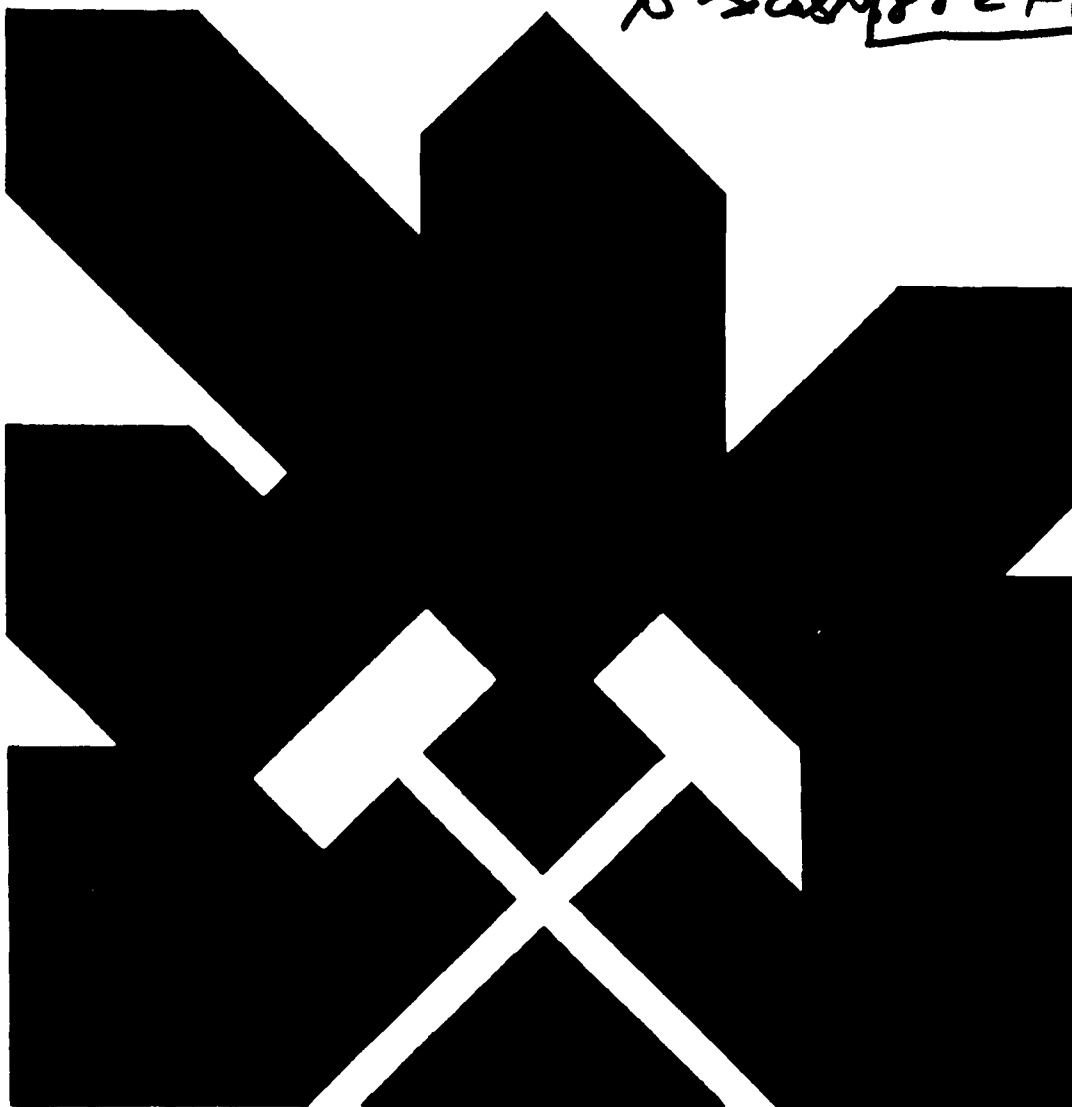


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

DESLIZAMIENTOS DE LADERA EN LA RESIDENCIA I
DE ANCIANOS DEL POLIGONO BENEFICO DOCENTE
DE FUENTES BLANCAS.
- BURGOS -

Nº Sicaen/88241



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

01216

Este estudio ha sido realizado por el siguiente equipo:

- D. Francisco Javier Ayala Carcedo.
 - * Ing. de Minas.
 - * Jefe del Area de Geología Ambiental y Geotécnica del I.G.M.E.
 - * Director del Estudio.

- Dña. Mercedes Ferrer Gijón.
 - * Lcda. en CC. Geológicas.
 - * Area de Geología Ambiental y Geotécnica del I.G.M.E.

- D. Guillermo O. Conconi.
 - * Ing. Civil.
 - GEONOC, S.A.

- D. Alberto Gracia Bernal.
 - * Lcdo. en CC. Geológicas.
 - GEONOC, S.A.

I N D I C E

- 1.- INTERPRETACION.
- 2.- LOCALIZACION Y ACCESOS.
- 3.- ANTECEDENTES.
- 4.- GEOLOGIA.
 - 4.1. Estratigrafía.
 - 4.2. Tectónica.
 - 4.3. Historia Geológica.
 - 4.4. Geomorfología.
- 5.- CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES.
- 6.- RECOMENDACIONES GENERALES.
- 7.- DESCRIPCION DE LA SITUACION.
 - 7.1. Estudio de la Fotografía Aérea.
- 8.- ANALISIS DE ESTABILIDAD.
- 9.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A N E X O S

- I. Esquema y cortes.
- II. Fotografías.
- III. Análisis de laboratorio.

El INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (I.G.M.E.), ha llevado a cabo con la colaboración de GEONOC, S.A. estudios sobre riesgos geológicos en diversos puntos de la geografía española. La selección de estos puntos fue realizada en función de la ayuda técnica solicitada en el momento de producirse el fenómeno.

Este informe ha sido elaborado en virtud de la solicitud de asistencia técnica de la Excma. Diputación Provincial de Burgos, a través de su Departamento de Urbanismo, al I.G.M.E.

Se pretende dar información sobre el origen y progreso de las inestabilidades derivadas en el proceso de deslizamiento de tierras, que amenazan con afectar a la estructura de un asilo de ancianos (no ocupado) en el área denominada "Fuentes Blancas", término Municipal de Burgos.

Junio de 1.988.

1.- INTRODUCCION.

En los últimos años el estudio sobre daños, a veces catástrofes, producidos por procesos relacionados con Riesgos Naturales, en este caso de tipo Geológico, se ha hecho cada vez más importante y necesario.

Es la propia Administración la que, según el estudio: "Impacto económico y social de los Riesgos Geológicos en España" realizado por el Instituto Geológico y Minero, denuncia la grave repercusión de estos riesgos.

La evolución natural de un talud, en ocasiones deriva en una inestabilidad que puede manifestarse de diversas formas y cuyas causas se pueden encontrar desde en la propia naturaleza de los materiales que lo forman hasta en todo tipo de acciones naturales y antrópicas que sobre él se ejerzan.

Estudios como el presente informe pretenden analizar entre otros factores, lo referente a como repercuten la estructura geológica, los parámetros geoambientales y las modificaciones realizadas por el hombre, sobre el proceso evolutivo de los taludes.

El análisis ha de ser luego útil para corregir, con mayor conocimiento de causa, las inestabilidades presentes en la ladera.

2.- LOCALIZACION Y ACCESOS.

El punto donde se localiza el deslizamiento objeto del estudio se encuentra dentro de un complejo benefico-residencial y de enseñanza a las afueras de la ciudad de Burgos, en el extremo Este de la ciudad, dentro del área denominada "Fuentes Blancas".

El acceso desde el centro de la ciudad de Burgos se realiza por el P.º de la Quinta que pasa paralelo al Río Arlanzón y que enlaza con la carretera local BU-L-8.000 con dirección al Monasterio de Cardeña.

Aproximadamente, en el Km. 4,8 es preciso tomar una derivación hacia la izquierda que penetra en una zona perteneciente a la Diputación Provincial en la que existen centros de enseñanza y asistenciales. Cruzados dos colegios se divisan dos edificios cuya planta es en forma de cruz griega. Sobre el primero de los edificios (no habitado) se encuentra una ladera, que sube hacia la Urbanización "Fuentes Blancas", donde se localiza el deslizamiento.

Arquitectura y Urbanismo

CENTRO FORMACION
PERMANENTE PROFESORADO

RESIDENCIA ANCIANOS . II

RESIDENCIA ANCIANOS . I

CENTRO E.G.B.

CENTRO
EDUCACION
ESPECIAL

RESIDENCIA
HOGAR INFANTIL

CAMPO FUTBOL

PISCINA

VESTUARIOS

VIVIENDA CONSERJE

PARQUE INFANTIL TRAFICO

Desplazamiento

ENTRADA

3.- ANTECEDENTES.

En la ciudad de Burgos y alrededores, en virtud de las específicas características geológicas, no son desconocidos los procesos de deslizamientos de ladera. Concretamente, en los últimos tiempos se recuerda como en el "Cerro del Castillo" se produjo un deslizamiento superficial que se estimó entorno a los 300 m. de desplazamiento en materiales margo-arcillosos, de características similares a los que en este caso se estudian y relacionado con una desforestación arbustiva reciente.

Concretamente en toda la ladera que da al Río Arlanzón, en cuya zona alta se encuentra la Urbanización de "Fuentes Blancas", ya se habían apreciado procesos de similares características:

En el colegio municipal que queda al Oeste, inmediato del punto que nos encontramos también se produjo, en la primavera de hace cuatro años, un llamativo deslizamiento plano que arrastró en el proceso árboles de embergadura importante, penetrando el material dentro del mismo patio de recreo.

Según declaraciones de guardas forestales, se "limpio" de vegetación previamente, como en el caso del Cerro del Castillo, toda una zona del talud, parte de la cual intervino en el deslizamiento.

En la Urbanización "Fuentes Blancas", en un punto algo al Este de la residencia afectada hoy, un deslizamiento acompañado de procesos de avalancha dejó al descubierto parte de la cimentación y en voladizo el enlucido superficial de un chalet construido sobre la ladera.

En general por declaraciones hechas por entendidos, propios de la zona, "en el Río Arlanzón todas las laderas presentan este tipo de dinámica de erosión de taludes".

Particularmente, en el caso del deslizamiento actual, el entorno, en su parte alta, presenta una morfología en forma de circo que hace sospechar de forma lógica, que se trate de un paleodeslizamiento.

Se realizaron excavaciones en el pie del talud, para acondicionar la zona urbanizada perimetral de la Residencia. Y al apreciarse que se producían grietas en la parte alta de la ladera y que se producía una acumulación de material en soliflucción sobre la pared Sur del edificio se pararon las obras. Intervino inmediatamente el Aparejador y Director de las obras: D. Daniel Gómez, suspendiendo las obras e informando a la Corporación y acordonando una zona de seguridad.

Esa Corporación tomó la decisión de pedir asistencia técnica al Instituto Geológico y Minero de España el cual interviene mediante la presente memoria.

4. GEOLOGIA.

La Geología de la ciudad de Burgos y su entorno se ha estudiado con detalle, plasmándose en una mapa E = 1:25.000 sobre la base topográfica de la Cartografía Militar (Mapa Especial-Burgos 1.976).

Este mapa se realizó ex profeso para el "Estudio del Medio Físico de Burgos". I.G.M.E. (1.988).

4.1. Estratigrafía.

Todos los materiales aflorantes en esta zona son de edad Miocena y Cuaternaria.

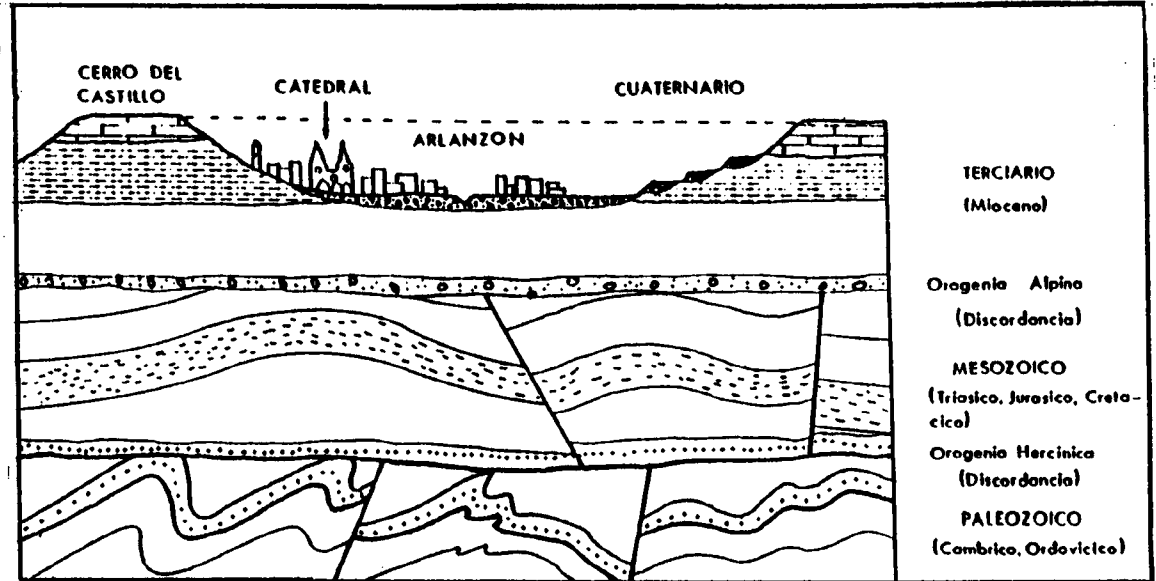
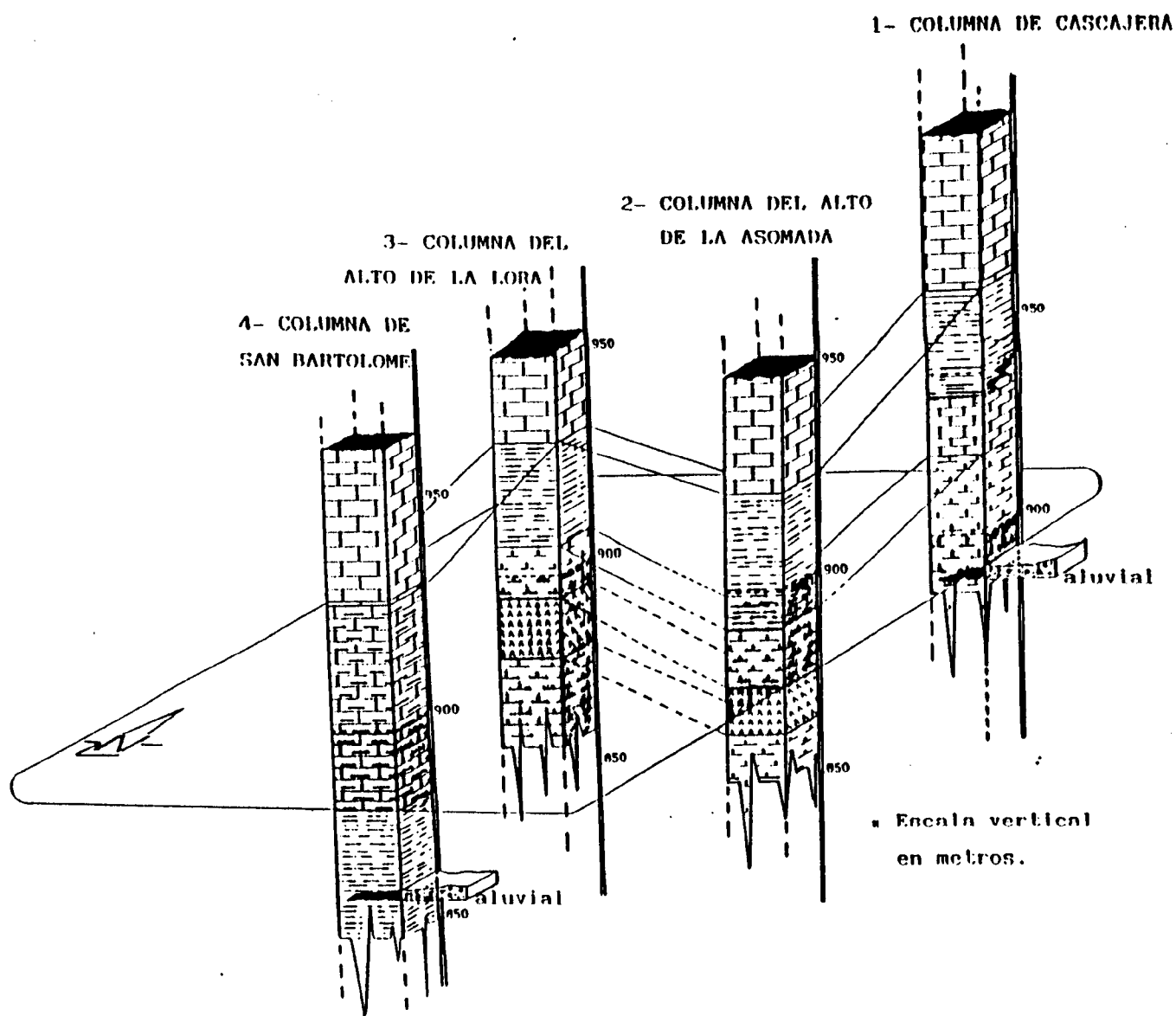






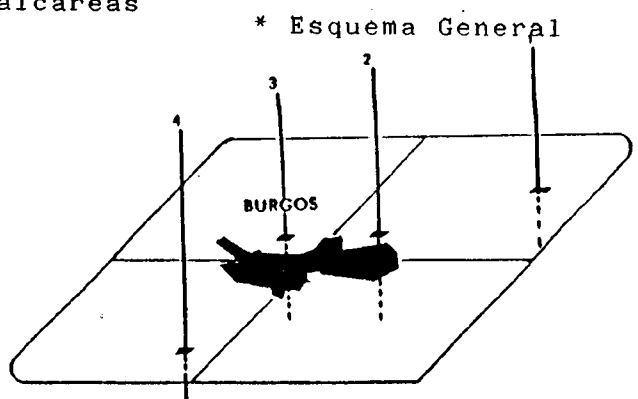


Fig. 1.: Esquema orientativo de la constitución del subsuelo en la ciudad de Burgos.



* Escala vertical en metros.

-  Calizas del Páramo
-  Margocalizas y margas calcáreas
-  Arcillas rojas
-  Calizas blancas
-  Yesos y margas.
-  Margas.



* Esquema General

Fig.: 1 .- Esquema geológico del entorno de la Ciudad de Burgos.
 Fuente: Atlas del Medio Físico de la Ciudad de Burgos y su Marco Provincial. (I.G.M.E.).

Terciario.

Los materiales terciarios que aparecen en esta Hoja corresponden al:

Mioceno Medio y Superior.

Podemos distinguir dos bloques con distintas series: estas quedan divididas por el Río Arlanzón. Al norte de éste encontramos los materiales más antiguos que afloran en esta zona, unas margas arcillosas que forman el suelo de la campiña de Ubierta. Sobre las margas encontramos una capa de yesos cristalizados en punta de flecha, con arcillas grises. Esta misma capa que podemos encontrar en la base del Cerro del Alto de la Lora, en la Cuesta del Rey y Santervás, en los Paramillos, y que es atravesada por la Carretera de Santander, también aparece en el cuadrante NE. y en la mitad Sur del mapa. Tan sólo en el peaje de Fuentes Blancas de la A-1 (Autopista - Burgos - Bilbao - Zaragoza) bajo las arcillas rojas, y en el Arroyo de Novillas, donde se ha erosionado una fina capa de margas suprayacentes, quedan al descubierto los yesos, aunque alterados y disueltos.

Por encima de los yesos aparecen otras margas. Estas son muy parecidas a las anteriores. El contenido de arcilla también es alto.

La siguiente capa la constituyen las arcillas rojas, de gran continuidad, y que en esta Hoja nos pueden servir de capa guía, pues podemos encontrarlas tanto en la mitad Sur como en la Norte, aunque en el cuadrante SO. casi no afloran, pero saliendo unos centenares de metros, tanto al Sur como al Oeste las encontramos. De estas capas hay que señalar varias particularidades: tanto las arcillas como las calizas suprayacentes aparecen inclinadas en la esquina NE, buzando hacia el Sur. En el extremo NE. unas calizas se interponen entre las "margas arriba" y las arcillas rojas.

Esta capa de calizas, de poca continuidad lateral alcanza 20 m. de espesor en los puntos de mayor potencia. Lateralmente va perdiendo potencia, hasta convertirse en un nivel de caliche blanco y desaparecer. Como las capas subyacente y suprayacente se mantienen paralelas, la potencia de las arcillas varía según aumente o disminuya la de las calizas, pues la suma de las dos capas es constante (40 metros).

En la capa de arcillas encontramos también algún nivel de areniscas y algún paleocanal. El nivel de areniscas aparece casi siempre pero no puede considerarse como capa-guía pues se interrumpe en algún punto localizado. No siempre se encuentra en la misma posición dentro de la capa: unas veces se hallan a techo, otras a muro, otras en medio, etc... La potencia de este nivel de areniscas oscila entre 1 y 2,5 m. Los paleocanales son visibles en tres puntos de la Fuente Madre Juana, próxima al repetidor de T.V. tras unas edificaciones recientes en la Fuente del Corral, al N. de Villafría y en el Camino del Convento de las Franciscanas Misioneras de María Cotar.

Cerca de la Fuente del Corral se encuentra la Fuente del Rey. Al E. de la Fuente podemos situar el extremo de la capa de calizas blancas que en este extremo desaparecen dejando una superficie el oncolitos, que indica un paleocanal de poca energía.

Estas arcillas también contienen bancos de arena; así, en Puertas Verdes hay una finca privada de la que a veces han sacado camiones de arena para construcción. Se trata de arena limpia y bien seleccionada. Estas arcillas se explotan en varias canteras, para la fabricación de cerámica para construcción. Algunas alcanzan el muro de la capa -compuesta por arcillas grises- difícil de distinguir en los afloramientos naturales. Las de mayor importancia son las que están en el Km. n.º 3 de la Carretera a Quintanar y la situada en el Km. n.º 24 de la Carretera Nacional I.

