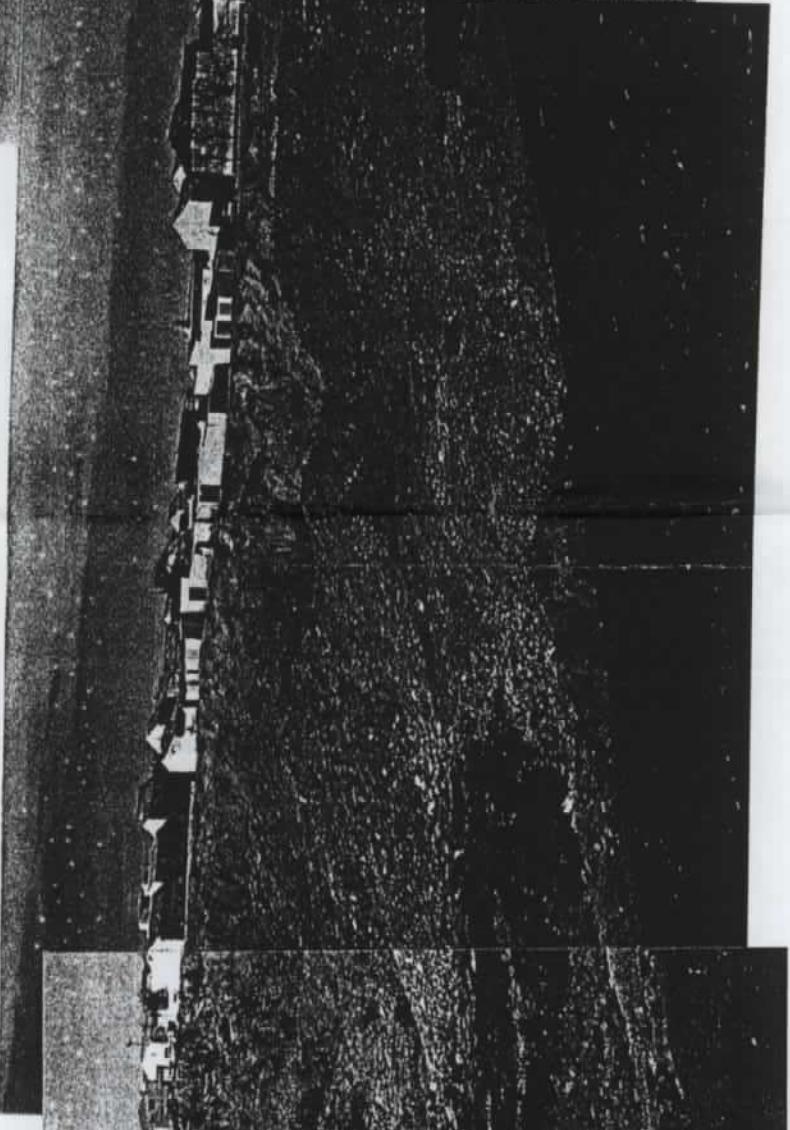
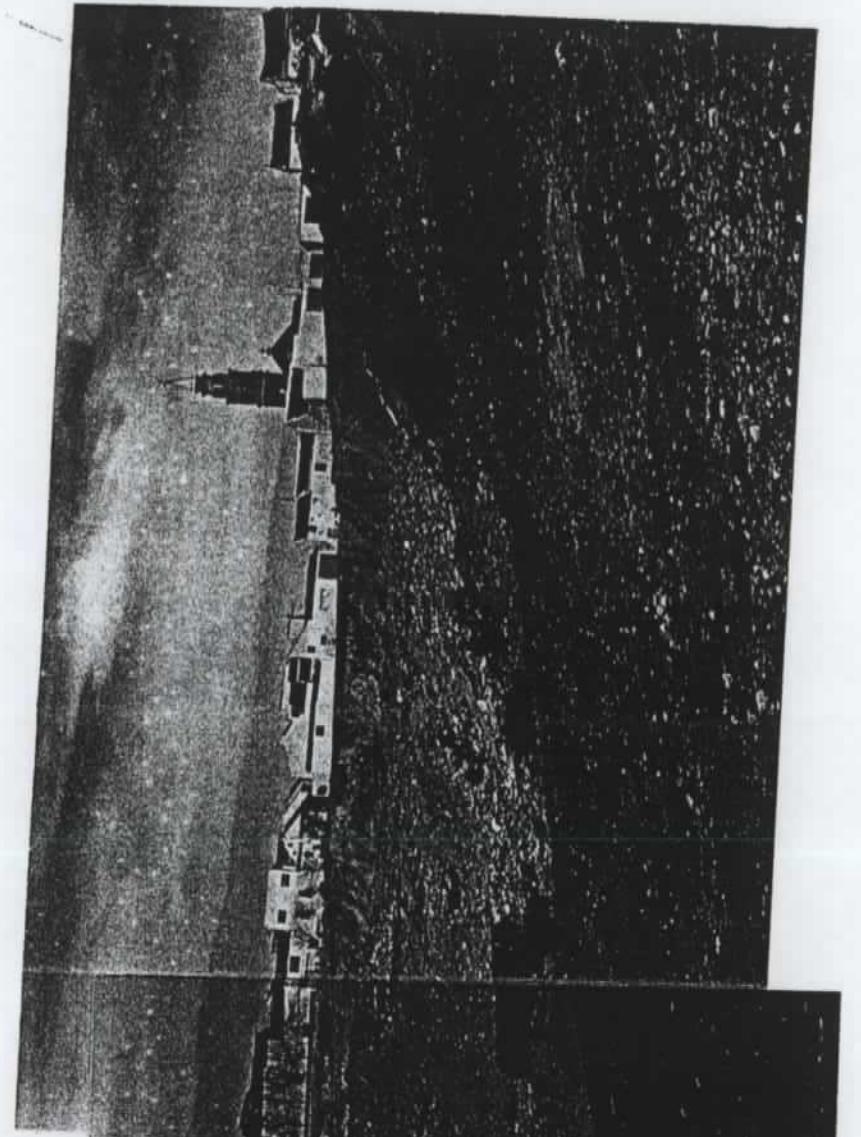
ANEXO VI Fotografías