Por encima de las arcillas rojas encontramos unas margocalizas. En la mitad Sur del mapa aparecen bien diferenciadas margas y calizas, y en la mitad Norte no se diferencian. Se trata de unas calizas raramente masivas. Forman un páramo que constituye el techo de casi todos los cerros de la zona.

Cuaternario.

En el Cuaternario se han distinguido seis episodios, cuatro correspondientes a las terrazas y dos al aluvial. Comenzando por el aluvial cabe distinguir, dentro del mismo compuesto por arenas y gravas, una zona de recientes movilización en la que se puede estudiar la evolución del curso del río, como han variado los meandros, etc. Esto sólo se distingue en el Arlanzón y en el Arroyo Caz Molinar, a la salida de San Medel. Son las zonas de más reciente sedimentación.

El aluvial está compuesto por varios metros de grava sobre las arcillas y yesos del Terciario. Precisamente en las gravas (muy permeables) aparece siempre en nivel freático: en las épocas secas sólo unos centímetros sobre las arcillas, en los meses de invierno y primavera podemos encontrarnos con una lámina de 2,5 m., a muy poca profundidad (poco más de 1 m. en algunas zonas).

Una primera impresión al observar el mapa geológico respecto a las terrazas es la diferente evolución que se aprecia entre la mitad Sur, en la que encontramos unas terrazas bien gradadas, y la mitad Norte en donde las terrazas, o están próximas al aluvial y son muy extensas (Villalonquejar y Gamonal - Villafría - San Medel) o son pequeños retazos que indican una erosión más intensa que sólo ha permitido conservar estos pequeños retazos. La primera terraza (QT-1), terraza más alta, está representada en el Cerro de San Bartolomé, aproximadamente desde los

950 metros a los 967 metros que alcanza la cima del Cerro. Esto constituye el depósito más alto, pero la terraza continua también en otras zonas, siempre dentro del cuadrante SO. La segunda terraza (QT-2), tiene un gran desarrollo lateral. Forma una franja E-O., entre las cotas 930 - 950 al Este, y 890 - 910 al Oeste (aguas abajo). Desde el Arroyo de Linares al Arroyo de las Fuentes su continuidad sólo se ve alterada por los cauces de los arroyos.

Hay también una mancha aislada al N. de Villagonzalo-Pedernales, entre la carretera nueva, Fuentevela e Hinojosa.

La terraza (QT-3) es la de mayor continuidad lateral; de extremo a extremo de la Hoja forma una banda de 780 m. de anchura media, paralela al Río Arlanzón. También se han conservado en la esquina SO. de la Hoja bastantes "manchas" algunas de ellas muy ténues, que también pertenecen a (QT-3), así como algunas manchas en el Ubierna. Las cotas entre las que se sitúa esta terraza son 910 - 930 al Este y 880 - 900 al Oeste.

La terraza más baja (QT-4), ocupa una amplísima superficie desde Gamonal de Riopico y "Las Torres" al extremo E. de la Hoja.

4.2. Tectónica.

Al observar la red fluvial de la Hoja 1:200.000, se aprecia una clara orientación en unas direcciones predominantes E-O; N-S y SE-NE, lo que hace suponer una influencia tectónica en el encajamiento fluvial combinado con procesos de basculamiento general. Esto también lo podemos apreciar en la Hoja 1:25.000, en la que se observa que el Arlanzón mantiene una tendencia E-O. (debemos considerar el aluvial y no el cauce actual del río); el Vena y el Ubierna mantienen un cierto paralelismo, y el Côtar, el Cardeñadijo, el Arroyo Linares y el Arroyo de las Fuentes discurren también paralelos entre sí y en la conjugada de los tres anteriores.

Como ya se ha dicho anteriormente, en el Paleógeno parece que se produjo un fase tectónica, que está tapada por el Mioceno, aunque se ve afectado.

Hay que señalar el origen tectónico de las cuestas estructurales que han afectado a los materiales Miocenos. Estas cuestas estructurales se aprecian en los páramos y están definidas por su morfología plana, inclinada hacia el N. y el O. en la mitad Sur del mapa, y al SO. en el cuadrante NO. de la hoja. La cuesta de la Varga, en la N-I, hacia Madrid, es un claro ejemplo de cuesta estructural en la que se aprecia la inclinación de las capas miocenas.

En la zona de estudio podemos suponer una serie de fallas que, como hemos dicho anteriormente, marcan probablemente la dirección de los cursos fluviales; pero además, como en el caso de Cardeñajimeno, podemos deducir el salto de falla, de 20 m., siendo el labio hundido la margen izquierda. En el Ubierna, el bloque que queda en la margen derecha del río han basculado, hundiéndose por el SO.

Tanto en el Arroyo Morquillas como en el Linares, no se observan saltos de fallas, pero la secuencia sedimentaria va ría de una margen a otra.

4.3. Historia Geológica.

En el Mioceno se produce una elevación de los bordes de la cuenca con el consiguiente hundimiento relativo de la zona central.

El drenaje de la cuenca es hacia el Sur (Estrecho de Burgos). Como ocurre siempre, al levantarse los bordes de la cuenca se produce una actividad fluvial importante con fuerte erosión en la zona elevada y sedimentación de esos aportes en los lugares donde la pendiente es menor, los ríos tienen menor energía y no son capaces de arrastrar tanta carga: depositan en primer lugar los materiales más gruesos y pesados, bolos, gravas, etc., después arenas gruesas y arenas cada vez más finas, limos, arcillas y por último, en zonas de energía nula o mínima se depositan los precipitados químicos: yesos y sales.

En el entorno de Burgos nos encontramos con una secuencia del medio lacustre, con escasez de materiales terrígenos. En general abundan los yesos, margas y arcillas (reactivación) y termina con margocalizas y calizas de facies lagunares, como lo comprueban los yacimientos de gasterópodos fósiles de Castrillo de Val.

El proceso sedimentario en el centro alcanza gran desarrollo, llegando a colmar parcialmente las partes más bajas. Posteriormente se produce un endorreismo.

Todo este proceso de levantamiento de los bordes de cuenca se produce en el Mioceno Inferior y Medio, y en el Mioceno Superior, concretamente en el Vindovoniense Superior, se produce la sedimentación de tipo químico fundamentalmente, con yesos, episodios de margas, etc. en el lago endorreico, que finaliza con la deposición de la caliza, ya de facies pontiense. Una vez colmada la cuenca se produce un basculamiento general de la misma que termina con el endorreismo, facilitando la salida de la cuenca al O y al S.

Este basculamiento provoca una reactivación de la red fluvial que erosiona gran parte de estos sedimentos químicos. Esto ocurre en el Plioceno, a las puertas del Cuaternario. En el Plioceno superior se produce una elevación del borde oriental de la Cuenca del Duero, con una erosión y arrastre que se deposita al llegar a los materiales miocenos y antes.

El Cuaternario también ha dejado su huella en las terrazas formadas en las crecidas de los ríos. Algunas de estas terrazas se encuentran colgadas, son de pequeña extensión, formas lobuladas y muy poca potencia; otras, las más recientes, ya tienen una considerable extensión y mayor potencia.

4.4. Geomorfología.

Los rasgos morfológicos fundamentales del área estudiada entorno a la ciudad de Burgos están constituidos por altiplanicies o páramos surcados por las vegas del Arlanzón, Vena y Ubierna, y los valles, muchos de ellos de fondo plano, de los arroyos Cardeñadijo, Linares, Nales, etc.

Los páramos, cuya extensión representa casi el 20% de la superficie total del área, se sitúan entre los 920 m. y los 1.000 metros. Por lo general, en la mitad oriental el páramo se sitúa una veintena de metros por encima de la mitad occidental.

El Arlanzón discurre con dirección aproximada E-O, dividiendo el plano de la zona de estudio en dos partes de morfologías diversas.

- Zona Septentrional -

En la zona Septentrional nos encontramos con tres bloques, separados por los valles del Río Morquillas y el Ubierna. Son valles amplios y de pendientes suaves, inicialmente con formas tipo glacis y piedemontes sobre los materiales margosos y arcillosos, para aumentar la pendiente al alcanzar la cuesta del páramo, que a veces alcanza los 60 m. de desnivel.

Un caso particular lo constituye el páramo del ángulo NO. del área de estudio, donde la inclinación de las capas es mayor que en el resto de la zona, buzando hacia el SO., alcanzando la cuesta del páramo los 100 m. de desnivel.

En esta mitad Septentrional destaca, también, una franja central con un rosario de cerros que parten de Burgos Capital, alineados en dirección SO-NE., dejando una campiña entre Burgos y Quintanadueñas. En las cumbres de estos cerros -no de todos- encontramos calizas del páramo que conforman los planos superiores. Por el Norte se unen, en un extenso páramo y glacis.

En cuanto a las terrazas fluviales, como ya se indicó en un apartado anterior, en esta mitad Norte están poco desarrolladas, a excepción de la de Villalonguejar y la de Gamonal-Villimar.

- La Franja Central -

Estos dos sectores, el Norte y el Sur, quedan divididos por una franja formada por los aluviales del Arlanzón y el Vena, y las extensas terrazas que los separan, al Este de Burgos.

Si se comienza el recorrido de Este a Oeste, se encuentra una zona de campiña junto a unos cerros redondeados, de poca altura, cortados por el Río Pico. Este, el Río Pico, corta también las terrazas de Villafria, muy extensas y prácticamente planas.

Al Norte, el Río Vena discurre con terrazas en las dos márgenes; no así el Arlanzón, que en la margen izquierda encuentra un acantilado arcilloso de poca altura (10-20 m.) y no aparecen las terrazas hasta "Las Veguillas".

Al Oeste de la ciudad, el Río Arlanzón ha formado una vega que se ensancha en la confluencia del Ubierna. Los depósitos de terrazas están presentes en las dos márgenes, terrazas relativamente extensas. Existiendo también una terraza central algo elevada sobre el aluvial.

El Río Arlanzón es meandriforme, aunque en algunos puntos forma una red de tipo anastomosada no muy desarrollada. En el mapa geológico se han señalado las zonas de reciente movilización en el cauce del río, zonas de meandros abandonados, secuencias point-bar, etc.

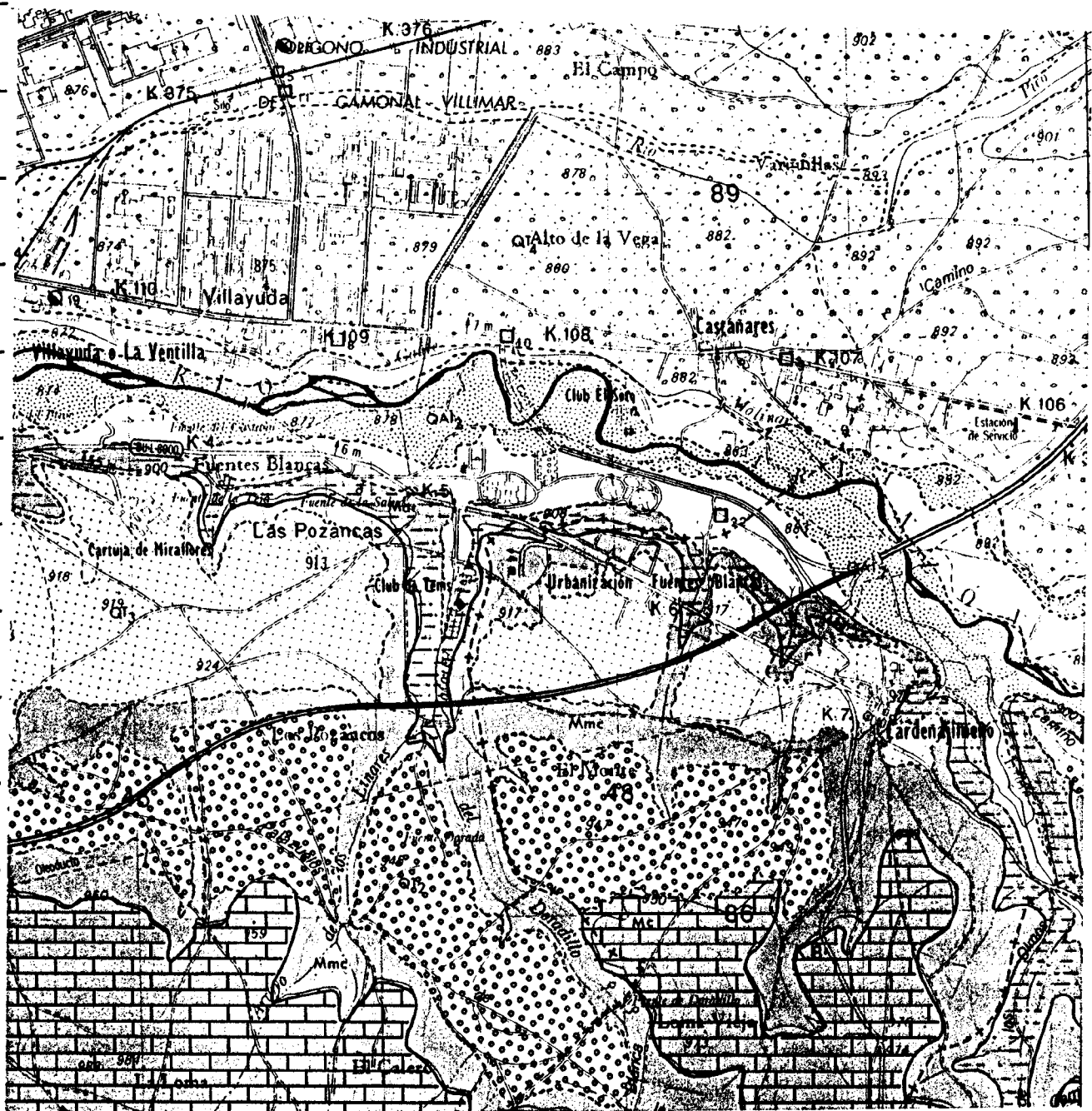
- La Mitad Meridional -

En la mitad Meridional el páramo tiene mayor continuidad, tan sólo dividido por el Río Cardeñadijo, pero no forma planos tan perfectos como el páramo de San Antón al NE. aunque en "Los Pedernales" también existe un amplio plano. Por lo general son superficies alomadas donde el límite del páramo y de la cuenca no es nítido.

Las terrazas tienen un gran desarrollo, aunque no se encuentra -generalmente- un relieve de graderío. En el cuadrante SE. las terrazas se distribuyen sobre un relieve más suave, que respetan, llegando a conservar terrazas en la vertiente contraria al río principal.

En "Reoyo", "Los Corrales" y "Valdelobos" hay signos de karstificación (dolinas).

Estos puntos se localizan en el límite inferior de la Hoja sobre las calizas del páramo.

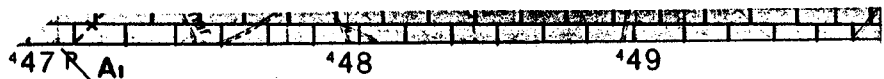


MAPA GEOLOGICO.

E = 1:25.000

I.G.M.E.

Fuente: Atlas del Medio Físico de la Ciudad de
Burgos y su Marco Provincial.



1R DE LA CUESTA 7 KM

CARC.

Datos para el punto P

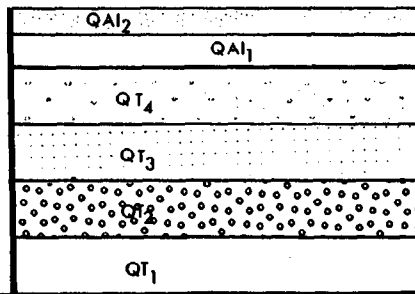
Convergencia: $\omega = 0^{\circ} 26' (0^{\circ} 48') (8'')$

Declinación UTM para 1 de Enero de 1983

$\delta_{UTM} = 5^{\circ} 04' (5^{\circ} 63') (90'')$

LEYENDA

CUATERNARIO



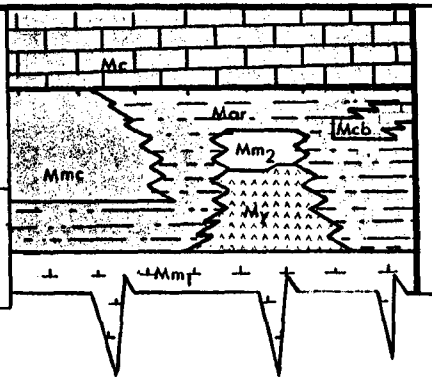
A1₁ Aluvión más reciente } Gravas y Arenas
 A1₂ Aluviones }
 QT₄ } Depósitos de Terraza con
 QT₃ } gravas medias, arenas
 QT₂ } y limos subordinados
 QT₁ } Costras en la parte superior.

NEOGENO

MIOCENO

PONTIENSE

VINDOBONIENSE



Mc Calizas del Páramo.
 Mar Arcillas rojas. Arenas
 Mmc Margocalizas y margas calcáreas
 Mch Caliza blanca
 Mm₂ Margas, calizas y arenas
 MY Margas yesíferas
 Mm₁ Margas con niveles detríticos

- Contacto concordante
- - - Contacto discordante
- Procesos de hundimientos karsticos. Dolinas.
- ∩ Paleocanal
- ✂ Cantera improductiva
- ⚡ Cantera en explotación
- Sondeo
- Catas

5.- CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA DE LOS MATERIALES.

En un reciente estudio realizado por el I.G.M.E. :
"ATLAS DEL MEDIO FISICO DE LA CIUDAD DE BURGOS Y SU MARCO PRO
VINCIAL " (todavía en prensa) se ha recopilado información
sobre estudios geotécnicos de la zona.

Asi la caracterización general previa de los material
les se basa en los siguientes ensayos:

- Ensayos de identificación.
- Límites de Atterberg.
- Granulometrías por tamizado.
- Granulometrías por sedimentación.
- Humedad natural.
- Densidad seca.
- Coeficiente de permeabilidad.

- Compresión simple.
- Corte directo.
- Ensayo edométrico.

- - Arcillas rojizas.

Este nivel arcilloso presenta intercaladas capas más
arenosas y también niveles de arenas limpias, en general com
pactas y semicementadas. Es un material rojizo y los niveles
más arcillosos suelen tener alta plasticidad y cierto poten-
cial expansivo en su capa más alterada y superficial, que se
ve moderado por la fracción limoarenosa, (CL-CH).

Con la información obtenida y recibida se ha elaborado el siguiente cuadro resumen de características litológicas y geomecánicas.

- Clasificación USCS CH - CL.
- Plasticidad:
 - límite líquido $w_l = 23 - 66 \%$.
 - límite plástico $w_p = 10 - 29 \%$.
 - índice de plasticidad $I_p = 12 - 42 \%$.
- Densidad seca $\gamma_d = 1,41 - 1,83 \text{ Tn/m}^3$
- Densidad $\gamma = 1,94 - 2,17 \text{ Tn/m}^3$
- Peso específico $\gamma_s = 2,724 - 2,876 \text{ Tn/m}^3$
- Humedad $w = 23 - 44 \%$.
- Resistencia a la compresión simple.. $q_u = 1,20 - 4,0 \text{ Kg/cm}^2$
- Índice de compresión (edómetros)... $C_c = 0,093 - 0,166$
- Sulfatos.....indicios a moderada presencia.
- Golpeo de ensayo de penetración Standard (SPT)... $N=10-R$.

- Margas yesíferas grises:

Bajo el punto de vista geotécnico se trata de arcillas y margas arcillosas de semirígidas a blandas, con una amplia gama de plasticidades y predominando los valores medios de (CL-CH): Generalmente su capa más superficial está más alterada y reblandecida, con menos contenido en yesos. Más en profundidad son eminentemente margosas, más duras y con un contenido mayor de yeso masivo, cristalino y sacaroideo. Esta capa es de gran importancia, principalmente como sustrato del aluvial actual del río, ya que en ella se empotran gran parte de las cimentaciones.

Con la información recibida y obtenida se ha preparado el siguiente cuadro resumen de características litológicas y geomecánicas:

Para arcillas semirígidas a blandas más superficiales.-

- Clasificación USCS CL - CH.
- Plasticidad :
 - límite líquido $w_l = 24 - 93 \%$.
 - límite plástico $w_p = 10 - 35 \%$.
 - índice de plasticidad $I_p = 10 - 50 \%$.
- Densidad seca $\gamma_d = 1,30 - 1,65 \text{ Tn/m}^3$.
- Densidad $\gamma = 1,75 - 2,15 \text{ Tn/m}^3$.
- Peso específico $\gamma_s = 2,75 - 2,86 \text{ Tn/m}^3$.
- Angulo rozamiento interno ... $\phi' = 24 - 34^\circ$.

- Cohesión $C' = 0,1 - 0,5 \text{ Kg/cm}^2$.
- Humedad $w = 12 - 50 \%$.
- Resistencia a la compresión simple
..... $q_u = 0,55 - 1,70 \text{ Kg/cm}^2$.
- Índice de compresión (edómetros)... $C_c = 0,10 - 0,90$.
- Sulfatos indicios a moderada presencia.
- Golpeo en ensayo de penetración Standard (SPT).....
..... $N = 1 - R$.

Para margas yesíferas:

- Clasificación USCS CH - CL.
- Plasticidad:
 - límite líquido $w_l = 35 - 95 \%$.
 - límite plástico $w_p = 10 - 35 \%$.
 - índice de plasticidad ... $I_p = 17 - 60 \%$.
- Densidad seca $\gamma_d = 1,40 - 1,75 \text{ Tn/m}^3$
- Densidad $\gamma = 1,75 - 2,15 \text{ Tn/m}^3$
- Peso específico..... $\gamma_s = 2,72 - 2,88 \text{ Tn/m}^3$
- Humedad $w = 8 - 28 \%$.
- Resistencia a la compresión simple.....
..... $q_u = 1,2 - 4 \text{ Kg/m}^2$.

- Índice de compresión (edómetros) $C_c = 0,08 - 0,30$.
- Sulfatos positivo-abundantes.
- Golpeo ensayo de penetración Standard (SPT)
..... $N = 32 - R$.

- Aluvial actual y terrazas.

Se trata de los depósitos más recientes (Cuaternarios) de los ríos de la zona (Arlanzón, Vena, Pico y Ubierna) y están constituidos principalmente por materiales granulares de una amplia gama de tamaños (bolos y limos) y también por niveles más arcillosos intercalados.

Fundamentalmente encontramos en esta capa una gran disparidad en todos los parámetros geotécnicos de identificación, de estado y/o resistencia mecánica, (además, debido a su escasa cohesión no permite la obtención de muestras inalteradas y representativas).

Generalmente tienen un recubrimiento de rellenos y/o tierra vegetal, encontrándose como sustrato las arcillas y margas grises terciarias.

A partir de la información obtenida y recibida se ha elaborado el siguiente cuadro resumen de características litológicas y geomecánicas:

- Clasificación USCS GP - GC - SP.
- Granulometría:
 - Retenido en tamiz # 4 32 - 80 %.
 - Pasa tamiz # 200 4 - 24 %.
- Plasticidad de los finos:
 - límite líquido $w_l = 20 - 24 \%$.
 - límite plástico $w_p = 10 - 13 \%$.
 - índice de plasticidad $I_p = 9 - 12 \%$.
- Sulfatos según la zona y las aguas.

Para las arcillas marrones (del aluvial).

- Clasificación USCS CL - CH.
- Plasticidad:
 - límite líquido $w_l = 29 - 87 \%$.
 - límite plástico $w_p = 13 - 27 \%$.
 - índice de plasticidad $I_p = 14 - 60 \%$.
- Gramulometría:
 - Retenido en tamiz # 4 0 %.
 - Pasa tamiz # 200 62 - 98 %.
- Densidad seca..... $\gamma_d = 1,43 - 1,84 \text{ Tn/m}^3$.
- Densidad $\gamma = 1,90 - 2,18 \text{ Tn/m}^3$.
- Peso específico..... $\gamma_s = 2,738 - 2,875 \text{ Tn/m}^3$.

- Humedad = 16 - 32 %.
- Resistencia a la compresión simple
..... $q_u = 1,30 - 4,25 \text{ Kg/cm}^2$.
- Índice de compresión (edómetros)... $C_c=0,071-0,194$
- Sulfatos negativo - indicios.
- Golpeo en ensayo de penetración Standard (SPT)....
..... $N = 12 - R$.

6.- RECOMENDACIONES GENERALES.

Tras el estudio exhaustivo y caracterización de los materiales en función de sus parámetros geomecánicos existen una serie de recomendaciones y factores a tener en cuenta.

El análisis de esos factores hacen posibles las siguientes recomendaciones ante la presencia de cada una de las formas a tener en cuenta en la realización de posibles obras:

- Arcillas rojizas:

Corresponde a unos terrenos terciarios en los que predominan las fracciones cohesivas y granulares finas. Se trata de unas arcillas rojizas con eventuales niveles de areniscas, arenas y margas arenosas.

Las arcillas rojizas son de alta plasticidad, de consistencia firme y de compresibilidad baja. Presentan además un medio potencial expansivo las capas más superficiales y alteradas.

En atención a la expansividad del material, se recomienda tomar precauciones para evitar modificaciones de la humedad del terreno: impermeabilizaciones, tuberías de P.V.C., arquetas visibles de hormigón, alejar jardines y arbolados que deban ser regados, alejar desagües, disponer una acera perimetral, etc.

La proximidad con niveles yesíferos hace generalmente indicado el uso de cemento sulforresistente.

Hay aguas freáticas en estas zonas, en el contacto de las arcillas con los niveles superiores de rellenos; en general es poca cantidad y controlable.

- Margas y arcillas blanquecinas amarillentas:

Se trata de una alternancia de margas y arcillas, con predominio con margas de color blanquecino (terciarias) y que corresponden a los niveles que se encuentran en la serie entre arcillas rojas y los yesos y margas yesíferas, y luego por debajo de los yesos y margas.

Algunas zonas están más alteradas siendo eminentemente arcillosas. Es un material compacto e impermeable.

Estos materiales corresponden a las zonas de ladera y tienen en algunas áreas recubrimientos de pie de monte y tierra vegetal que deberán salvar las cimentaciones.

Se recomiendan realizar estudios geotécnicos particulares para definir en cada caso los espesores y propiedades de los materiales.

- Margas yesíferas y yesos masivos:

Estos materiales están muy vinculados con los anteriores y en algunas zonas se confunden y alternan con los mismos. Por lo tanto servirán para esta capa las recomendaciones hechas en el caso anterior, atendiendo luego a particulares problemas que los yesos implican:

- Se deberá atender a la agresividad de estos suelos frente a los hormigones normales. Se recomienda emplear cemento sulforresistente para el hormigón de cimentaciones y muros de contención y en el caso de que la cimentación esté sobre yeso, se necesitará una película entre el hormigón y el yeso.

- Como las margas alteradas, en superficie suelen presentar expansividad, se recomienda tomar precauciones que evitan los cambios de humedad del suelo, y que ya se mencionan al considerar las arcillas rojas.

- Se analizará la posible existencia de pequeñas cavernas de disoluciones en los yesos masivos.

- Se evitará toda corriente de agua que pueda producir disoluciones en las proximidades de las cimentaciones.

- Se realizarán estudios geotécnicos completos con sondeos además de evaluar el potencial expansivo, resistencia y deformabilidad de los materiales y posibles cavernas kársticas.

- Terrazas:

Las terrazas, que se encuentran principalmente en la zona Sur, en la margen izquierda del Río Arlanzón, se presentan en general como un tapiz de moderado espesor; y están constituidas por cantos y gravas con una matriz arcilloarenosa.

Respecto a las recomendaciones de cimentación, teniendo en cuenta que estos materiales están en un estado compacto y no sufren la influencia desfavorable del nivel freático, estas terrazas presentan una mayor competencia que el aluvial actual del río. Por otra parte, las terrazas se encuentran generalmente por encima de niveles firmes de calizas, margocalizas, margas y arcillas (terciarios). Su capacidad de carga es de $G_{adm} = 2,00 \text{ Kg/cm}^2$.

7.- DESCRIPCION DE LA SITUACION.

* Características.

El deslizamiento de tierras que se produjo durante el mes de mayo de 1.988 tiene un ancho de 43 m. y una longitud de 108 m. a lo largo de la ladera. Presenta una grieta en cabecera en forma curva (en anfiteatro) de 130 m. de longitud.

La pendiente máxima en la ladera (al frente del lóbulo frontal) es de 31° constituyendo un tramo corto no superior a los 20 m. de longitud. Pasando posteriormente a un tramo de menor pendiente (entre 2° y 6°) incrementándose ésta nuevamente hasta la zona alta de coronación del Cerro, donde se ubica la Urbanización de "Fuentes Blancas".

El deslizamiento presenta en la dirección horizontal un desplazamiento relativo de 52 cm. como máximo y un desplazamiento relativo de 43 cm. en la vertical, también en su punto máximo.

La estratificación presenta un buzamiento contrapendiente como consecuencia del movimiento con componente rotacional que ha sufrido, indicando la existencia de una superficie general de rotura curva.

En general la morfología de la ladera es en forma de lomo frontal, formando un montículo en el que se ha producido a su vez el pequeño deslizamiento.

* Antecedentes del deslizamiento .

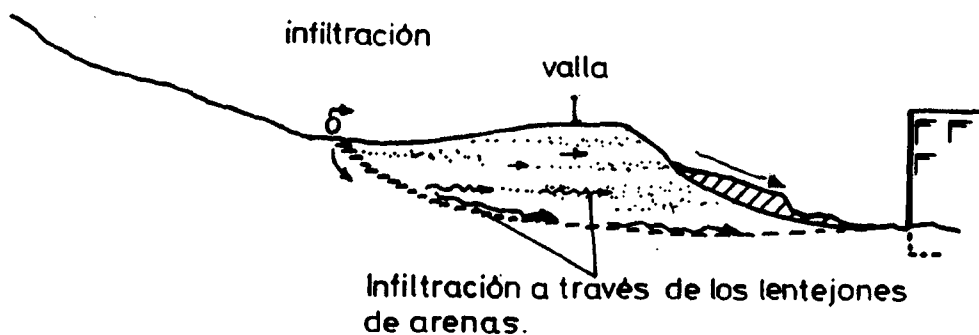
Sobre esta ladera tal y como ya se ha mencionado en el apartado de antecedentes, se han producido anteriormente fenómenos análogos como el que se analiza.

La fotografía aérea de esta zona en 1.980 presenta un lóbulo de deslizamiento justo en el punto donde ahora nos encontramos. Aparentemente puede parecer un cono de deyección de la ladera, sin embargo hay varios aspectos que confirman la primera apreciación:

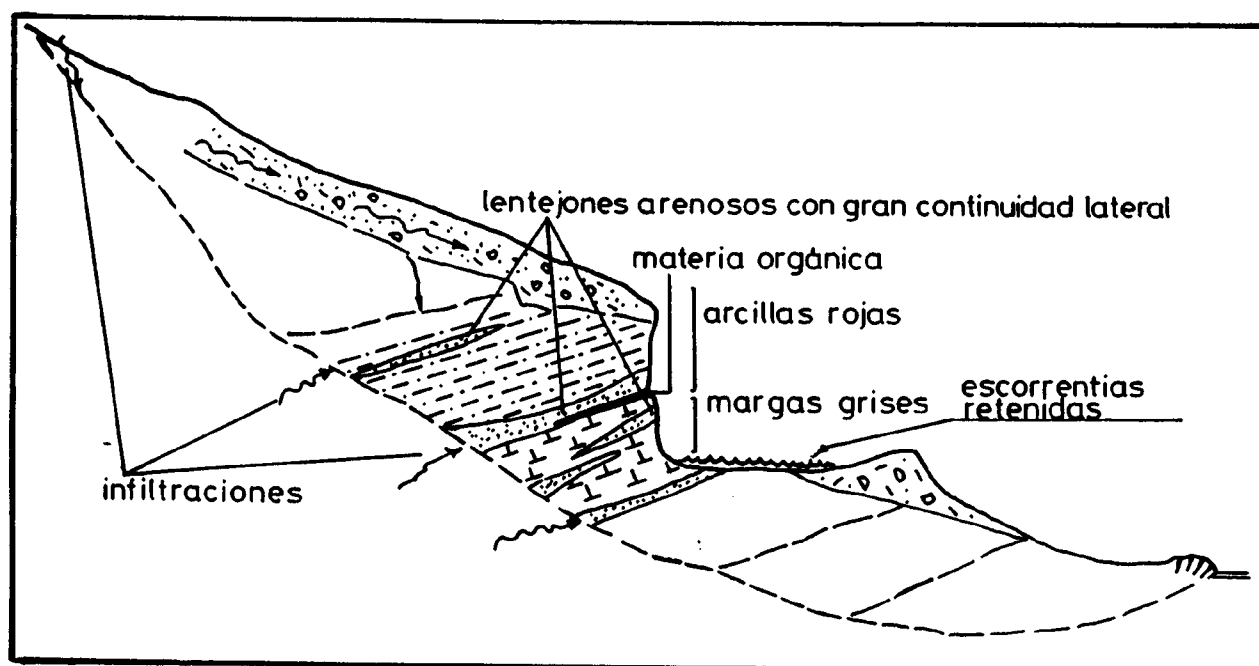
a) La morfología del área de cabecera: Curva, en forma de anfiteatro.

b) La morfología del lóbulo o lengua deslizada: Con zonas en contrapendiente que son propias de este tipo de fenómenos y que resultarían difíciles de explicar por otros mecanismos.

c) la presencia de una surgencia en la ladera justo en la cabecera del deslizamiento y de una profusa vegetación también es un fenómeno característico de antiguas grietas de deslizamientos. El terreno ahí es mucho más blando permitiéndose la percolación de escorrentías siendo a su vez mayor la facilidad para la penetración de las raíces.



La observación de otros puntos en la ladera confirman la existencia de movimientos antiguos en esta zona, como la particular forma alomada, en frentes superpuestos, que presenta la ladera a menos de 500 m. frente al Centro Permanente de Formación del Profesorado (fotografía n.º 9).



Es resaltable, como ya se mencionó en los antecedentes, como a 100 m. del caso anterior se produjo un desprendimiento de la contención de un barranco dejando prácticamente descalzada parte de la estructura de un chalet de la urbanización que queda por encima de la ladera. El muro de contención reventó y se desplomó, con parte de las tierras de su trasdós (fotografías 7 y 8).

* Aporte de agua al deslizamiento.

La ladera, de una superficie relativamente pequeña, con profusa vegetación y un suelo con una componente arcillosa alta, drena gran parte del agua de precipitación superficialmente. Sin embargo, en virtud de los cambios de pendiente la capacidad de penetración aumenta. Obsérvese como en la vista panorámica del deslizamiento detrás del lomo donde se produce el deslizamiento hay una zona a contrapendiente.

Otro aporte importante lo constituyen los manantiales que surgen en la ladera, por encima del límite superior del deslizamiento actual. Concretamente uno que hasta que se desvió vertía directamente sobre el área de cabecera del deslizamiento.

El origen de estos manantiales que se pueden localizar en muchos puntos a lo largo de toda la ladera, se encuentra en el cambio de litología: de las arcillas rojas con pasadas abundantes de arenas de gran continuidad lateral a las margas grises muy impermeables.

* Materiales.

La naturaleza y composición de los materiales de la ladera queda perfectamente descrita en el apartado correspondiente a la Geología de la zona y a la caracterización geotécnica de los mismos.

Conviene puntualizar sobre el contacto claro entre distintas facies. El sustrato lo componen unas margas grises con eflorescencias y pasadas yesíferas (ver fotografías 3 y 4) y por encima se aprecian unas arcillas rojas con intercalaciones arenosas. Las intercalaciones arenosas presentan una gran selección de los granos y una importante continuidad lateral. Se observa como en el contacto entre las arenas y margas surge frecuentemente agua.

Se tomaron cuatro muestras superficiales del terreno. Las dos inalteradas se tomaron excavando algo más de 30 cm. sobre el talud casi vertical que se aprecia en las fotografías 3 y 4.

La muestra n.º 1 corresponde (tal y como se recoge en el análisis de laboratorio, ver anexos) a una arena muy seleccionada, con una densidad de 1,33 muy baja, con una porosidad muy elevada. Es precisamente a través de esos lentejones con gran extensión y continuidad lateral por donde se drena el terreno.

Las dos muestras, n.º 2 y 3 corresponden a unas arcillas margosas grises muy plásticas. La n.º 2 con un apreciable contenido en materia orgánica visible en pasadas de colores negruzcos intercaladas. Ambas muestras pertenecen a la formación que se encuentra en la base del talud.

La muestra n.º 4 corresponde a las arcillas arenoso-limosas superiores, sobre la formación anterior.

* Proceso y factores que intervienen:

Tanto las aguas de infiltración por precipitaciones como las escorrentias que penetran en el terreno en toda la zona alta (Urbanización "Fuentes Blancas") y zona posterior de la misma, tienden a discurrir subterráneamente hacia cotas topográficamente más bajas, hacia el nivel de base que constituye el Río Arlanzón.

Estas aguas presentan flujos, paralelos al talud con deslizamientos. Como se puede apreciar existen numerosas surgencias naturales a media ladera.

En función de las especiales características del terreno, ya descritas y representadas en las figuras adjuntas a este punto, el agua que ha penetrado discurre en el contacto entre el suelo natural y la formación infrayacente más inmediata: las arcillas con arenas. Este sustrato bastante impermeable presenta lentejones y pasadas arenosas con gran continuidad lateral, sin duda intercomunicados tanto en la horizontal como en la vertical en abundantes casos (la formación de estos lentejones y pasadas corresponde a la dinámica fluvial que presenta episodios deposicionales de mayor y menor energía). En los puntos en los que ese nivel freático superficial entra en contacto con el afloramiento de alguno de estos niveles, vista su enorme porosidad relativa, se producirá una verdadera inyección al interior de la formación.

En nuestra especial situación la presencia de un paleodeslizamiento, tal y como se ha reconocido por criterios morfológicos e interpretación de la fotografía aérea, agrava la situación:

a) Se forma un pequeño anfiteatro en la zona de cabecera o zona fuente, de partida del lóbulo deslizado, que constituye una pequeña cuenca de recepción y concentración de aportes.

b) En el tradós o zona posterior del lóbulo deslizado, al quedar éste en contrapendiente (en virtud de su deslizamiento a favor de una superficie circular o subcircular) se concentran los aportes constituyéndose a su vez el contacto entre el lóbulo deslizado y el resto de la ladera como dren natural o vaguada.

c) En la superficie del antiguo deslizamiento, los materiales removidos y alterados presentan una porosidad relativa mucho mayor. Esto unido a la circunstancia anterior provoca la infiltración e inyección a través de ese plano circular a lentes y pasadas arenosas. Ese plano de discontinuidad en el macizo supone, tal y como atestigua la profusa vegetación instalada en su contacto con la superficie, un importante punto de penetración de las escorrentías superficiales.

Unidos a los factores intrínsecos de la ladera consideramos como factores desestabilizadores inmediatos: 1) las abundantes lluvias sufridas en los últimos días previos al deslizamiento y 2) la excavación al pie de la ladera en las obras de urbanización en la parte posterior de la Residencia n.º 2 del Complejo benéfico-docente de "Fuentes Blancas".

Las precipitaciones durante toda la primavera de 1.988 han sido, según datos del Instituto Nacional de Meteorología muy superiores a décadas pasadas. Concretamente, en este caso, tuvo lugar previamente al deslizamiento una semana en la que se superaron los 53 mm. en total.

La excavación precisamente durante esa semana de abundante precipitación descalza la ladera rebajando, hasta el punto en el que comenzó a deslizar, su coeficiente de seguridad.

7.1. ESTUDIO DE FOTOGRAFIA AEREA

Vuelos de: 1.956
1.980
1.982

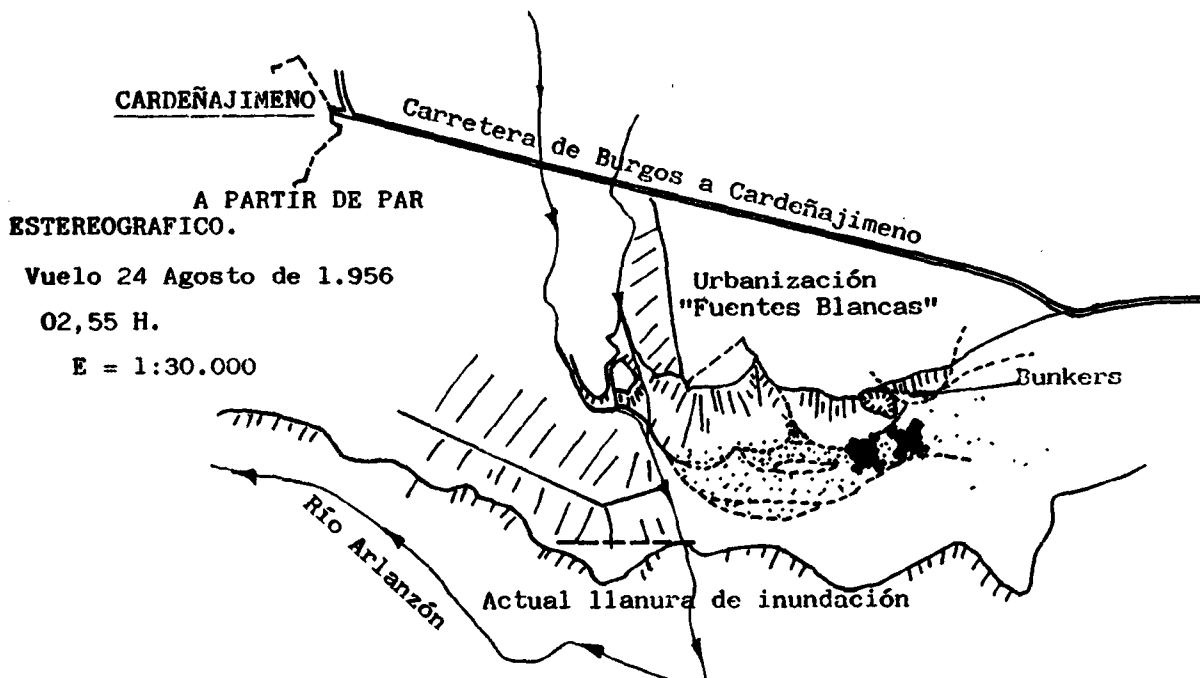
ZONA ESTUDIADA



FOTOGRAFIA AEREA DE LA ZONA

Vuelo del 24 de Agosto de 1.956 (02,56 h.)