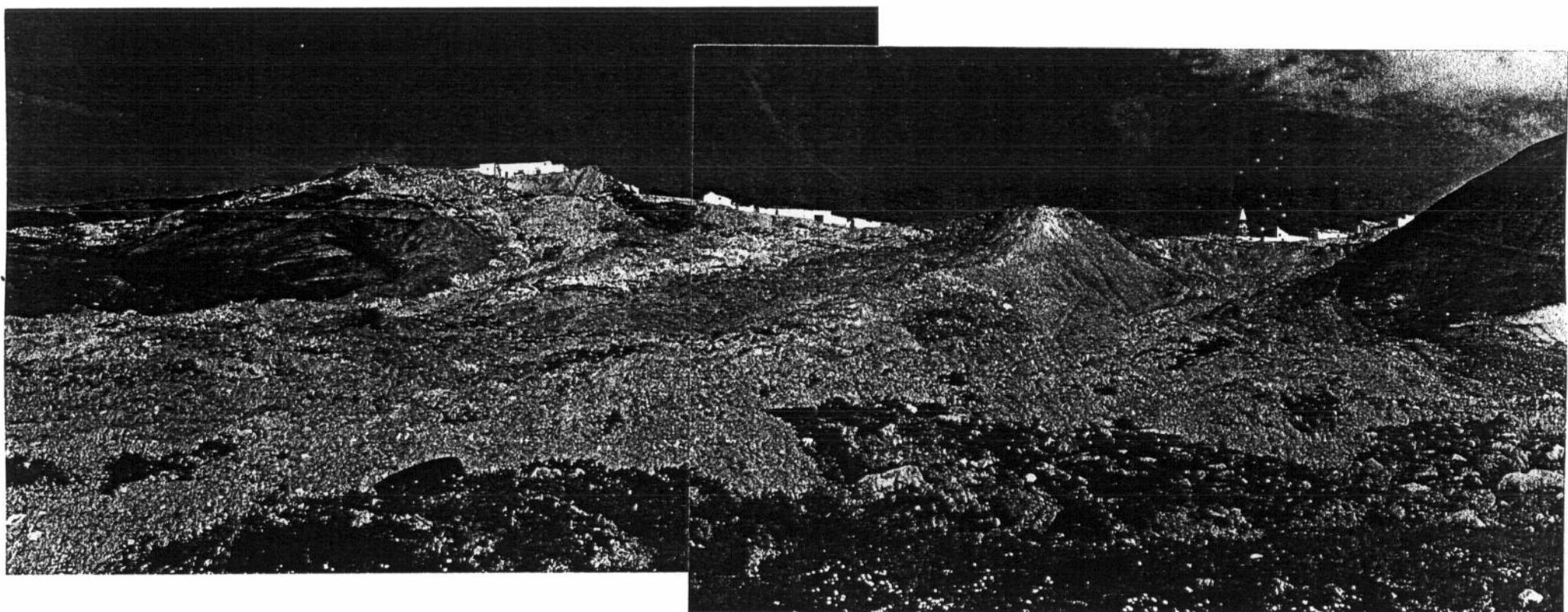
FOTOGRAFIA 1:  
BENALMÁDENA 21/01/62

BENAMEJI (CORDOBA)