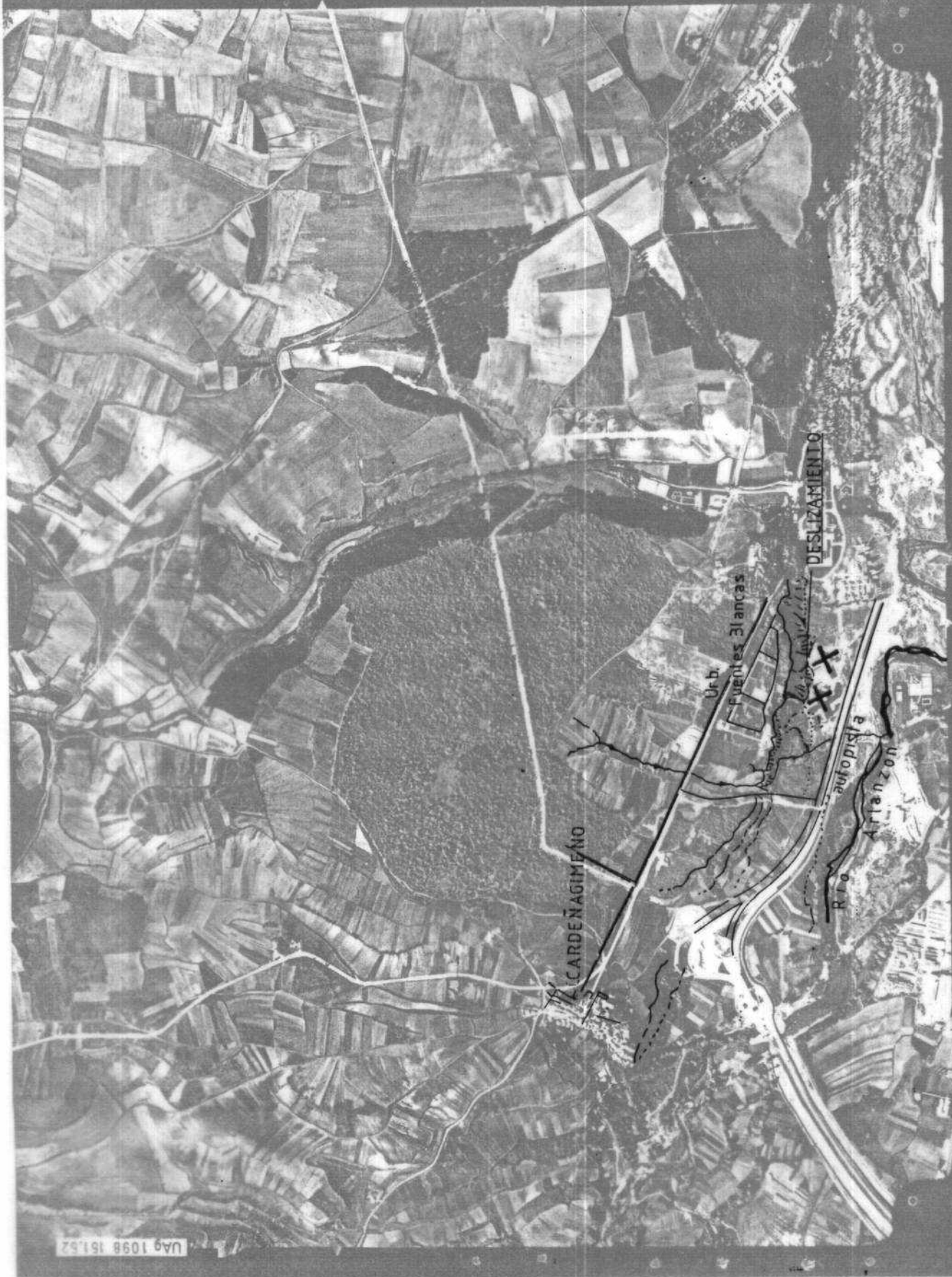
SERVICIO GEOGRAFICO DEL EJERCITO
-Sección de Fotogrametría-



À partir de la interpretación.

1.- La zona justo donde se produce el deslizamiento presenta en la fotografía un socavón cuyo origen no es posible determinar y que quizás tenga algo que ver con la excavación y actividad producida durante la Guerra Civil de la que quedan todavía bunkers construidos.

2.- El actual emplazamiento de los dos edificios se enclava en cima de la llanura aluvial y en la que se reconocen morfologías propias de la dinámica del Río Arlanzón en su paulatino proceso de encajamiento.

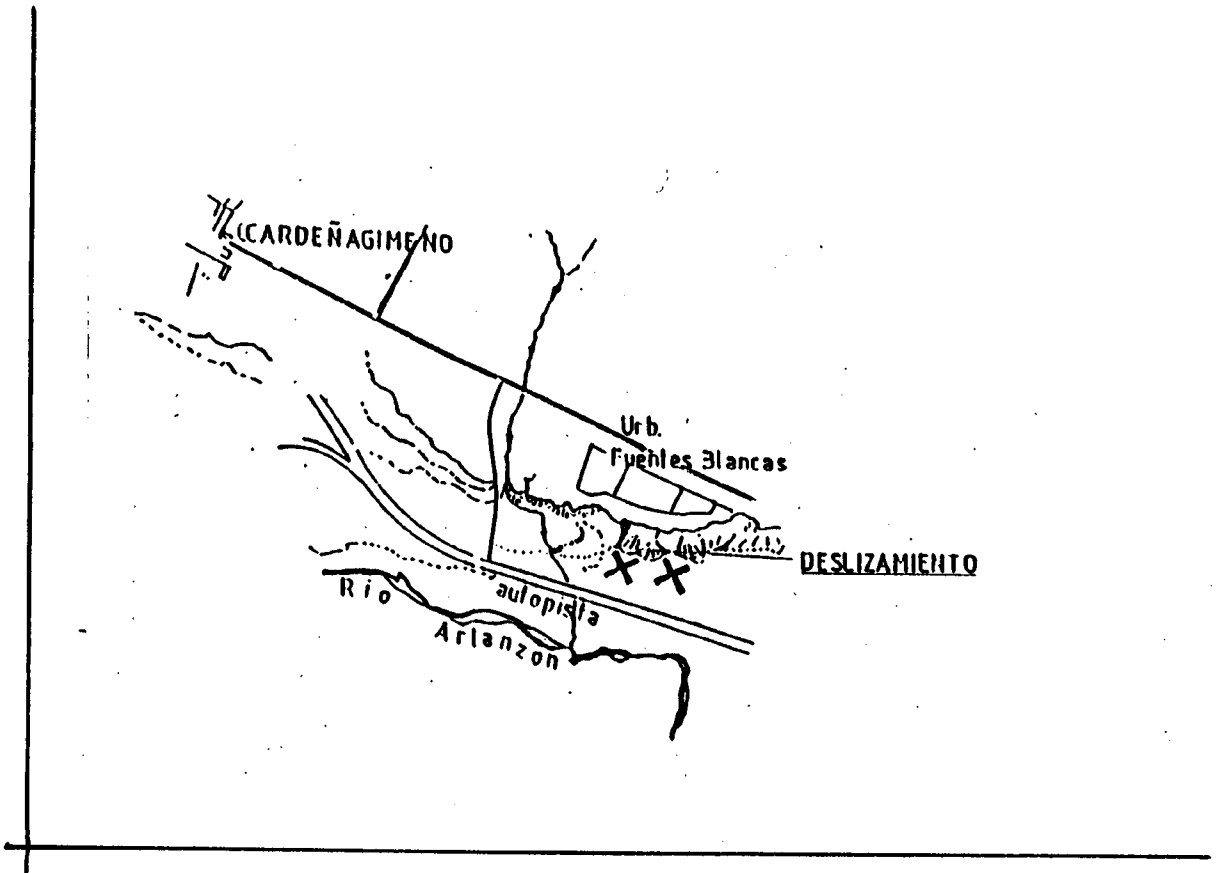


FOTOGRAFIA AEREA DE LA ZONA

Vuelo 1.980.

E = 1:25.000

MINISTERIO DE ECONOMIA Y HACIENDA
-Sección de Fotografía Aérea y
Planimetría-



INTERPRETACION A PARTIR DE PAR ESTEREOGRAFICO.

-Vuelo 1.978.

Se observa respecto del vuelo anterior que:

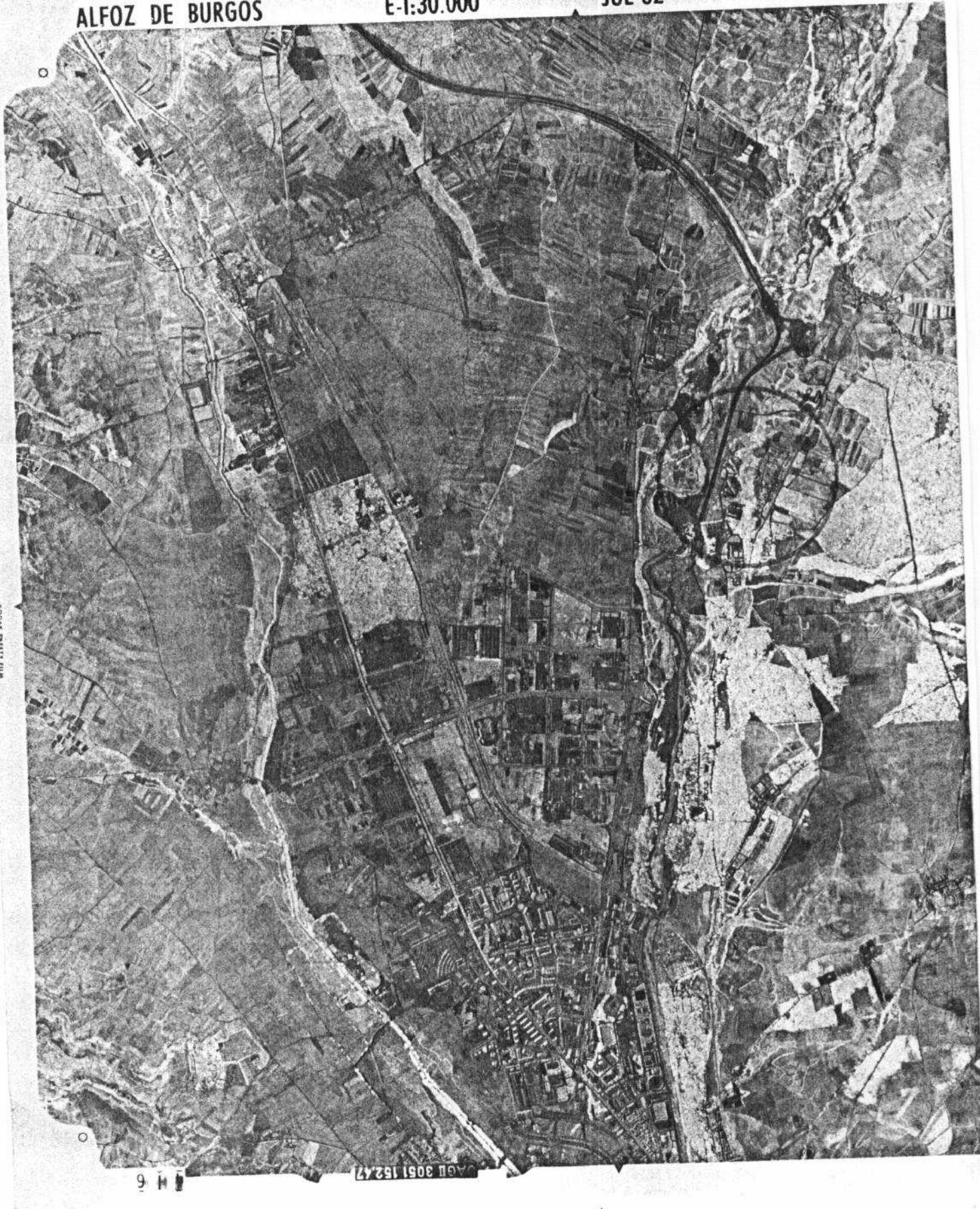
- * Las obras de construcción de la autopista ha regularizado la llanura de inundación más alta.
- * Se ha realizado una urbanización en la parte del Cerro (Urbanización "Fuentes Blancas") y se han construido ya los dos edificios que albergarán sendas residencias para ancianos.
- * El talud presenta acortamiento por las excavaciones realizadas para la construcción de residencias. Se observa una masa deslizada que no se apreciaba en la fotografía aérea del año 1.956.

ALFOZ DE BURGOS

E-1:30.000

JUL-82

P-8



FOTOGRAFIA AEREA DE LA ZONA.

Vuelo de Julio de 1.982.

E = 1:30.000

MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA
-Sección de Fotografía Aérea y
Planimetría-

8.- ANALISIS DE LA ESTABILIDAD.

Con vistas a la estabilización de la ladera objeto del estudio y a conocer las posibles causas influyentes en su inestabilidad, se han llevado a cabo una serie de análisis de estabilidad mediante ordenador con el programa STABL.

En los análisis se ha considerado la geometría inicial de la ladera (antes de proceder a su excavación) así como la final, y se han estudiado, asimismo, varias hipótesis de nivel freático mediante la consideración del parámetro de presión de poros

r_u que en definitiva indica la altura del nivel del agua en la ladera:

$$r_u = \frac{u}{\gamma \cdot z}$$

Donde:

u = presión intersticial

γ = peso específico del suelo

z = profundidad considerada

Los parámetros resistentes del material utilizados en los análisis quedan recogidos en la tabla I.

| CONDICIONES DE ESTABILIDAD | (Tn/m ³) | C (Tn/m ²) | ϕ (°) |
|----------------------------|----------------------|------------------------|------------|
| Corto plazo | 1,6 | 0,25 | 0° |
| Largo plazo | 1,6 | 0,00 | 14,5° |

Los dos conjuntos de parámetros con los que se han realizado los análisis corresponden a condiciones de estabilidad a corto plazo (para lo que se considera un ángulo de fricción del material $\phi = 0^\circ$) y a condiciones de estabilidad a largo plazo (para lo que se ha tomado una cohesión $C = 0 \text{ Tn/m}^2$ y un ángulo de fricción residual $\phi = 14,5^\circ$).

En las figuras 1 y 2 se han representado las dos geometrías del talud analizadas.

Los planos de rotura analizados han sido superficies circulares, situados en el talud en fricción de las observaciones y toma de datos realizadas en el mismo. La elección de la situación de las superficies analizadas (que el programa de análisis genera aleatoriamente en número de 40) queda recogida en las figuras 1 y 2.

Para el análisis realizado con la topografía inicial de la ladera, los factores de seguridad obtenidos aparecen en la tabla II. Como puede observarse en esta tabla, los valores del factor de seguridad son claramente inferiores al considerar un análisis a corto plazo; para este caso, el talud resulta inestable para todas las condiciones de nivel freático analizado, incluso para el talud seco, mientras que si se considera un análisis a largo plazo ($C = 0 \text{ Tn/m}^2$) los factores de seguridad son mayores, resultando el talud inestable aproximadamente para $r_u > 0,4$.

Los factores de seguridad obtenidos para el caso de la topografía con la excavación que se realizó en la ladera, quedan recogidos en la tabla III. Como se observa, ocurre lo mismo que para el caso anterior, y además, para la consideración de corto plazo, los valores de F obtenidos son semejantes en las dos hipótesis analizadas.

TABLA II

| r_u | FACTOR DE SEGURIDAD | |
|-------|---------------------|----------------|
| | Corto plazo * | Largo plazo ** |
| 0,0 | 0,863 | 1,661 |
| 0,1 | 0,819 | 1,492 |
| 0,2 | 0,762 | 1,369 |
| 0,3 | | 1,202 |
| 0,4 | | 1,024 |

Análisis realizado considerando la topografía inicial de la ladera

TABLA III

| r_u | FACTOR DE SEGURIDAD | |
|-------|---------------------|----------------|
| | Corto plazo * | Largo plazo ** |
| 0,0 | 0,870 | 1,629 |
| 0,1 | 0,812 | 1,423 |
| 0,2 | 0,762 | 1,291 |
| 0,3 | | 1,123 |
| 0,4 | | 0,981 |

Análisis realizado considerando la excavación realizada en la ladera

* $C = 0,25 \text{ Tn/m}^2$; $\phi = 0$

** $C = 0,00 \text{ Tn/m}^2$; $\phi = 14,5^\circ$

Para largo plazo, los valores aquí obtenidos son algo menos que cuando se consideraba la topografía inicial del talud, siendo la ladera inestable a partir de $r_u \geq 0,35$ aproximadamente.

Las superficies de rotura más inestables de cada caso analizado (ya las que corresponden los factores de seguridad que aparecen en las tablas), se encuentran situadas a distinta profundidad según los casos. Excepto los análisis que corresponden a condiciones de corto plazo y talud seco (considerando un $r_u = 0$), el resto de las superficies de rotura analizadas más inestables son superficiales, con profundidad máxima no mayor de unos 5 m.

Las figuras n.º 3 al 12 corresponden a distintos casos analizados, presentando la topografía correspondiente y las superficies de rotura estudiadas.

En la tabla IV se especifican las características de cada figura, y a que casos corresponden. De todos los pares de figuras, la primera corresponde a la situación de las 40 superficies analizadas,

TABLA IV

| Número figura | Condición | Topografía de la ladera | r_u | Factor de seguridad para la superficie más inestable |
|---------------|----------------|--------------------------|-------|--|
| 3,4 | Corto Plazo | inicial (sin excavación) | 0,0 | 0,863 |
| 5,6 | Largo ** Plazo | inicial (sin excavación) | 0,4 | 1,024 |
| 7,8 | Corto * Plazo | Con excavación | 0,0 | 0,870 |
| 9,10 | Largo ** Plazo | Con excavación | 0,0 | 1,629 |
| 10,11 | Largo ** Plazo | Con excavación | 0,4 | 0,981 |

* $C = 0,25 \text{ Tn/m}^2$; $\phi = 0^\circ$

** $C = 0,00 \text{ Tn/m}^2$; $\phi = 14,5^\circ$

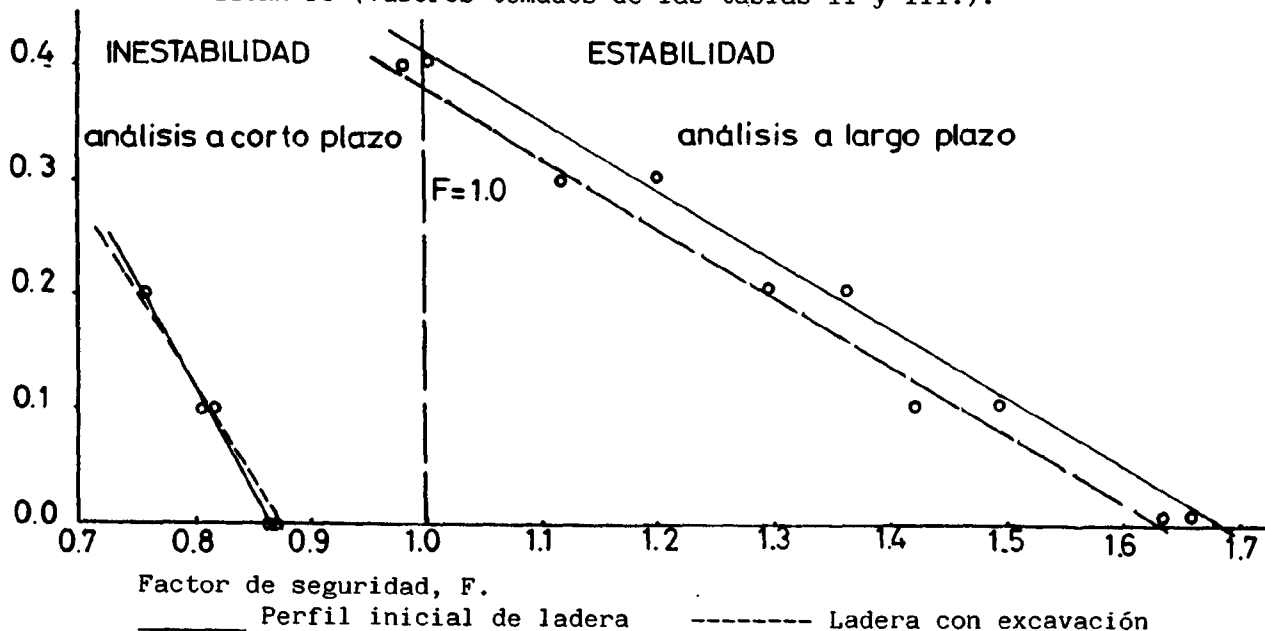
y la segunda corresponde al dibujo de las 10 superficies más inestables; la más inestable de estas queda señalada en cada figura con una línea gruesa, y su factor de seguridad es el que aparece en la figura y en las tablas.

Las figuras 4, 8 y 12 representan superficies inestables para distintas condiciones: sus factores de seguridad están por debajo de la unidad ($F < 1,0$), mientras que las figuras 6 y 10 presentan superficies estables, aunque en el caso de la figura 6, el factor de seguridad está prácticamente en el límite.

Las superficies de rotura más inestables, se van haciendo más profundas cuanto menor es el factor de seguridad F (figuras 4 y 8), mientras que son más superficiales al aumentar F y al aumentar la altura del nivel freático (figuras 6, 10 y 12).

En la figura 13 se pueden apreciar las curvas correspondientes a los casos analizados. Como se ve, los valores son muy parecidos, independientemente de la topografía de la ladera, para las mismas condiciones de agua y de parámetros resistentes utilizados (cohesión y ángulo de fricción). Para largo plazo, el talud resulta estable, mientras que a corto plazo su inestabilidad es manifiesta.

FIGURA 13 (Valores tomados de las tablas II y III.).