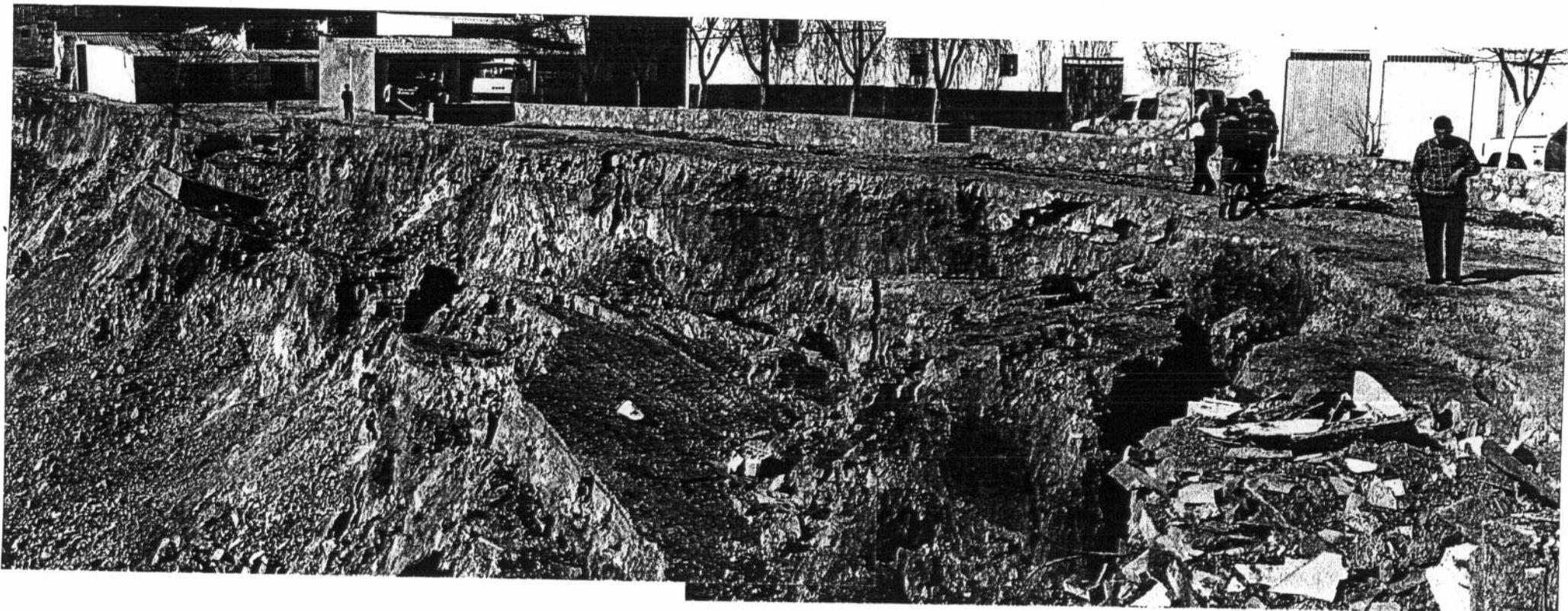




FOTOGRAFIAS 3 y 4: Vistas generales del deslizamiento.



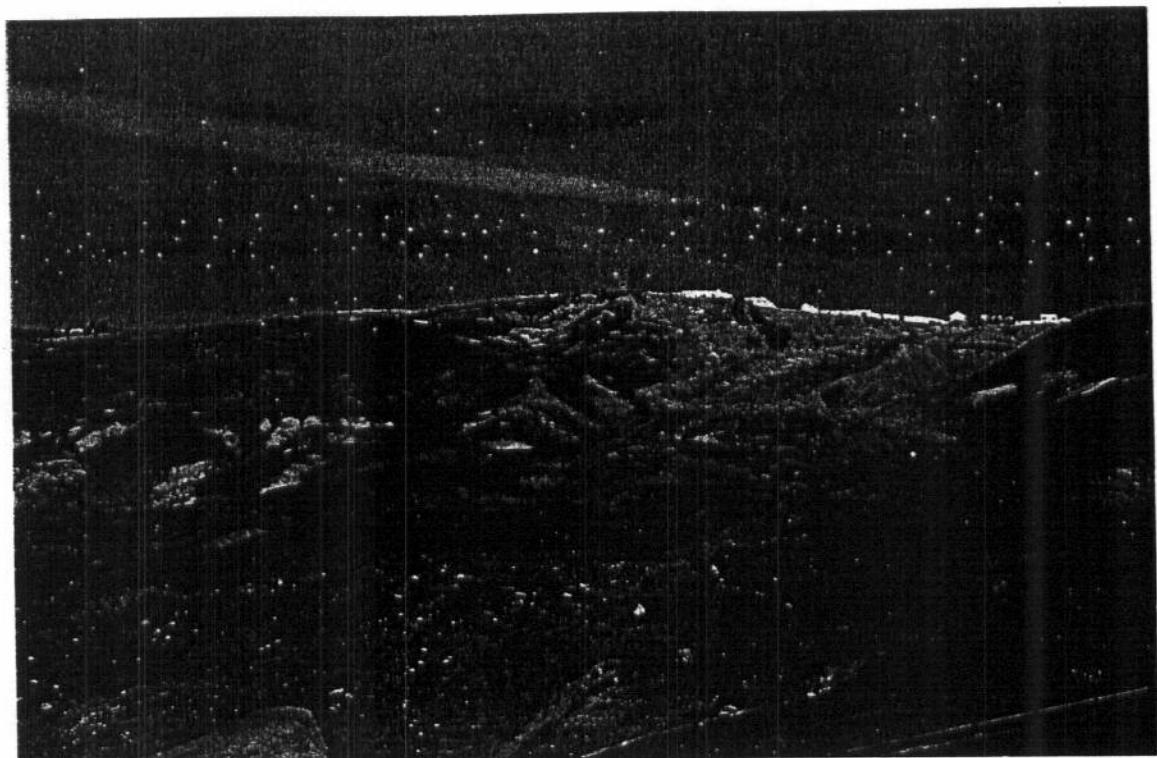
FOTOGRAFIA 5: Vista general del deslizamiento, desde el "pie" del mismo.



FOTOGRAFIA 6: Vista parcial del escarpe de coronación del deslizamiento.



FOTOGRAFIA 7: Vista general del escarpe principal de coronación. El muro que aparece en el vértice inferior izquierdo ya ha caído.



FOTOGRAFIA 8: Vista muy general del deslizamiento desde el río Genil.



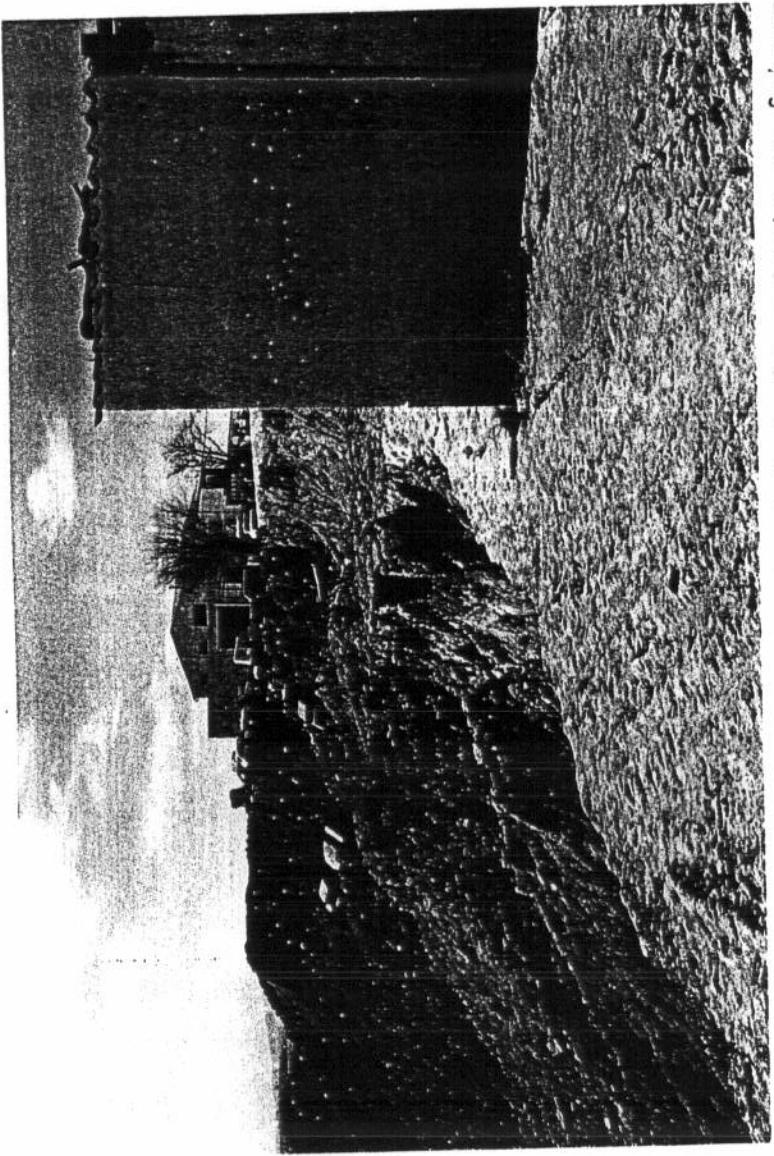
FOTOGRAFIA 9: Vista general del deslizamiento desde las proximidades del pie.



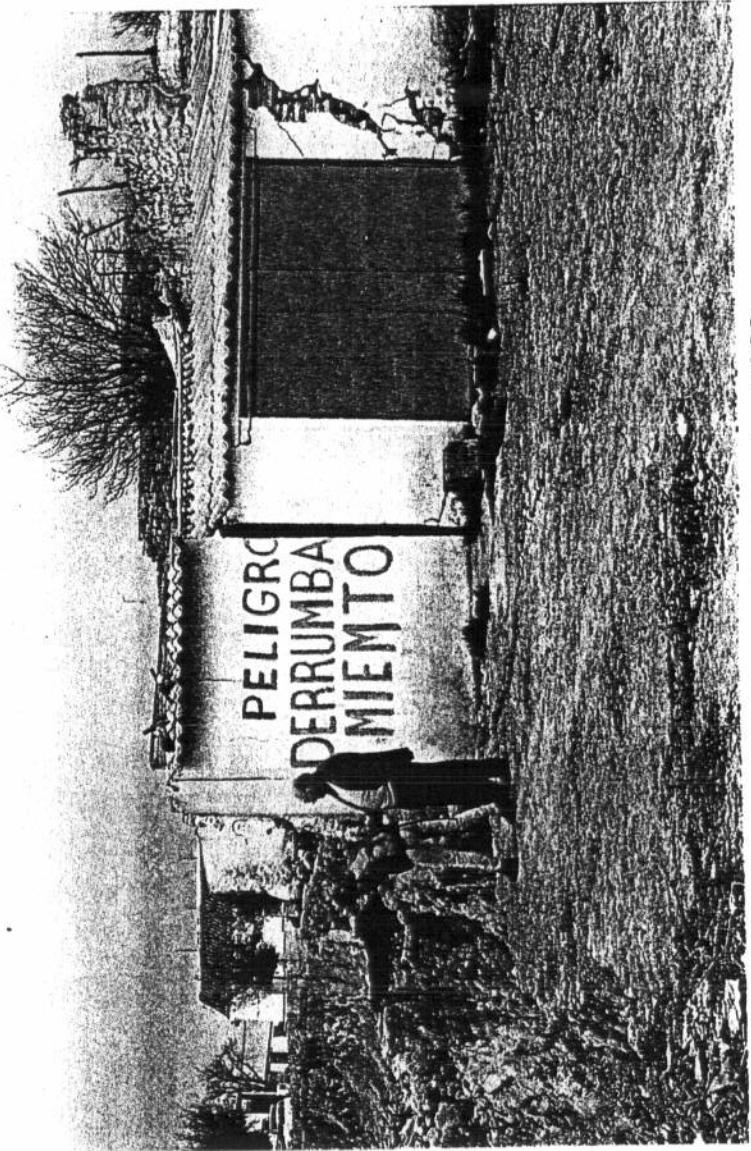
FOTOGRAFIA 10: Vista del deslizamiento el 27 de diciembre de 1989.



FOTOGRAFIA 11: Vista del deslizamiento en febrero de 1990.