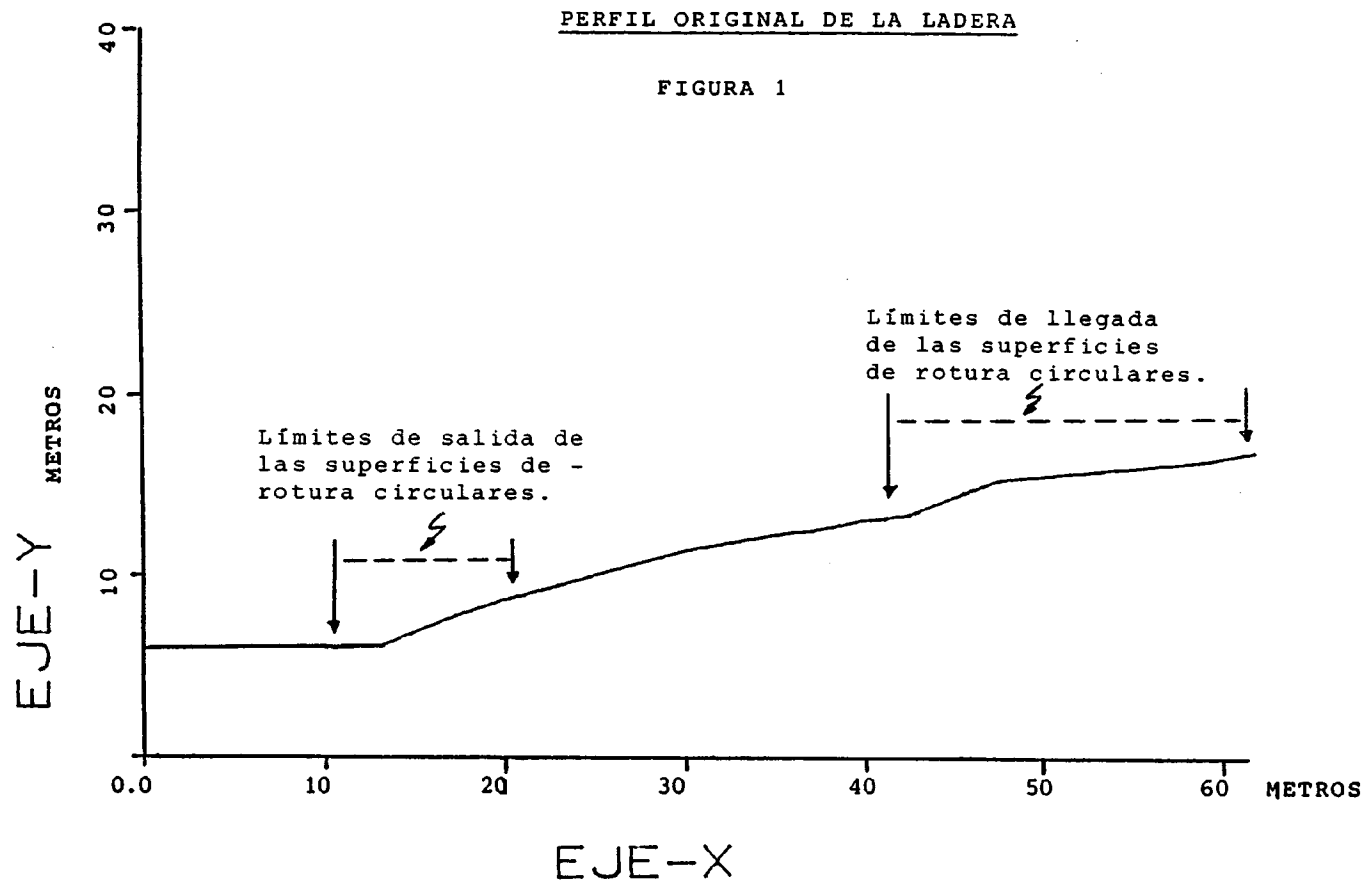


CONCLUSIONES DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad de la ladera afectada, aporta las siguientes conclusiones:

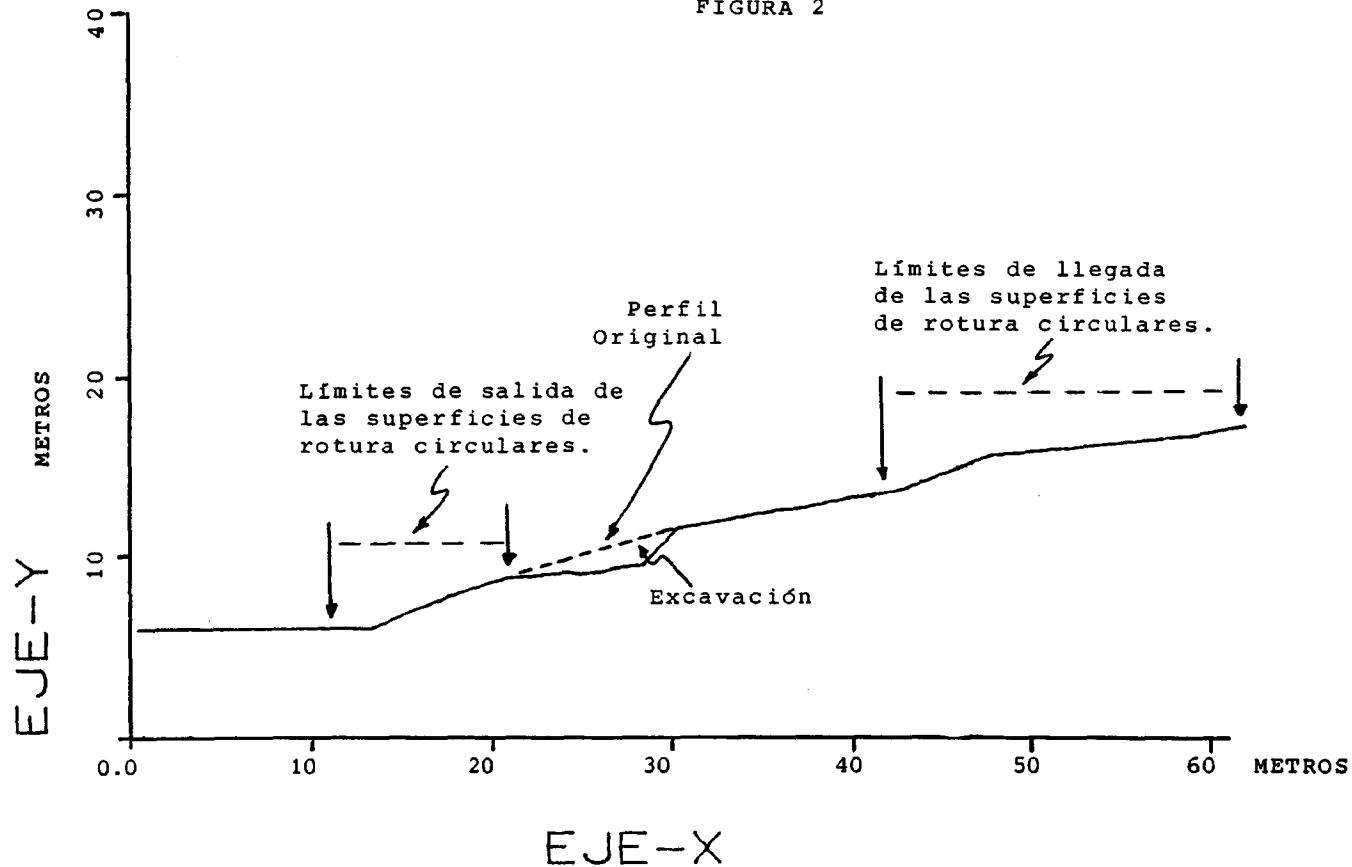
- A corto plazo la ladera resulta inestable para cualquier posición del nivel freático, si bien en el análisis se han considerado parámetros resistentes muy bajos (cohesión = $0,25 \text{ Tn/m}^2$, y ángulo de fricción = 0°), aunque estos parámetros fueran algo mayores en la realidad, la ladera estaría en condiciones de estabilidad precaria tras realizarse la excavación de que fué objeto.
- A largo plazo (es decir, considerando que la ladera ya ha sufrido deslizamiento), esta resulta estable siempre que el parámetro de presión de poros, ru , no supere el valor aproximado de 0,4; éste valor corresponde al talud casi saturado, por lo que manteniendo el nivel de agua por debajo de éste valor se puede asegurar la estabilidad del material a largo plazo.
- Las posibles superficies de rotura a corto plazo son las más profundas de las analizadas, bajando por debajo de la cota del pie del talud (figuras 4 y 8); estos casos más inestables corresponden a cualquier posición del nivel freático, aunque cuanto más seco esté el material más estable será la ladera.
- Ante la posible continuación de la rotura que sufrió el talud, y puesto que los análisis a corto plazo resultan inestables incluso para el talud seco, habría que realizar alguna obra suplementaria al drenaje para asegurar la estabilidad de la ladera.