FOTOGRAFIA 14: Detalle de la coronación del deslizamiento en febrero de 1



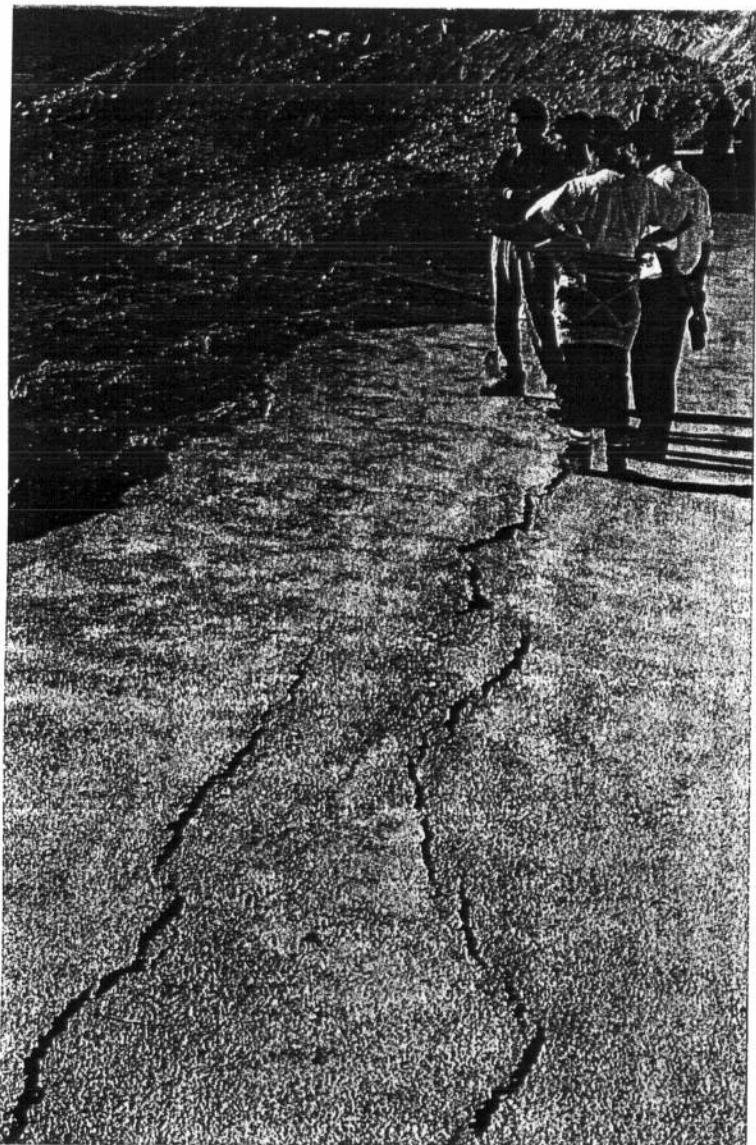
FOTOGRAFIA 15: El mismo lugar en noviembre de 1990.



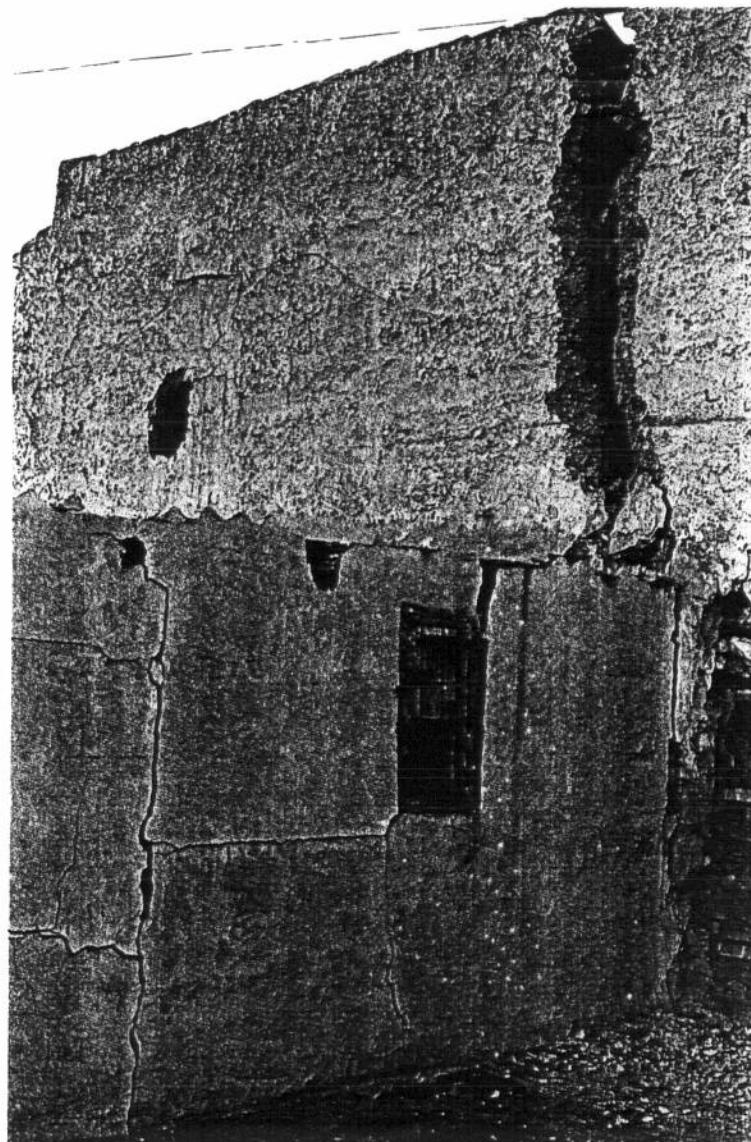
FOTOGRAFIA 16: Zona encharcada en las proximidades al "pie" del deslizamiento.



FOTOGRAFIA 17: Detalle del "pie" del deslizamiento.



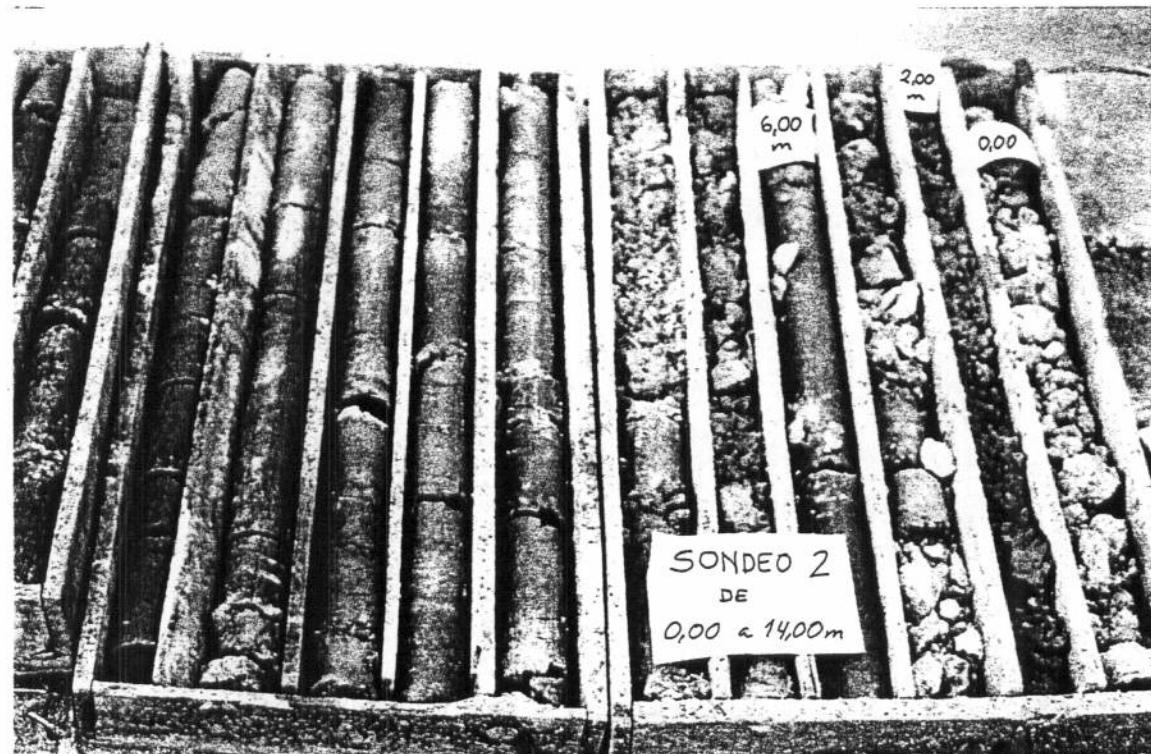
FOTOGRAFIA 18: Detalle de grietas de tracción en coronación.



FOTOGRAFIA 19: Detalle de agrietamientos en edificaciones próximas al deslizamiento.



FOTOGRAFIA 20: Cajas con el testigo del sondeo 1.



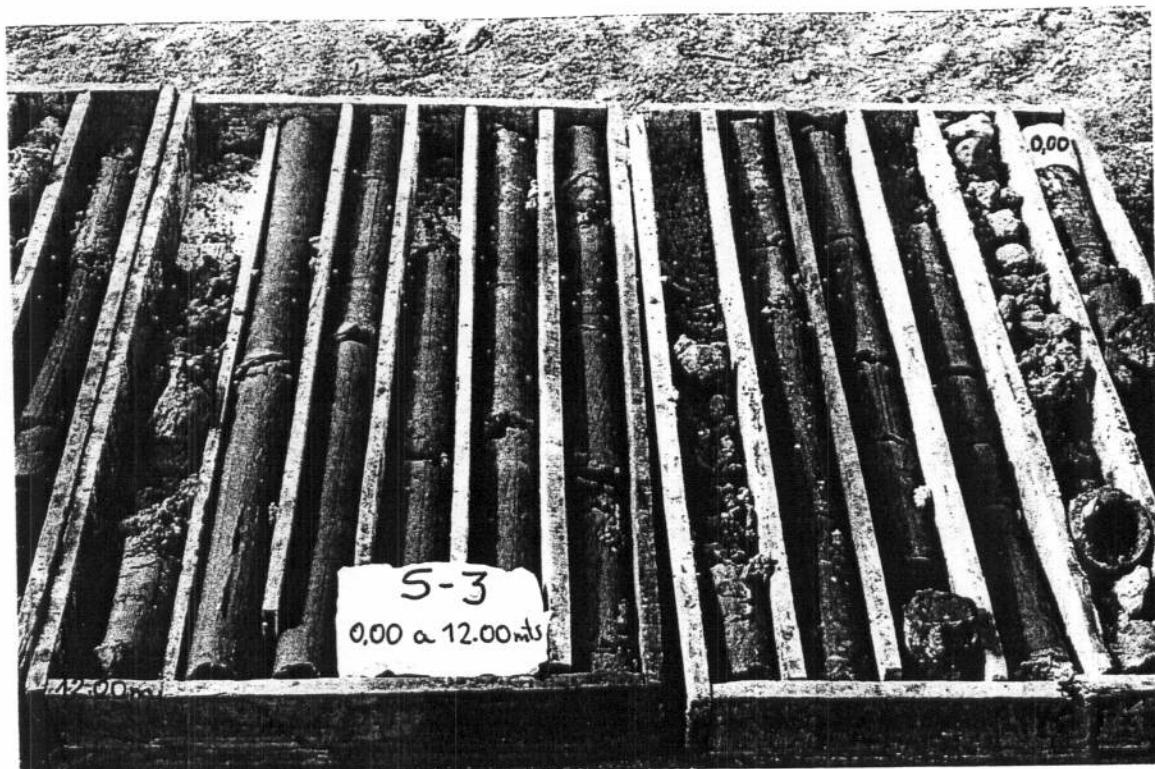
FOTOGRAFIA 21: Cajas con el testigo de 0,00 a 14,00 m. del sondeo 2.