ANALISIS DE ESTABILIDAD
FUENTESBLANCAS



PERFIL DE LA LADERA CON LA EXCAVACION

FIGURA 2

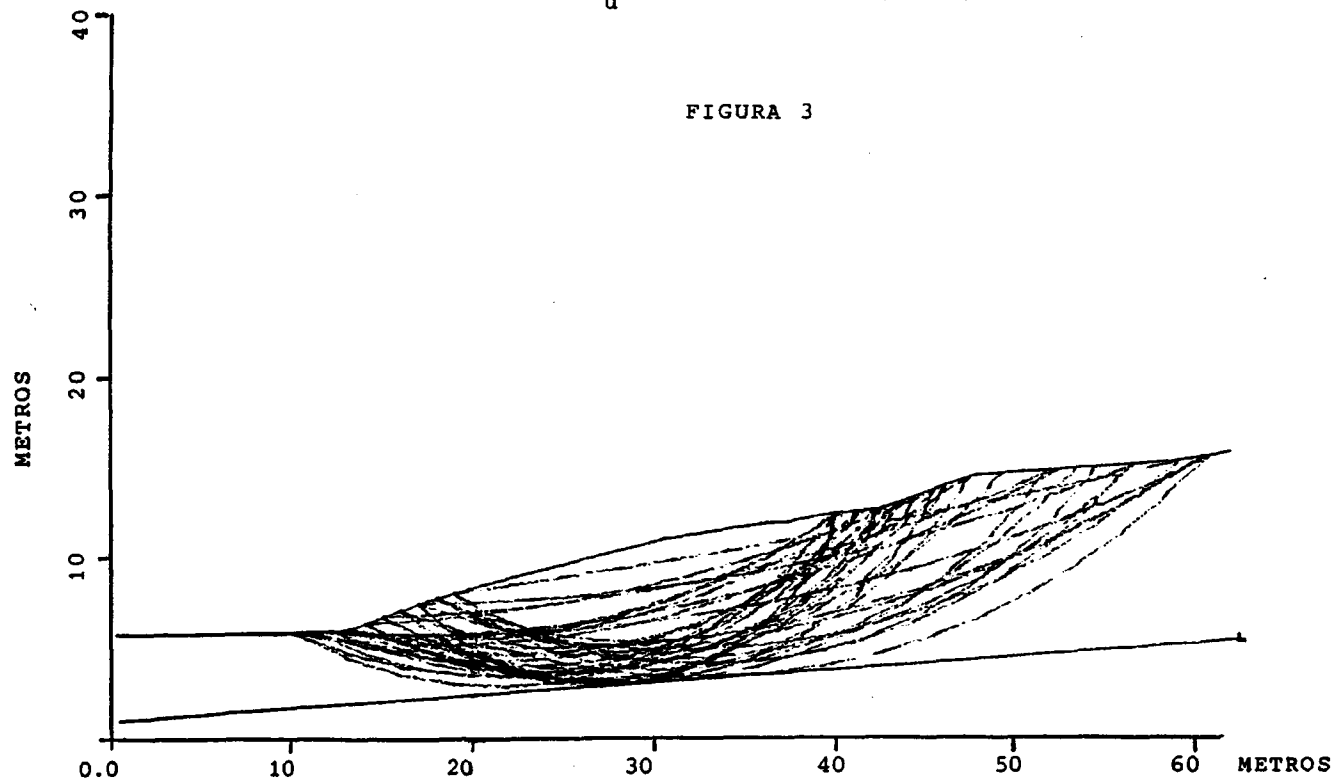


40 SUPERFICIES HAN SIDO GENERADAS

PERFIL INICIAL

$$r_u = 0; c = 0.25 \text{ t/m}^2; \phi = 0^\circ$$

FIGURA 3



ANALISIS DE ESTABILIDAD

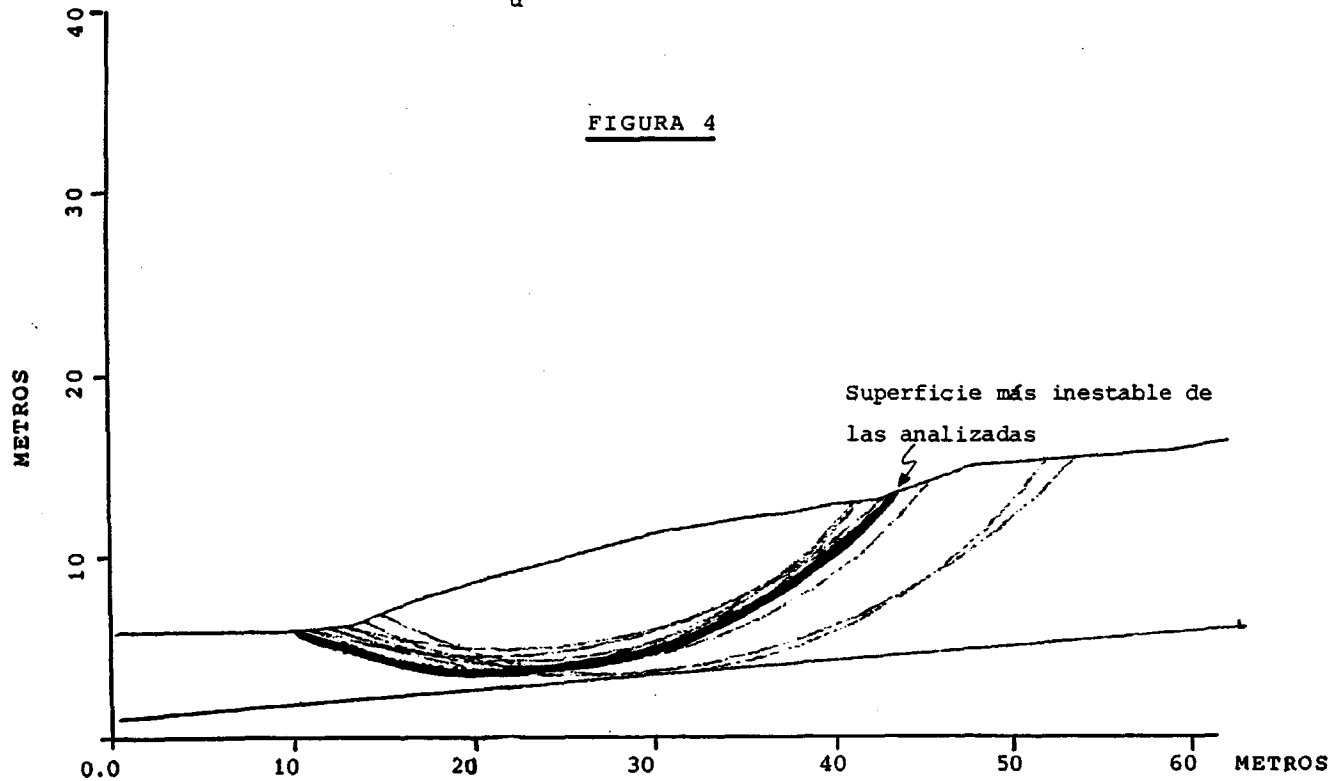
FUENTESBLANCAS

10 SUPERFICIES MAS CRITICAS
FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO =

Ø.863

$$r_u = 0; c = 0,25 \text{ t/m}^2; \phi = 0^\circ$$

FIGURA 4

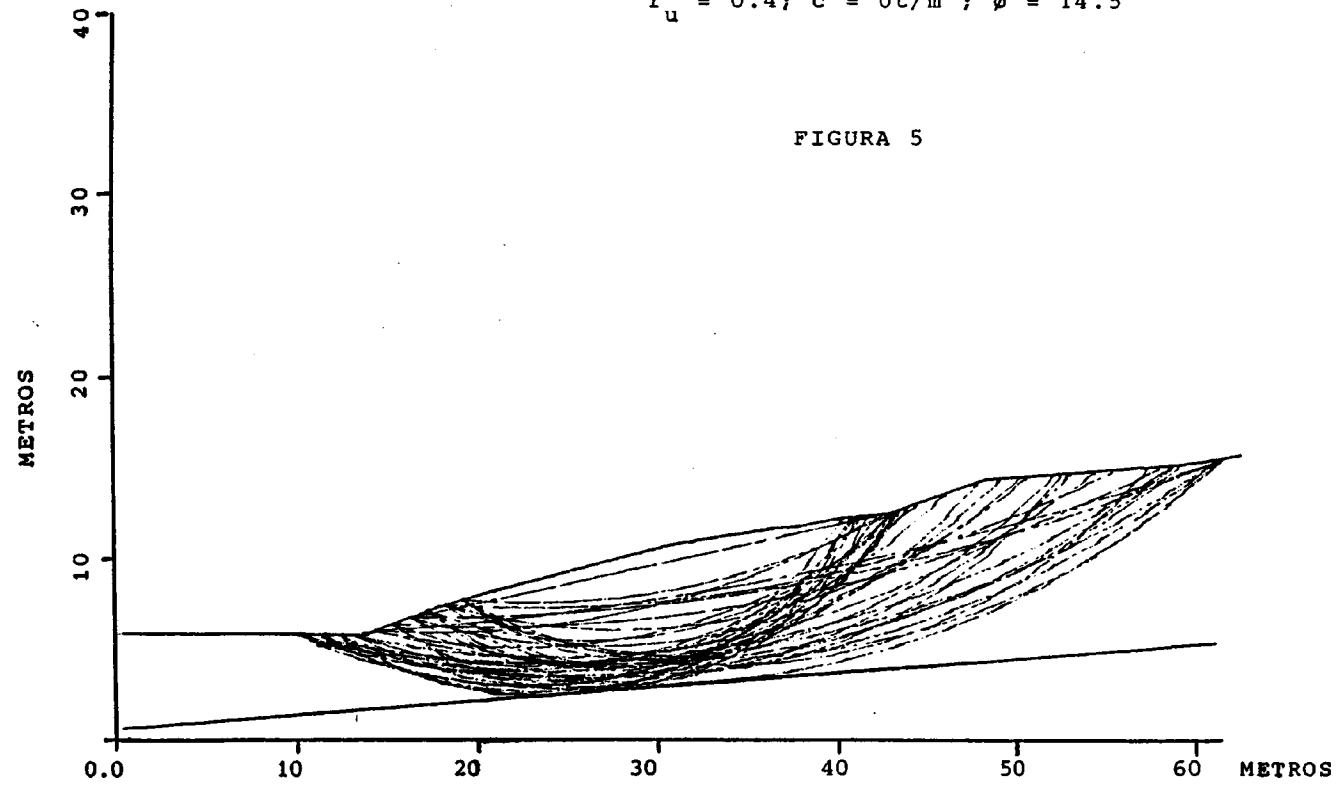


40 SUPERFICIES HAN SIDO GENERADAS

PERFIL INICIAL

$$r_u = 0.4; c = 0t/m^2; \phi = 14.5$$

FIGURA 5



ANALISIS DE ESTABILIDAD

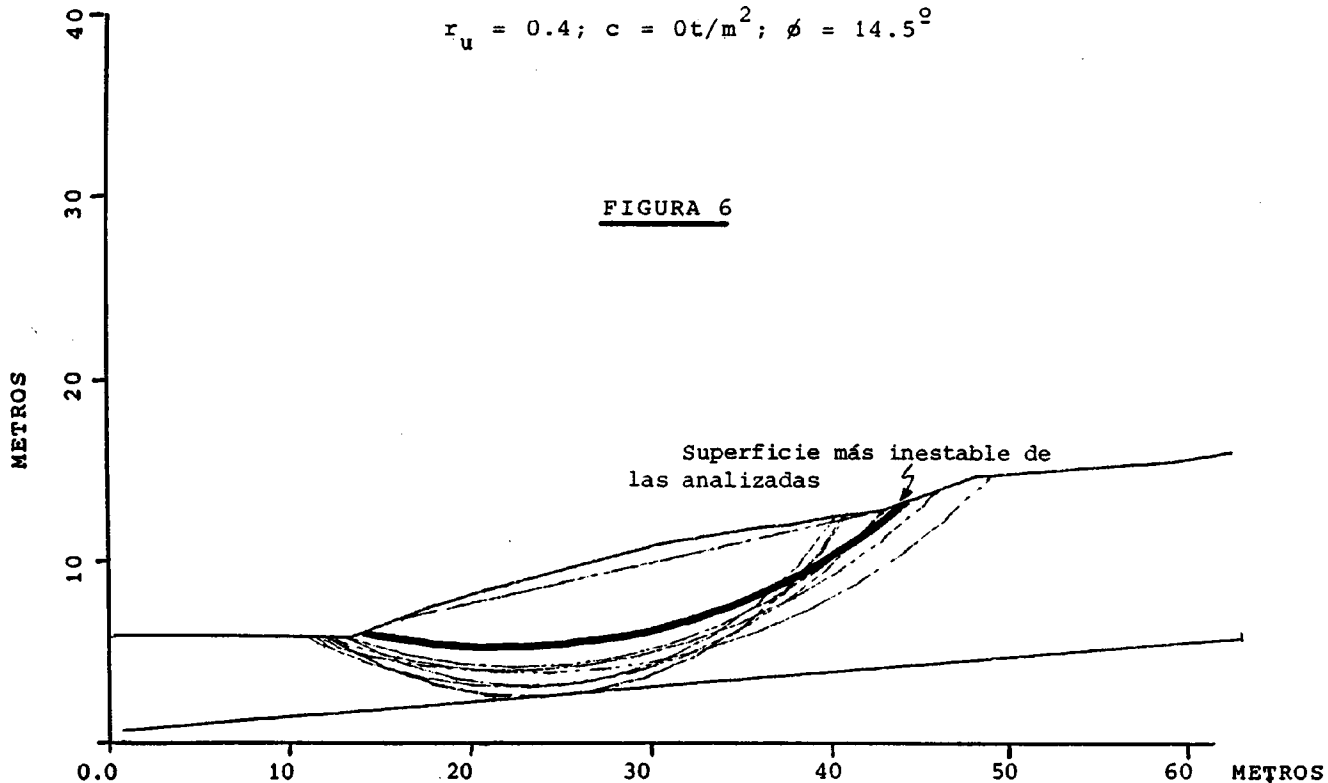
FUENTESBLANCAS

10 SUPERFICIES MAS CRITICAS

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO = 1.024

$$r_u = 0.4; c = 0t/m^2; \phi = 14.5^\circ$$

FIGURA 6



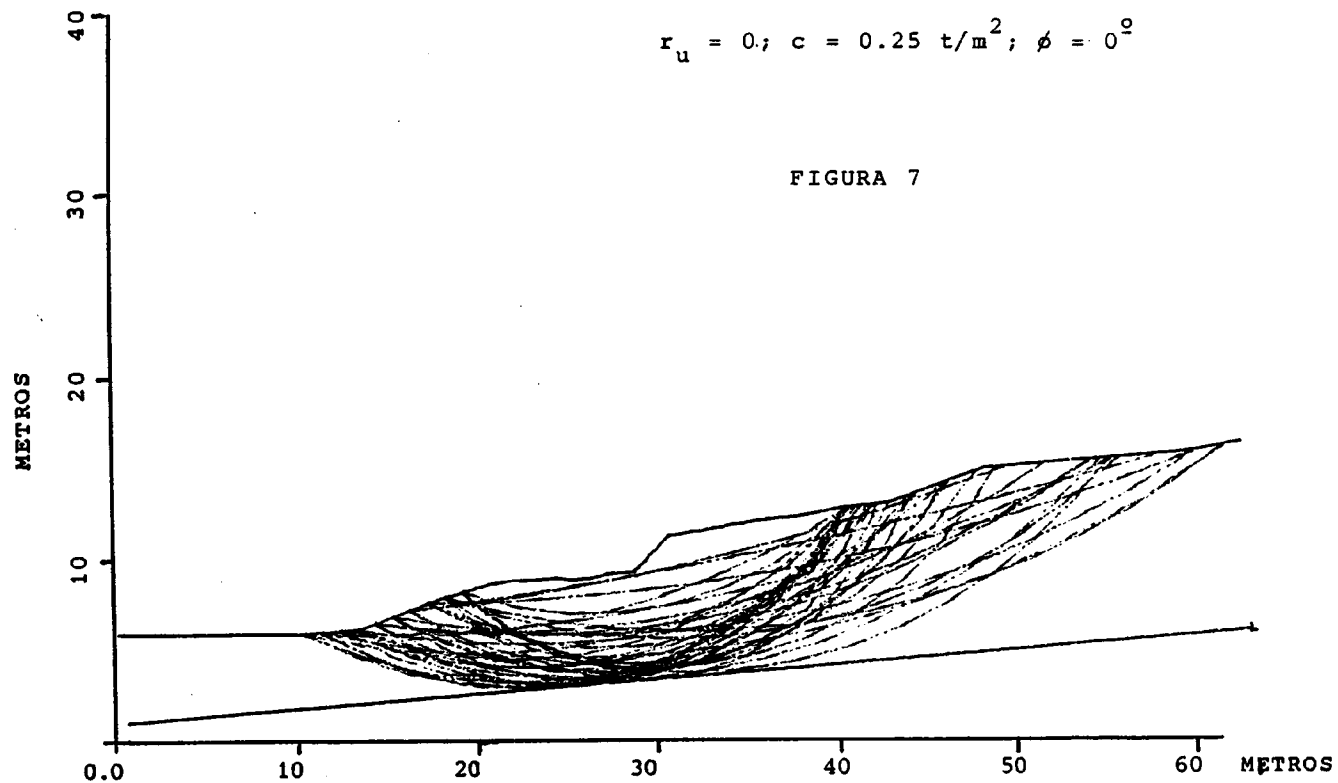
ANALISIS DE ESTABILIDAD
FUENTESBLANCAS

40 SUPERFICIES HAN SIDO GENERADAS

PERFIL FINAL

$$r_u = 0; c = 0.25 \text{ t/m}^2; \phi = 0^\circ$$

FIGURA 7



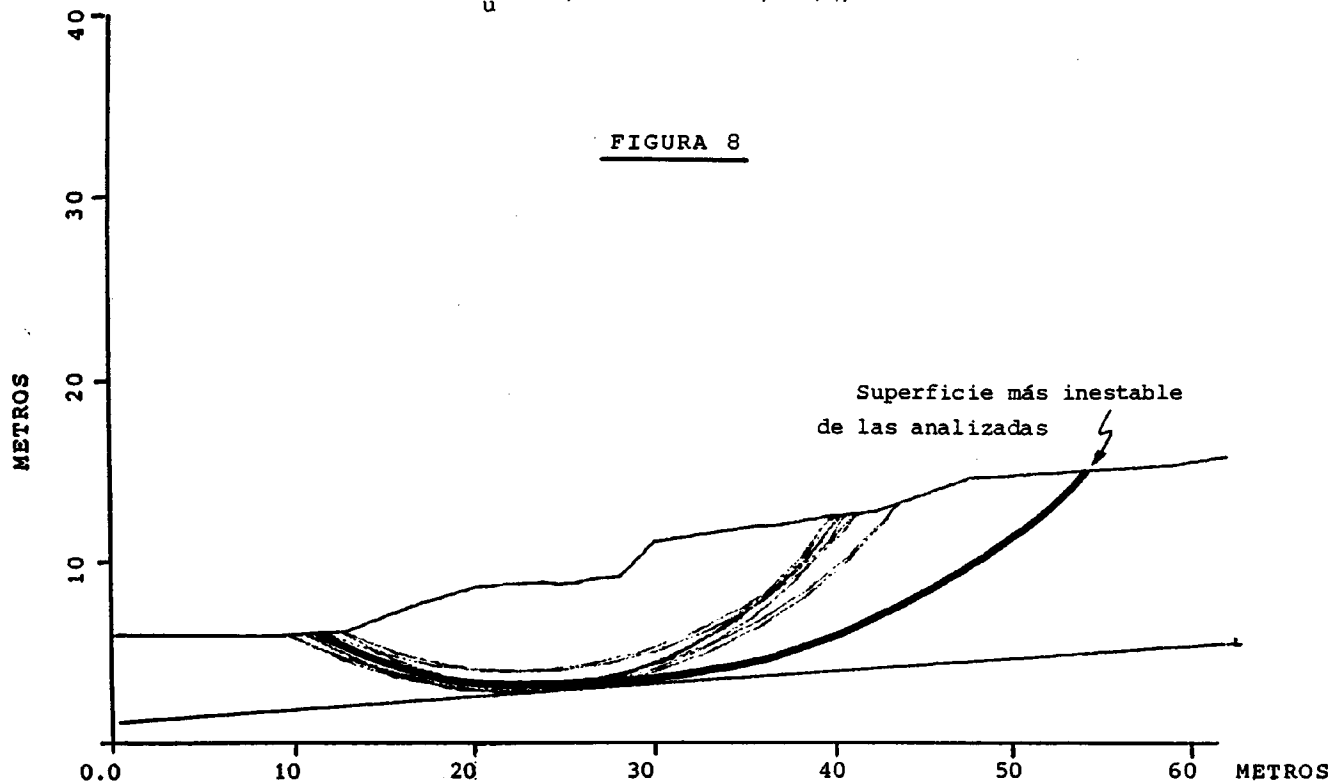
ANALISIS DE ESTABILIDAD

FUENTESBLANCAS

10 SUPERFICIES MAS CRITICAS

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO = 0.870

$$r_u = 0; c = 0.25 \text{ t/m}^2; \phi = 0^\circ$$

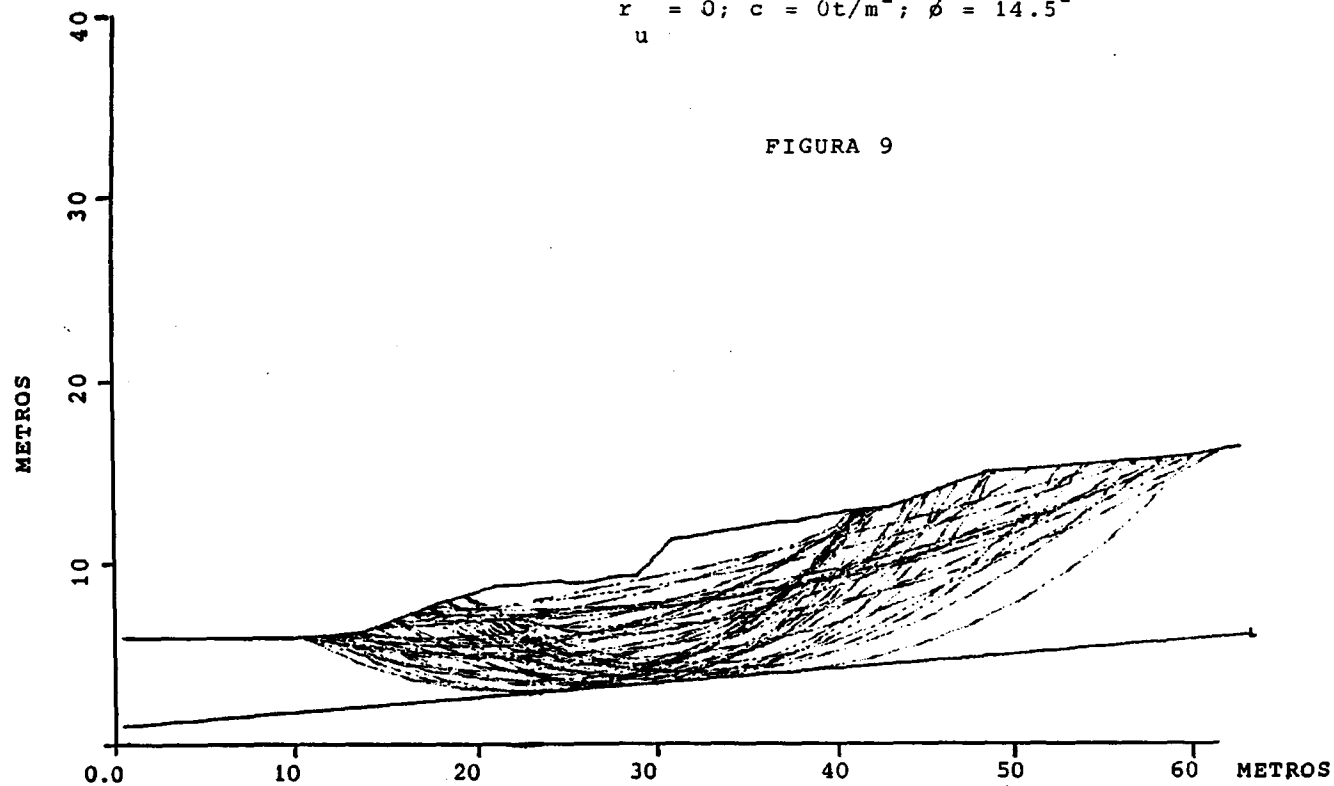


40 SUPERFICIES HAN SIDO GENERADAS

PERFIL FINAL

$$r = 0; c = 0t/m^2; \phi = 14.5^\circ$$

FIGURA 9



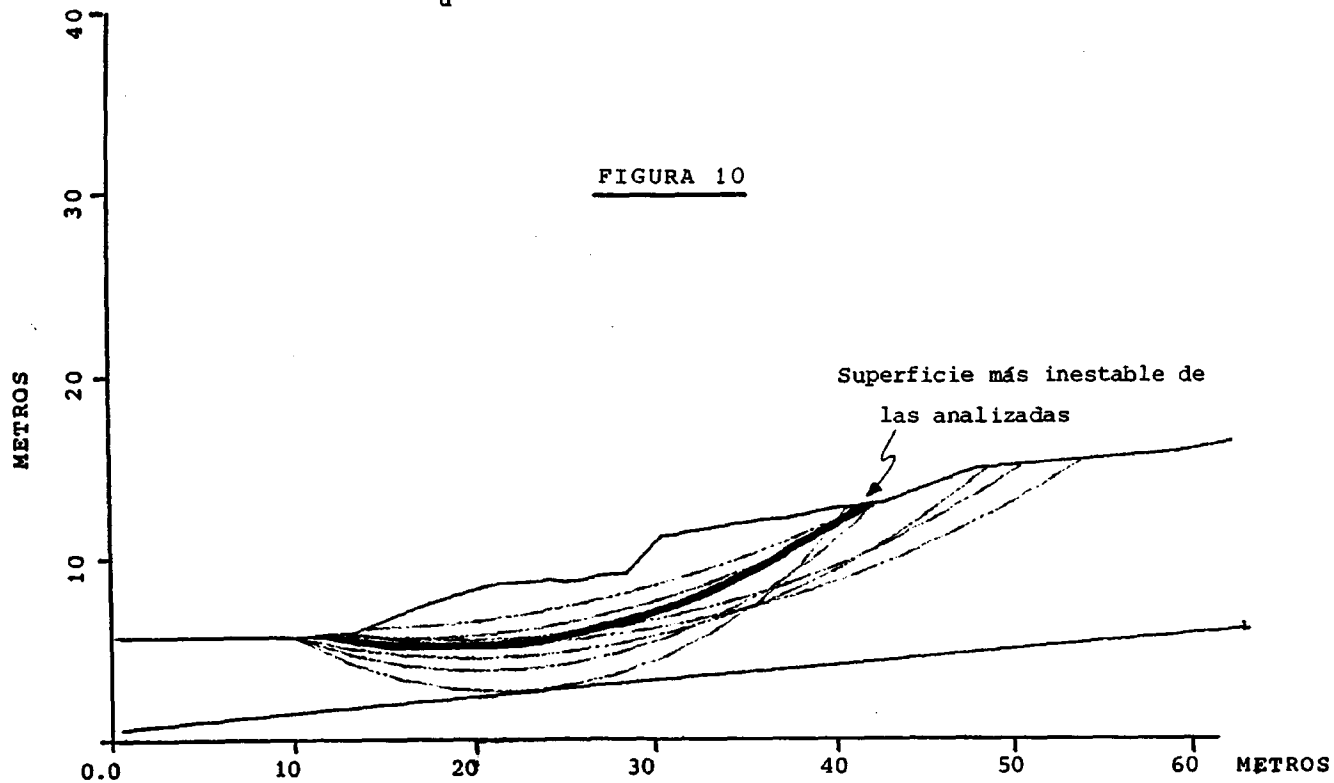
ANALISIS DE ESTABILIDAD

FUENTESBLANCAS

10 SUPERFICIES MAS CRITICAS

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO = 1.629

$$r_u = 0; c = 0t/m^2; \phi = 14.5^\circ$$

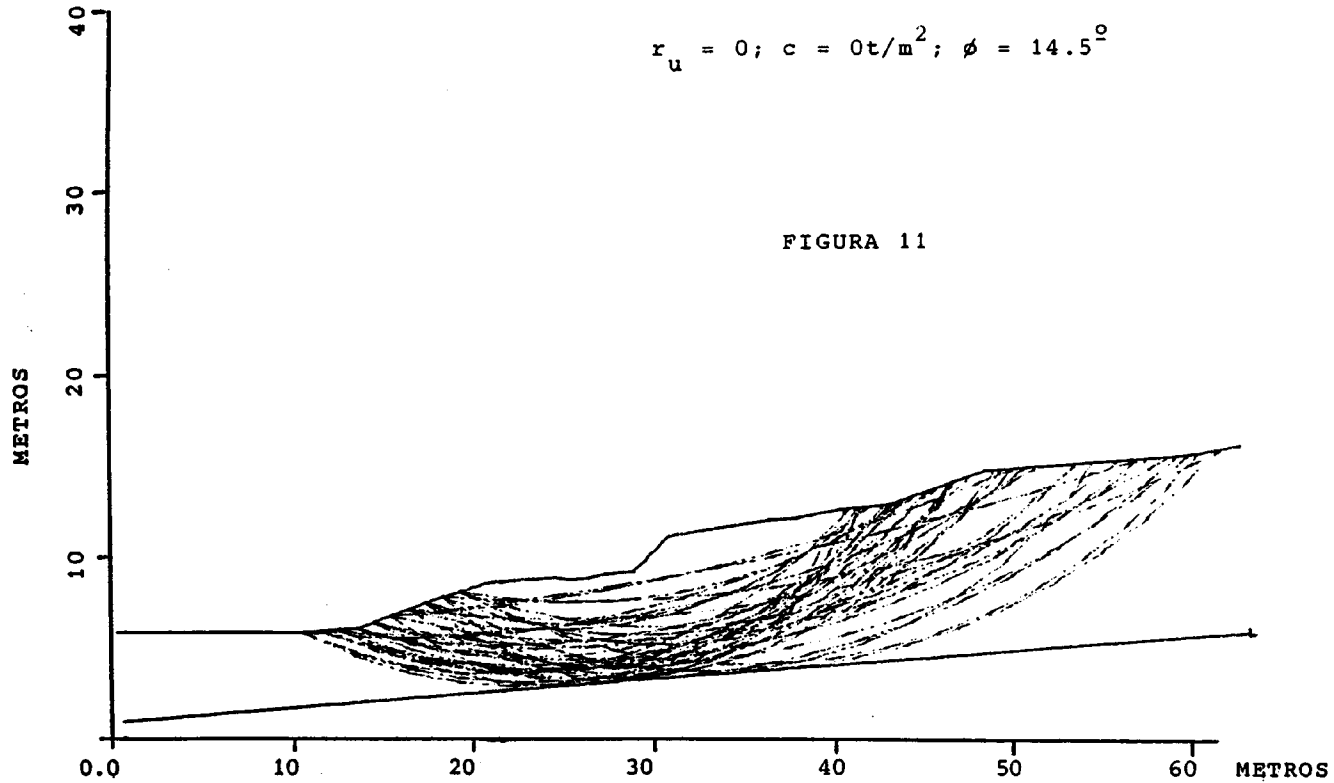


40 SUPERFICIES HAN SIDO GENERADAS

PERFIL FINAL

$$r_u = 0; c = 0t/m^2; \phi = 14.5^\circ$$

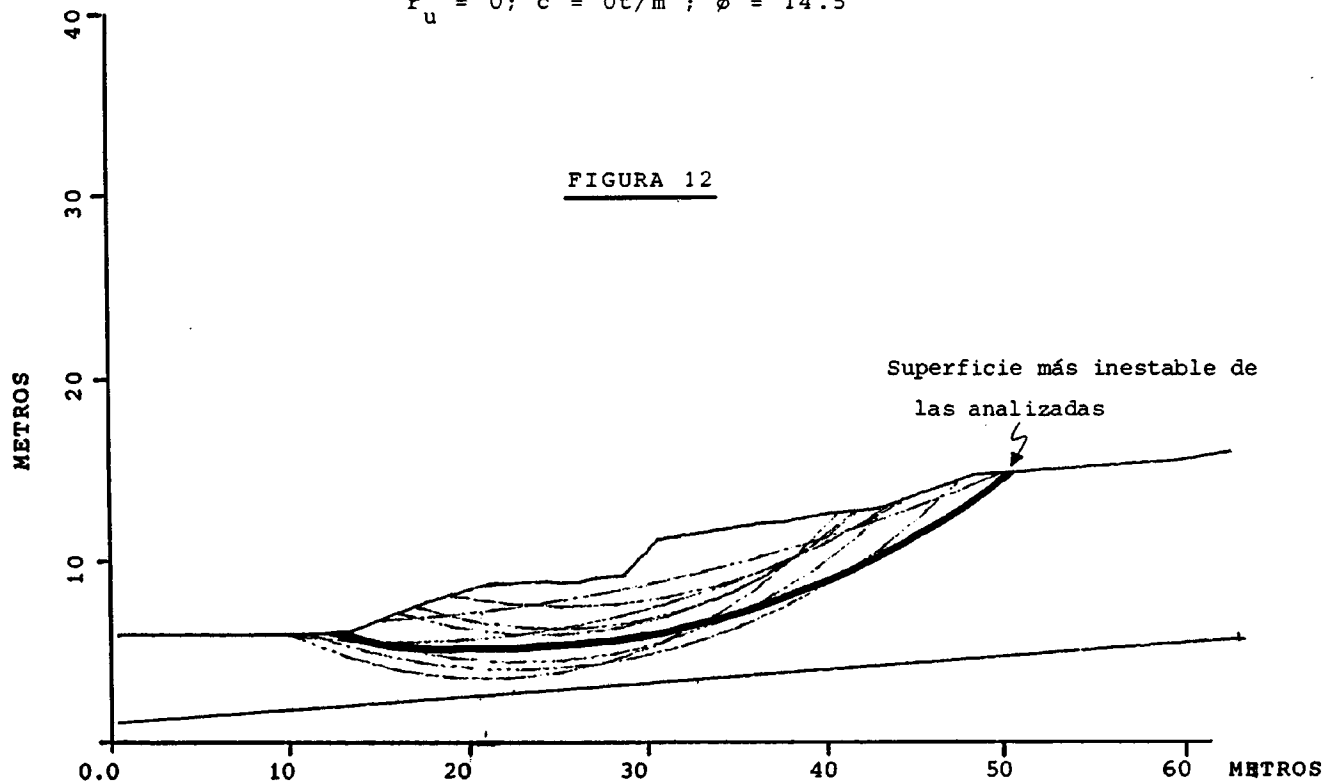
FIGURA 11



ANALISIS DE ESTABILIDAD
FUENTESBLANCAS

10 SUPERFICIES MAS CRITICAS
FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO = 0.981

$$r_u = 0; c = 0t/m^2; \phi = 14.5^\circ$$



8. CONCLUSIONES.

1. Los fenómenos de corrimientos de tierras o deslizamientos en toda la ladera que da al Río Arlanzón, en cuya zona alta se encuentra la Urbanización de "Fuentes Blancas", son frecuentes. En la misma ladera se han registrado deslizamientos y fenómenos similares con relativa frecuencia. Formas alomadas, lóbulos típicos, denotan una dinámica evolutiva de la pendiente basada en fenómenos como el que tratamos.

2. Se vienen cumpliendo casi con exactitud, que exista una correlación directa entre procesos de deslizamiento y desforestación; la eliminación de la vegetación conlleva la desaparición de la acción sustentadora de las raíces y un mayor contenido de agua en el terreno.

Esta ladera, como ya se mencionó en los antecedentes, se limpió de vegetación para la realización de obras de urbanización en el Complejo Residencial.

3. La disposición de los materiales, así como sus especiales características constituyen el factor de mayor responsabilidad del fenómeno: la formación infrayacente constituida por margas grises de gran plasticidad constituye un nivel impermeable que impide que las escorrentías superficiales penetren en el terreno buscando el nivel freático regional sin duda bastante más bajo. La formación superior: constituida por arcillas intercalando con lechos de arenas permite la presencia de niveles freáticos colgados y el almacenamiento de importantes cantidades de agua en las arenas virtud a su gran porosidad.