FOTOGRAFIA 22: Cajas con el testigo de 14,00 a 25,00 m. del sondeo 2.



FOTOGRAFIA 23: Cajas con el testigo de 25,00 a 32,00 m. del sondeo 2.



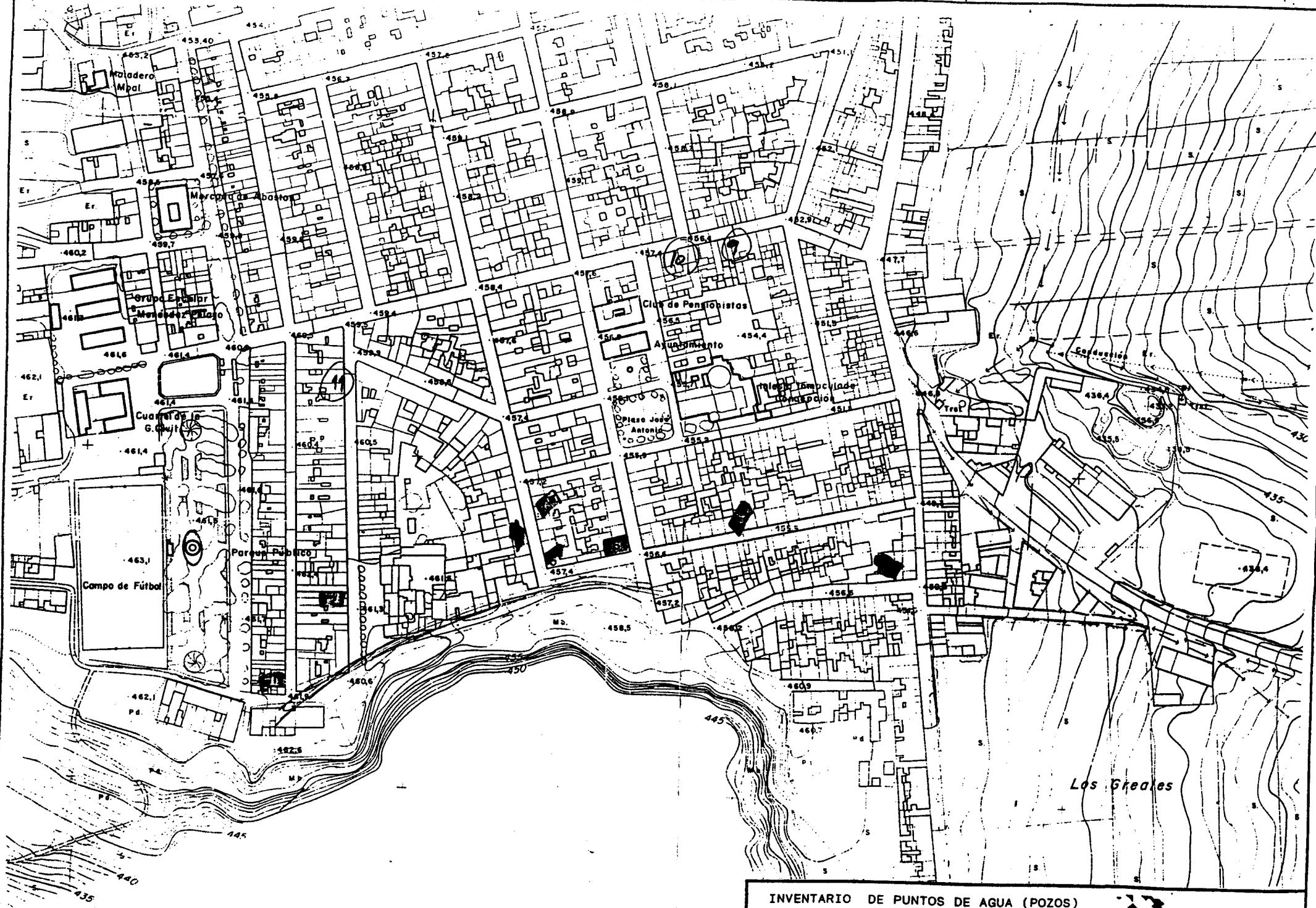
FOTOGRAFIA 24: Cajas con el testigo de 0,00 a 12,00 m. del sondeo 3.



FOTOGRAFIA 25: Cajas con el testigo de 12,00 a 25,00 m. del sondeo 3.