4. En relación directa con lo mencionado en el punto 3 de conclusiones, el manantial que existe a media ladera justo por encima del deslizamiento, constituye un ejemplo de lo argumentado; actuando como factor desfavorable al verter en el momento en el que se produjo, sobre la misma zona deslizada, en su cabecera.

5. Las condiciones climático-ambientales han contribuido también de forma importante. Una primavera especialmente lluviosa; una última semana previa al deslizamiento con 53 mm. de precipitación total que constituye un nivel relativo alto en la región (raramente se supera esa media en el mes entero) determinan que el momento elegido para comenzar las obras de excavación, no fué el idóneo.

6. Las excavaciones al pie del talud actuaron de desencadenante en una ladera que como se ha apreciado en los análisis se encontraba en una situación de equilibrio límite.

Como conclusión final podemos definir el fenómeno resumiendo: se trata de un deslizamiento en una ladera orientada al Norte, húmeda y fría, en una zona donde los procesos de esta naturaleza son frecuentes, tras una desforestación importante, en unos materiales de alta plasticidad y gran dificultad para el drenaje, en un momento de precipitaciones excepcionalmente altas y donde se han realizado obras de excavación al pie.

9 RECOMENDACIONES.

En este punto se abordan las medidas recomendables que a nuestro juicio serían las más adecuadas. Se tratan las soluciones a aquellos factores negativos que se han resumido en las conclusiones. En definitiva son medidas correctoras en aquellos cuya magnitud y carácter las hacen posibles y preventivas en aquellos que actúan de forma general e incierta como pueden ser las precipitaciones.

- MEDIDAS CORRECTORAS.

1.- Canalización de todas las surgencias de importancia que se localicen en la zona:

Existe una surgencia de bastante importancia en la parte media de la ladera. Su acción perjudicial ha sido suficientemente aludida.

Sería preciso localizarla exactamente. Excavar en su punto y entubarla mínimamente.

En virtud de la belleza de la zona, en una ladera muy verde, se recomienda la canalización e impermeabilización que quede disimulada y no constituya un impacto visual.

Se propone la excavación de una mínima regacha de 50 cm. de ancho por 30 cm. de profundidad en la que se instalaría un geotextil o membrana impermeable cubierta de un empedrado que la disimulase totalmente.

A este canal superficial se verterían todas las escorrentías de la zona evitando que una gran parte de los aportes superficiales penetren en el terreno.

En su parte baja, donde comienzan los límites de la urbanización sería conveniente verter directamente a la red de saneamiento general

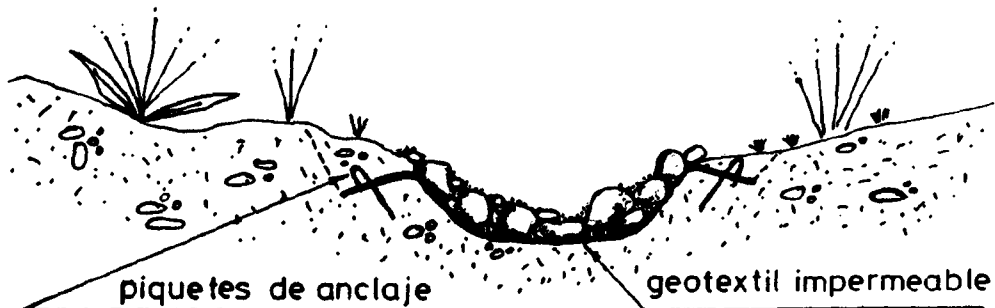


Figura 1.-

Detalle de la canalización superficial. Disposición en corte de los elementos.

2.- Regularización de la pendiente.

En el proyecto original de urbanización de la parte trasera de la Residencia n.º 1 del Complejo Residencial, aparece un murete de no más de 60 cm. que remata la zona urbanizada que limita con el monte. Es un murete de contención como el ya realizado en la parte posterior de la Residencia n.º 2 ya en funcionamiento que además sirve de banco corrido de asiento de los an cianos.

En el caso de la Residencia n.º 1 donde se ha producido precisamente el deslizamiento, en las obras de excavación para la regularización del murete aludido sería preciso realizar pre viamente la regularización de toda la parte baja de la ladera.

Proponemos que se excave hasta conseguir que la pendiente general alcance no más de 12°.

a) Se procurará realizar la obra en un momento en el que las precipitaciones habidas en un periodo razonable de un mes, con antelación, no hayan sido importantes.

b) En cualquier caso si se producen precipitaciones durante las obras es preferible posponerlas hasta que aquellas paren.

Proponemos que a mitad de ladera se habilite una berma que sirva de paso a la zona y que contribuya a establecer condiciones más del lado de la seguridad.

Se desaconseja ataluzar la ladera pues se ha comprobado que facilita la penetración y almacenamiento de escorrentias aumentando el peligro de deslizamientos.

- MEDIDAS PREVENTIVAS.

1.- Se recomienda que el Exmo. Ayuntamiento o el Organismo competente en la materia realice un análisis y control de la red de abastecimiento y saneamiento de la vecina Urbanización de "Fuentes Blancas". Una fuga podría ser responsable de fenómenos similares en otros puntos cercanos.

2.- La reforestación de toda ladera, no sólo constituiría un elemento más que contribuya a aumentar la belleza de la zona, sería también de gran ayuda en la estabilización definitiva de la ladera.


Como ya mencionamos, uno de los grandes factores desencadenantes en general y aquí en particular, es la desforestación.

El elemento de contención y armadura que constituyen las raíces así como su capacidad para absorber agua del terreno son dos factores de máxima importancia.

Proponemos la utilización de especies autóctonas que existen en las inmediaciones, del tipo roble o "robrizos" como se conoce al arbusto que crece en la zona, junto a otras especies de rápido crecimiento y gran capacidad de absorción como es el chopo.

En cualquier caso insistir en que la repoblación es la medida a largo plazo de mayor eficacia y la más acorde con el impacto ambiental deseado.

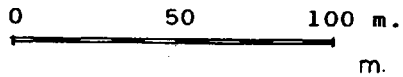
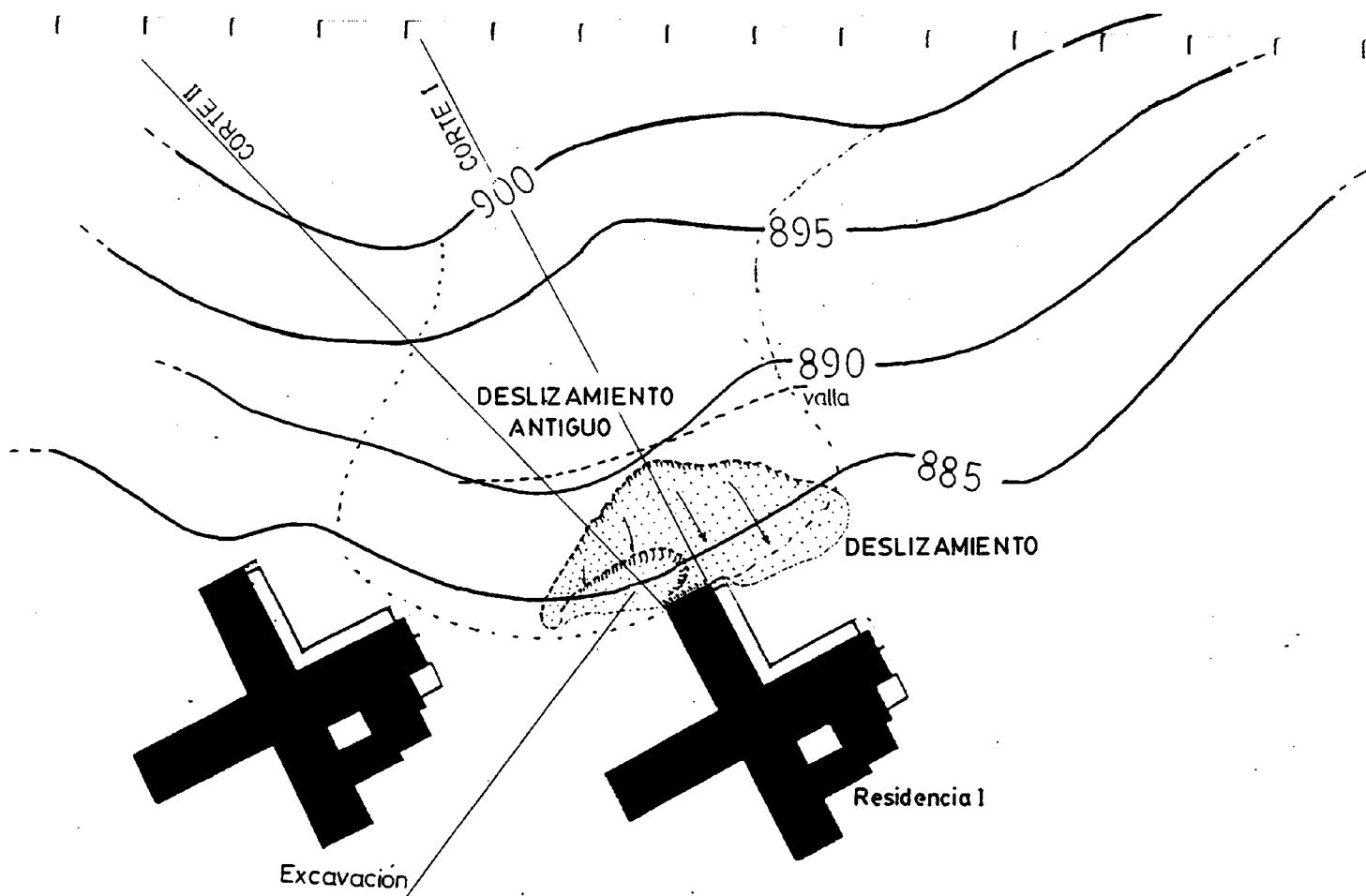
Fdo.: Francisco J. Ayala Carcedo
Ing. Minas.
División de Geología Ambien
tal y Geotécnia.
I.G.M.E.



Fdo.: Alberto Gracia Bernal
Geólogo.
GEONOC, S.A.

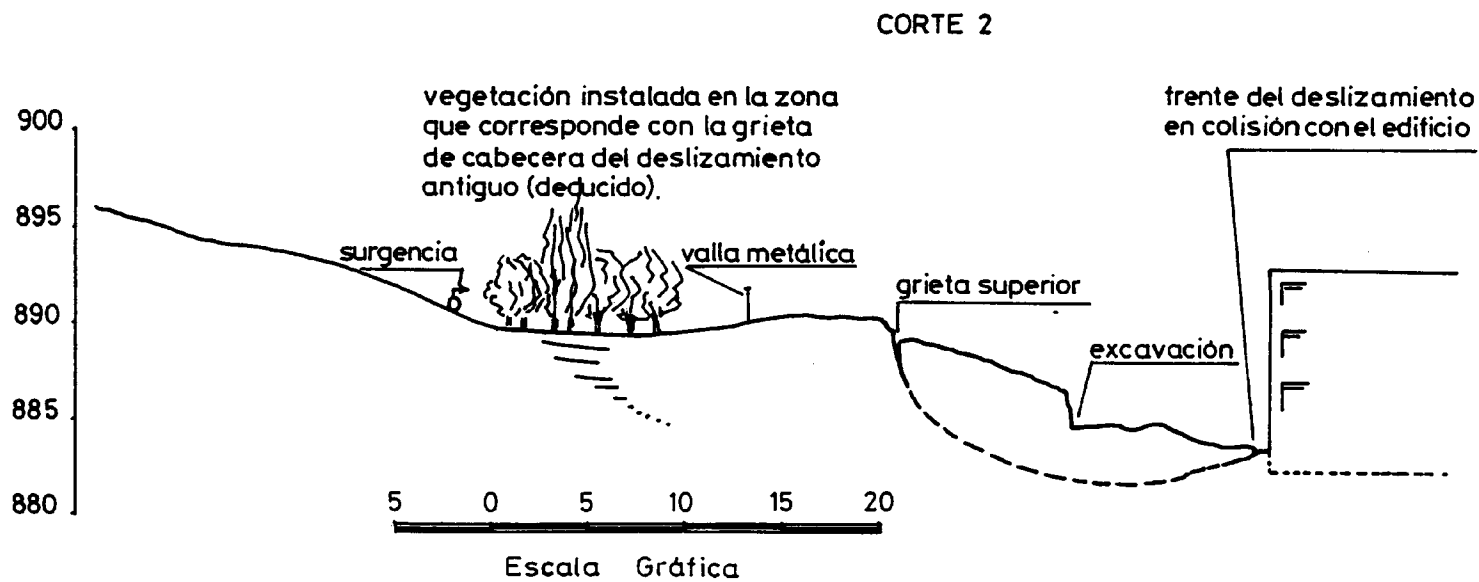
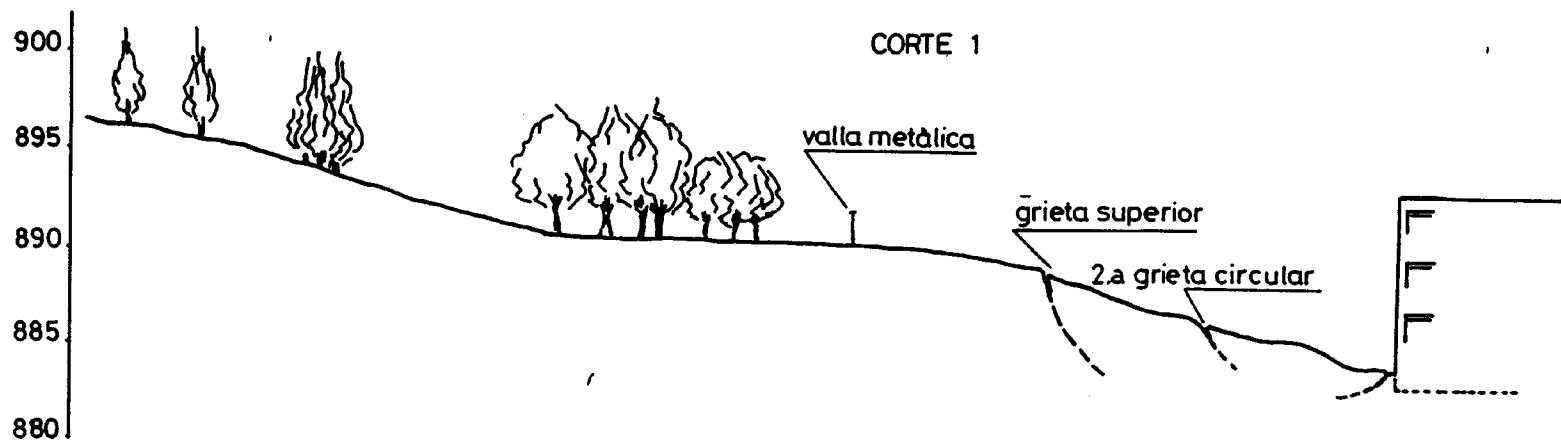
A N E X O S .

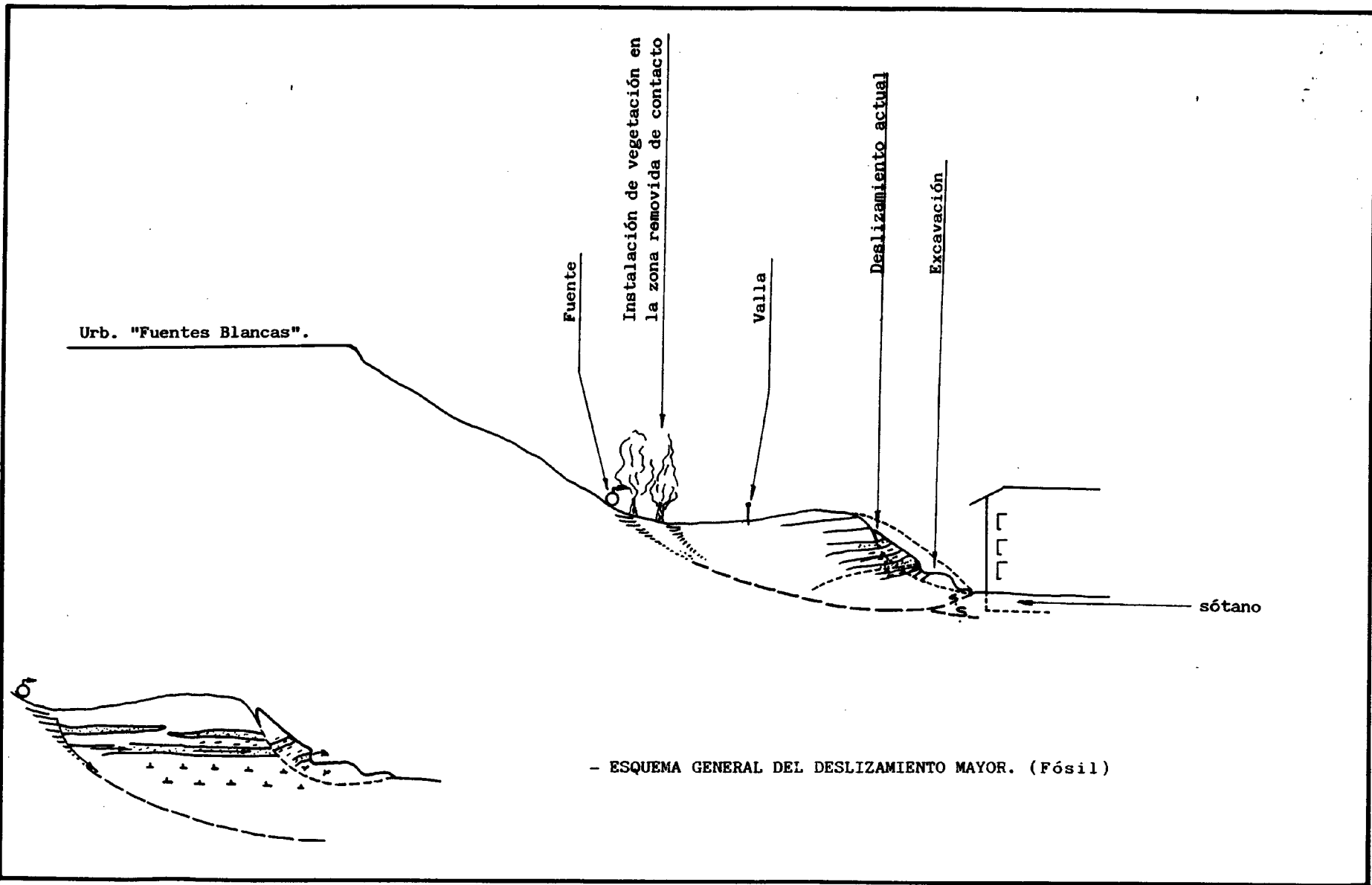
I. Esquema y Cortes.



- Solución esquemática en planta del deslizamiento.







II. Fotografias.



I - 7

Fotografía n.º 1.:

Excavaciones en el frente del deslizamiento. Obsérvese la acumulación de agua y la impermeabilidad de los materiales.



Fotografía n.º 2.:

Tripo frontal de acumulación. Obsérvese la disposición forzada de los materiales al ser empujados y topar con un obstáculo (en este caso el ala Sur de la Residencia).



PANORAMICA N.º 1:

Vista panorámica general del deslizamiento.

DIMENSIONES

Ancho 43 m.

Largo 108 m.

Longitud de grieta de cabecera 130 m.

Pendiente máxima de ladera 29°

Pendiente general de ladera 19°

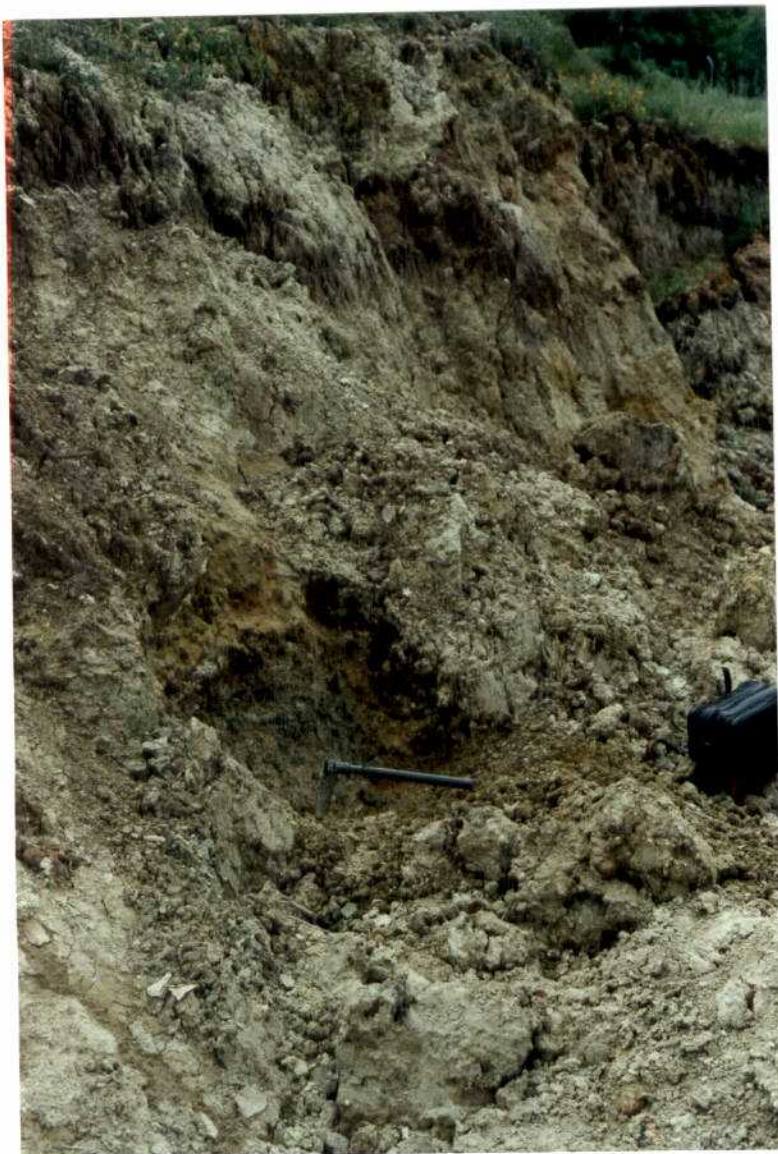
Desplazamiento máximo vertical, medido en la grieta de cabecera 43 cm.