## **ANEXO VII: Recortes de prensa**

ANEXO VIII inventario de puntos de aguas



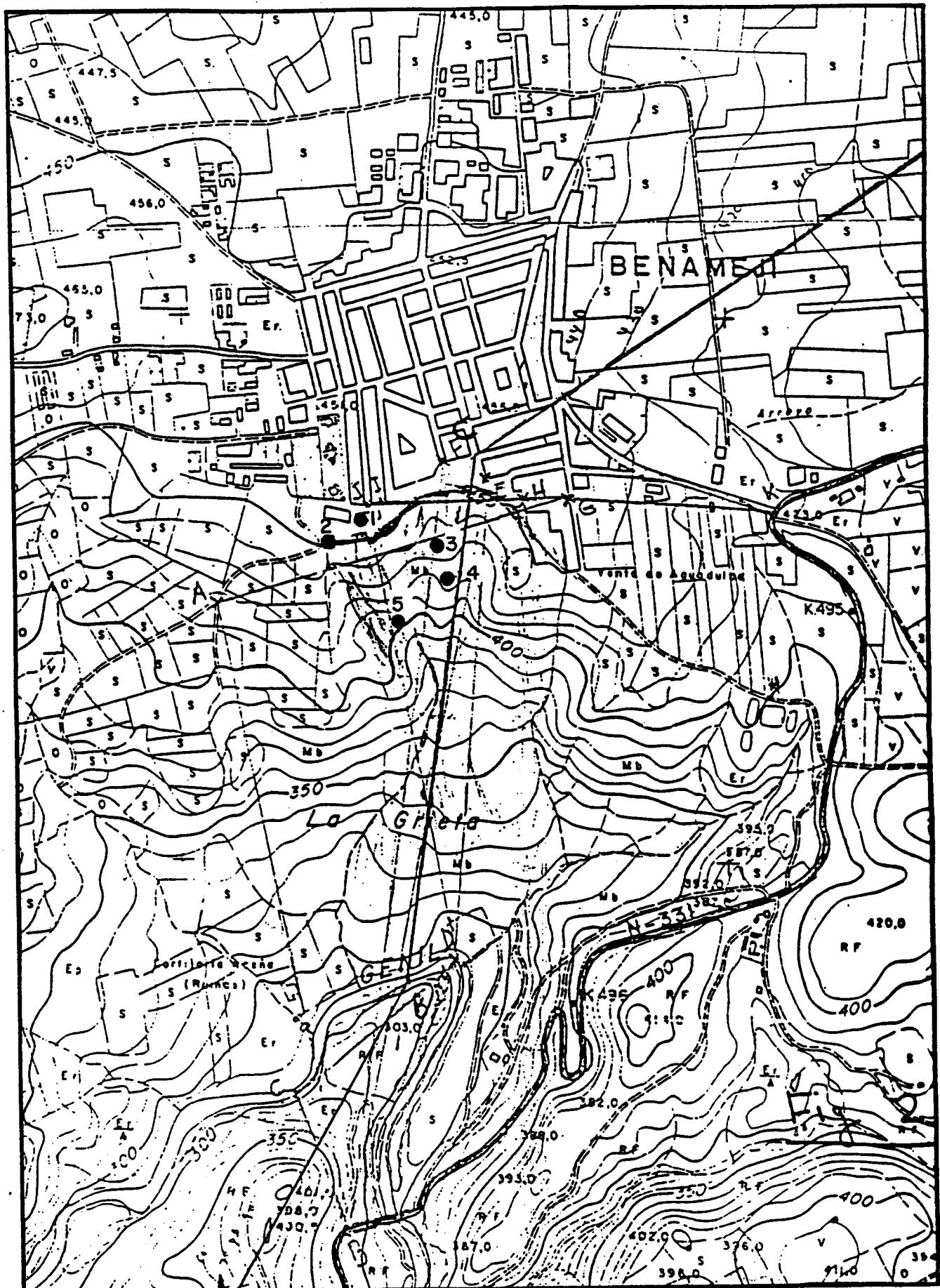
INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA (POZOS)

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

POZO <u>nº</u>	PROFUNDIDAD <u>(m)</u>	MEDIDAS EFECTUADAS			
		<u>14-2-90</u>	<u>13-3-90</u>	<u>22-5-90</u>	<u>7-8-90</u> 2/1/95
1	6.50	1.50	1.70	1.90 bombeo	3.90
2	9.50	1.50	1.50	1.50	1.60
3	8.00	3.00	3.30	3.30	3.50
4	6.50	3.50	3.70	3.70	3.90
5	6.50	1.50 bombeo	2.50	2.50	2.55
6	6.50	3.50	4.00	4.00	4.10
7	5.00	2.00 bombeo	2.80	2.80	3.20
8	6.50 bombeo	3.50	2.65	2.65	2.80

## NIVELES PIEZOMETRICOS EN SONDEOS

SONDEO	PROFUNDIDAD	NIVEL PIEZOMETRICO
<u>nº</u>	<u>(m)</u>	<u>5-2-91</u>
1	8.30	4.50
2	27.00	9.00
3	11.25	8.50



INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA 30-4-1987

Extraido del Informe con misma fecha realizado por la Dirección Provincial de Córdoba del Ministerio de Industria y Energía.

## ANEXO IX: Precipitaciones

PRECIPITACION MENSUAL (1/m<sup>2</sup>) EN BENAMEJI

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1968			161	41	18	14	0	13	0	27	90	125	-
1969	56	120	107	65	9	0	0	44	104	62	127	70	803
1970	237	20	59	21	35	24	0	0	0	0	48	91	525
1971	117	0	91	152	93	22	0	0	34	0	32	46	587
1972	122	70	60	34	34	0	0	25	91	66	112	61	618
1973	67	31	64	22	73	28	0	0	0	48	35	82	450
1974	34	53	34	86	0	24	0	0	0	8	16	8	247
1975	30	117	48	91	29	13	0	11	0	0	9	70	432
1976	24	117	48	91	29	0	0	7	39	129	49	175	709
1977	135	56	0	0	0	0	0	0	0	47	55	86	385
1978	64	107	61	70	36	44	0	0	0	16	33	144	875
1979	130	159	61	41	0	0	0	0	54	137	53	32	667
1980	32	33	42	11	20	9	0	0	0	83	97	0	---
1981	0	12	31	100	29	13	0	0	41	9	0	155	390
1982	69	75	22	35	18	0	25	92	0	67	17	159	540
1983	0	9	52	39	11	0	0	47	0	0	150	84	392
1984	33	52	83	31	69	0	0	0	3	15	144	6	436
1985	73	57	16	32	56	28	0	0	4	0	66	85	417
1986	78	100	57	61	14	0	0	0	3	15	144	6	436
1987	129	101	0	42	0	0	0	46	15	102	55	65	555
1988	81	57	15	83	35	13	2	0	0	* 83	39	2	410
1989	40	37	44	50	23	12	0	10	40	55	193	130	634