Desplazamiento máximo horizontal, medido en la grieta de cabecera 52 cm.



Fotografía n.º 3.:

Cata sobre los materiales del frente de deslizamiento. Obsérvese como la disposición de la estratificación es inclinada hacia dentro del deslizamiento.



Fotografía n.º 4.:

Vista particular sobre los materiales deslizados. Véase el contacto entre las arenas de la parte superior y las margas grises con yesos de debajo.





Fotografía n.º 5.:

Vista lateral de la grieta de coronación.



Fotografía n.º 6.:

Vista de detalle de la magnitud y profundidad de la grieta en la zona de coronación del deslizamiento.



Fotografía n.º 7.:

Desprendimiento del muro de con
tención de un chalet vecino.

Fotografía n.º 8.:

Productos del desprendimiento.

I - 0





Fotografía n.º 9 .:

Vista general de la ladera en otro punto situado a 300 m. aprox. de nuestro deslizamiento. Obsérvese la estructura alomada de frentes deslizados superpuestos.

III. Análisis de laboratorio.

CLIENTE: Excma. Diputación Provincial de Burgos.

ASUNTO: Deslizamiento en la Urb. "Fuentes Blancas".

Verificado

Dibujado

CUADRO GENERAL DE ENSAYOS DE LABORATORIO

| | INALT. | ALTER. | ALTER. | INALT. | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| MUESTRA Nº | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD m | S U P E R F I C I A L E S | | | | | | | | | | | | |
| U.S.C.S. | | | | | | | | | | | | | |
| W (%) | 5,7 | | | 22,7 | | | | | | | | | |
| G_c (t/m ³) | 1,41 | | | 1,93 | | | | | | | | | |
| G_d (t/m ³) | 1,33 | | | 1,57 | | | | | | | | | |
| G_o (t/m ³) | | | | | | | | | | | | | |
| W _L (%) | | 60,9 | 74,5 | 38,3 | | | | | | | | | |
| W _p (%) | | 20,6 | 25,3 | 14,2 | | | | | | | | | |
| I _p (%) | | 40,2 | 49,3 | 24,1 | | | | | | | | | |
| peso T-200 (%) | 3,2 | 91,- | 85,9 | 74,- | | | | | | | | | |
| retenido T-4 (%) | 0,- | 0,- | 0,- | 0,- | | | | | | | | | |
| C _c | | | | | | | | | | | | | |
| q _u (kg/cm ²) | | | | | | | | | | | | | |
| E (%) | | | | | | | | | | | | | |
| c (kg/cm ²) | | | 0,1 | | | | | | | | | | |
| γ (°) | | | 14 | | | | | | | | | | |
| Ph (kg/cm ²) | | | | | | | | | | | | | |
| E _n (%) | | | | | | | | | | | | | |
| PROCTOR | H.opt (%) | | | | | | | | | | | | |
| | γ _{máx.} (t/m ³) | | | | | | | | | | | | |
| LAMBE | Cambio potencial de volumen | | | | | | | | | | | | |
| | Clasificación | | | | | | | | | | | | |
| Mat org. (%) | | 1,5 | | | | | | | | | | | |
| SO ₃ (%) | | | | | | | | | | | | | |
| CO ₃ Ca (%) | | | | | | | | | | | | | |
| K (cm/seg) | | | | | | | | | | | | | |

Muestra 1:

Se trata de una arena de grano fino-medio, muy bien seleccionada (mal graduada por tanto), y con muy pocos finos (muy limpia).

Según la clasificación U.S.C.S. corresponderían a un suelo SP "arenas mal graduadas con pocos o sin finos". La densidad seca toma valores muy bajos ($\gamma_d = 1,33$), por lo que la porosidad es muy alta.

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{s} \qquad \gamma_s = 2,65$$
$$n = 49,8 \%$$

Esto nos indica que se trata de una arena muy suelta (baja compacidad) con poca capacidad portante (si fuera para edificaciones). Se encuentra lejos de la saturación.

Muestra 2 y 3:

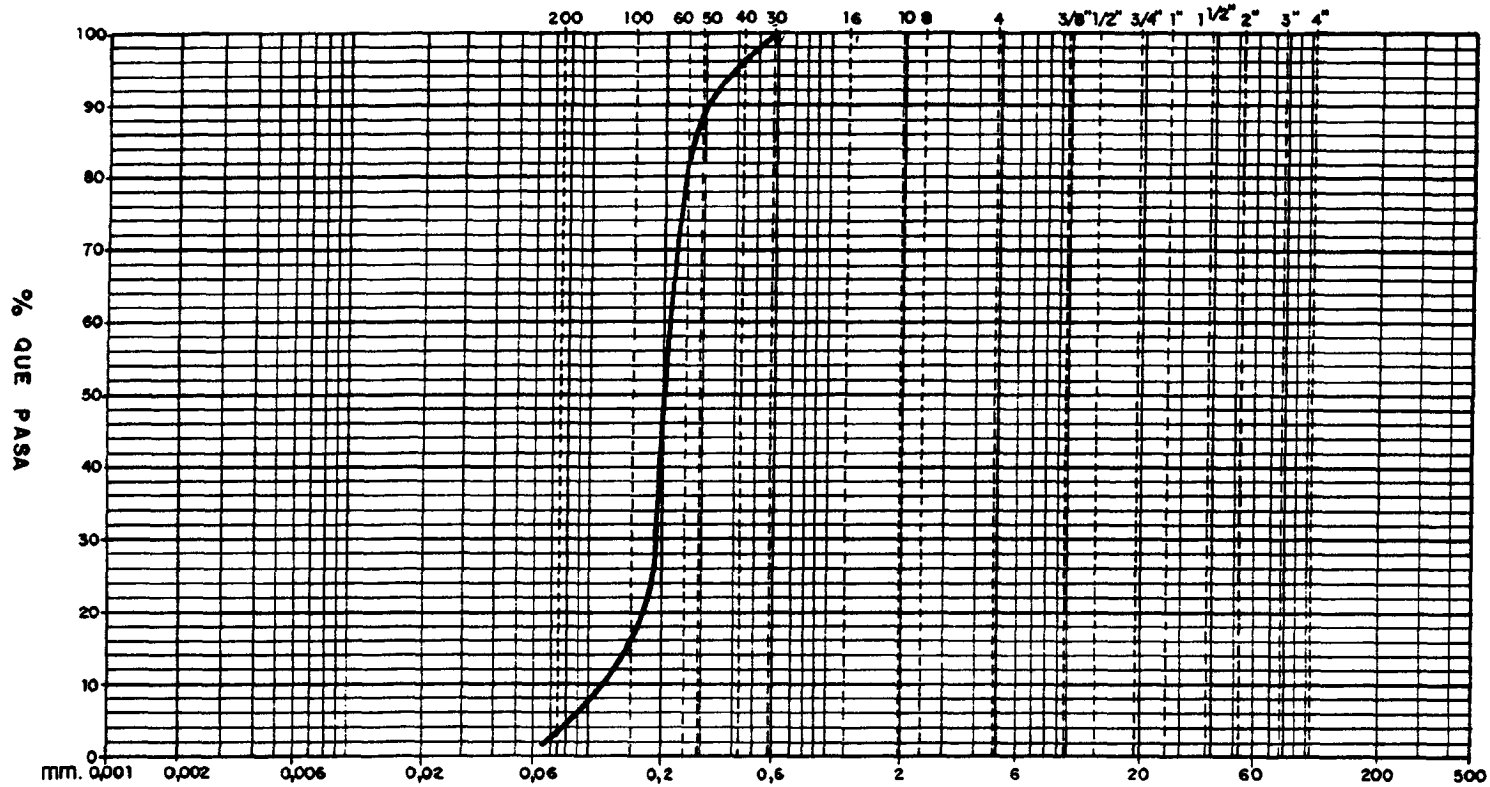
Wl - alto, arcillas de alta plasticidad (CH) según la clasificación U.S.C.S. con ángulo de rozamiento internobajo.

Las propiedades del material para condiciones de corto plazo (sin drenaje) son bastante deficientes. Se comprueba que son materiales poco consistentes (arcillas blandas).

Muestra 4:

Wl - bajo, arcillas de baja plasticidad (CL) según U.S.C.S. El ensayo de corte nos da los parámetros resistentes del material a corto plazo (sin drenaje), [ya que no se dejan disipar las presiones intersticiales].

TAMICES SERIE A.S.T.M.



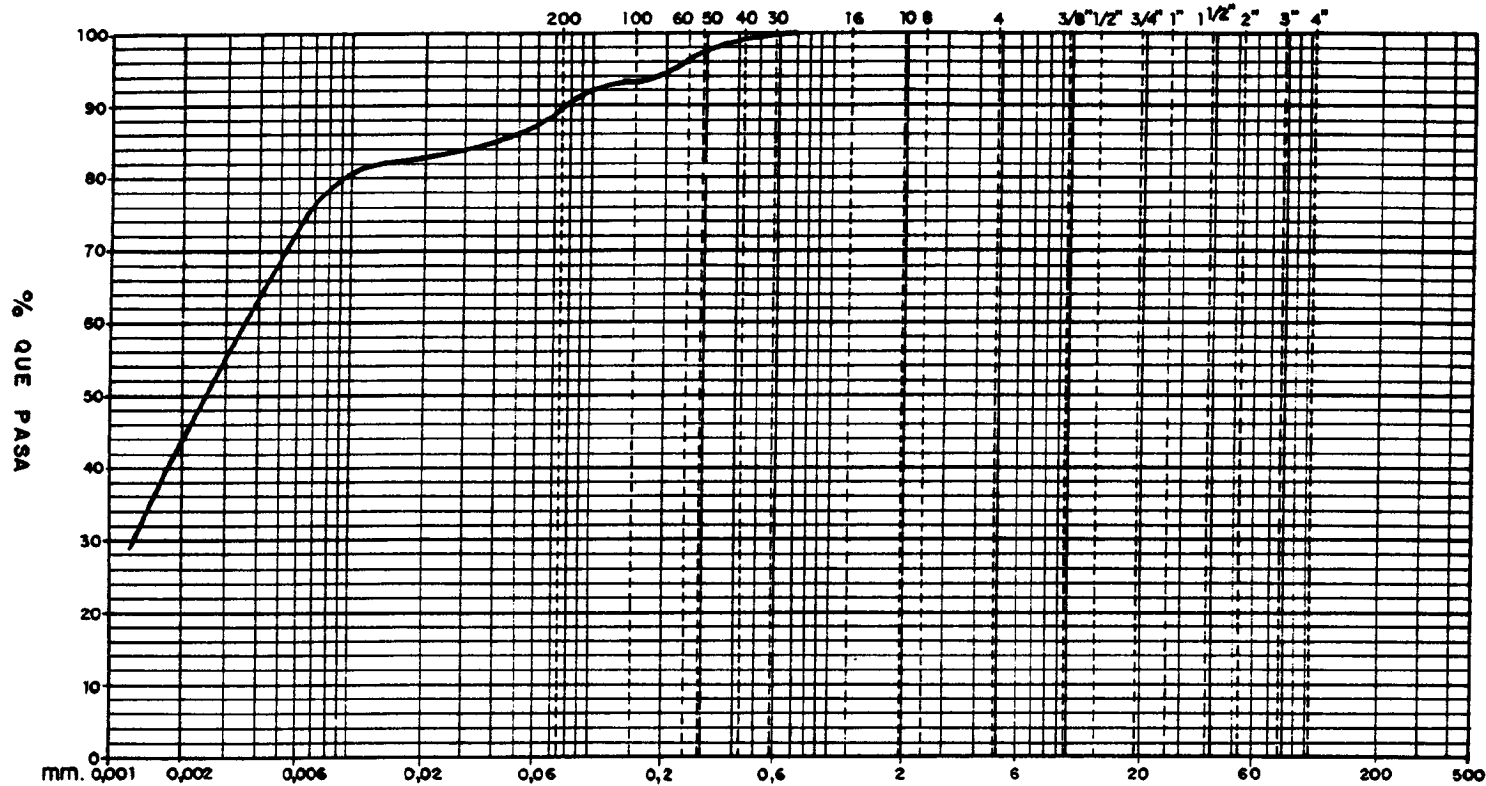
| | | | |
|----------------|-------|-------|-------|
| ARCILLA Y LIMO | ARENA | GRAVA | BOLOS |
|----------------|-------|-------|-------|

| MUESTRA NUMERO | SONDEO N.º O CATA N.º | PROFUNDIDAD O COTA | U.S.C.S. |
|----------------|-----------------------|--------------------|----------|
| N.º 1 | | | |
| Inalterada | | | |

| | | | |
|---------|----------------|-----------------------------|--------------|
| CLIENTE | GRANULOMETRIAS | Escala : SEMILOGARITMICA | Plano n.º |
| | | Verificado Dibujado | |

- Fuentes Blancas - Burgos.

TAMICES SERIE A.S.T.M.



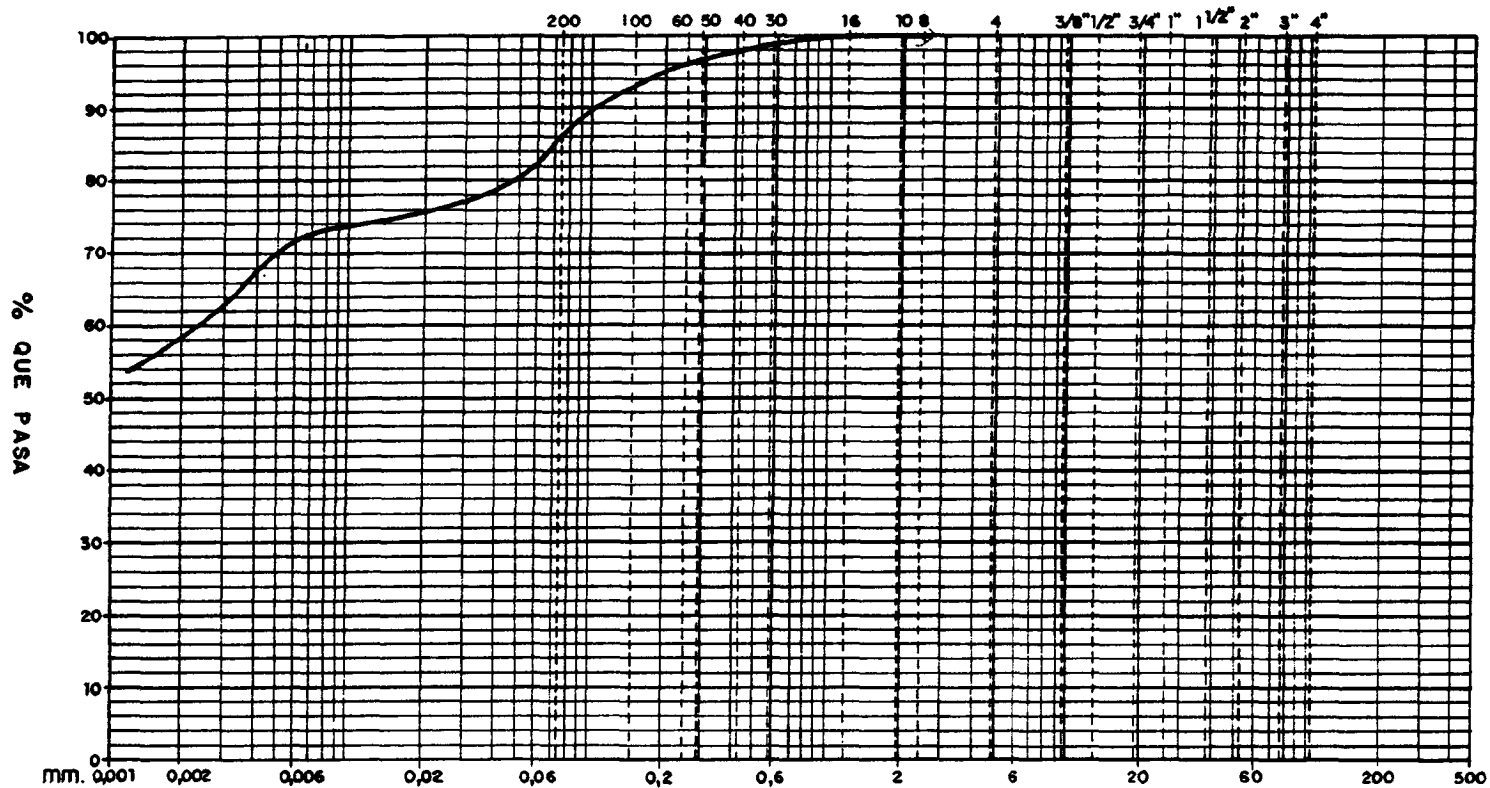
| | | | |
|----------------|-------|-------|-------|
| ARCILLA Y LIMO | ARENA | GRAVA | BOLOS |
|----------------|-------|-------|-------|

| MUESTRA NUMERO | SONDEO N.º O CATA N.º | PROFUNDIDAD O COTA | U.S.C.S. |
|----------------|-----------------------|--------------------|----------|
| N.º 2 | | | |
| Alterada | | | |

"Fuentes Blancas".
Burgos .

| | | | | |
|-----------------------|------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| CLIENTE | | | | Plano n.º |
| GRANULOMETRIAS | SEMILOGARITMICA | Escala : | Verificado | Dibujado |
| | | | | |

TAMICES SERIE A.S.T.M.



| | | | |
|----------------|-------|-------|-------|
| ARCILLA Y LIMO | ARENA | GRAVA | BOLOS |
|----------------|-------|-------|-------|

| MUESTRA NUMERO | SONDEO N.º O CATA N.º | PROFUNDIDAD O COTA | U.S.C.S. | |
|----------------|--------------------------|-----------------------|----------|-------------------------------|
| N.º 3 | | | | "Fuentes Blancas". Burgos. |
| Alterada | | | | |

| | |
|------------|--|
| Verificado | |
| Dibujado | |

GRANULOMETRIAS

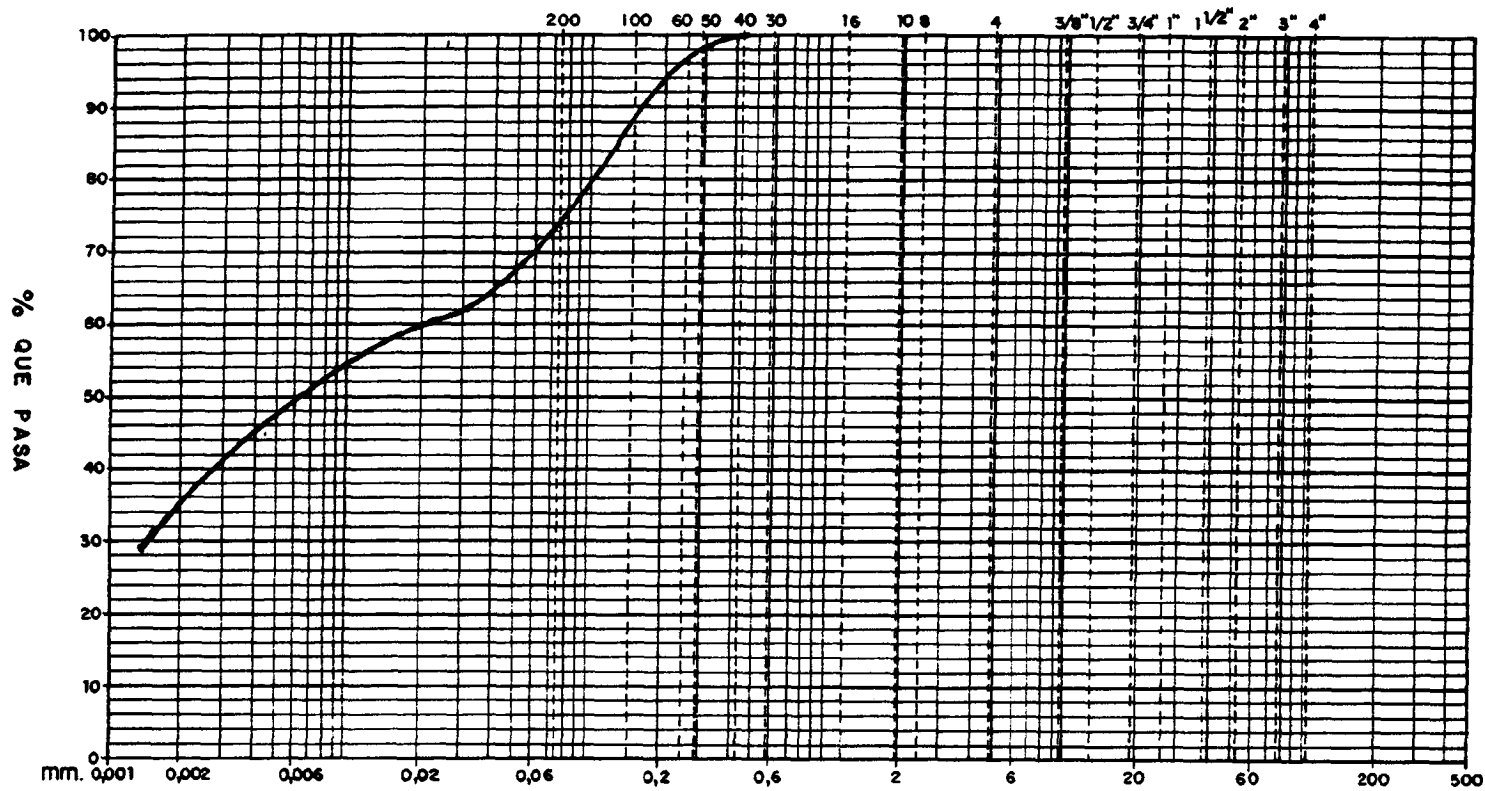
SEMILOGARITMICA

Escala :

Plano
n.º 2

CLIENTE

TAMICES SERIE A.S.T.M.

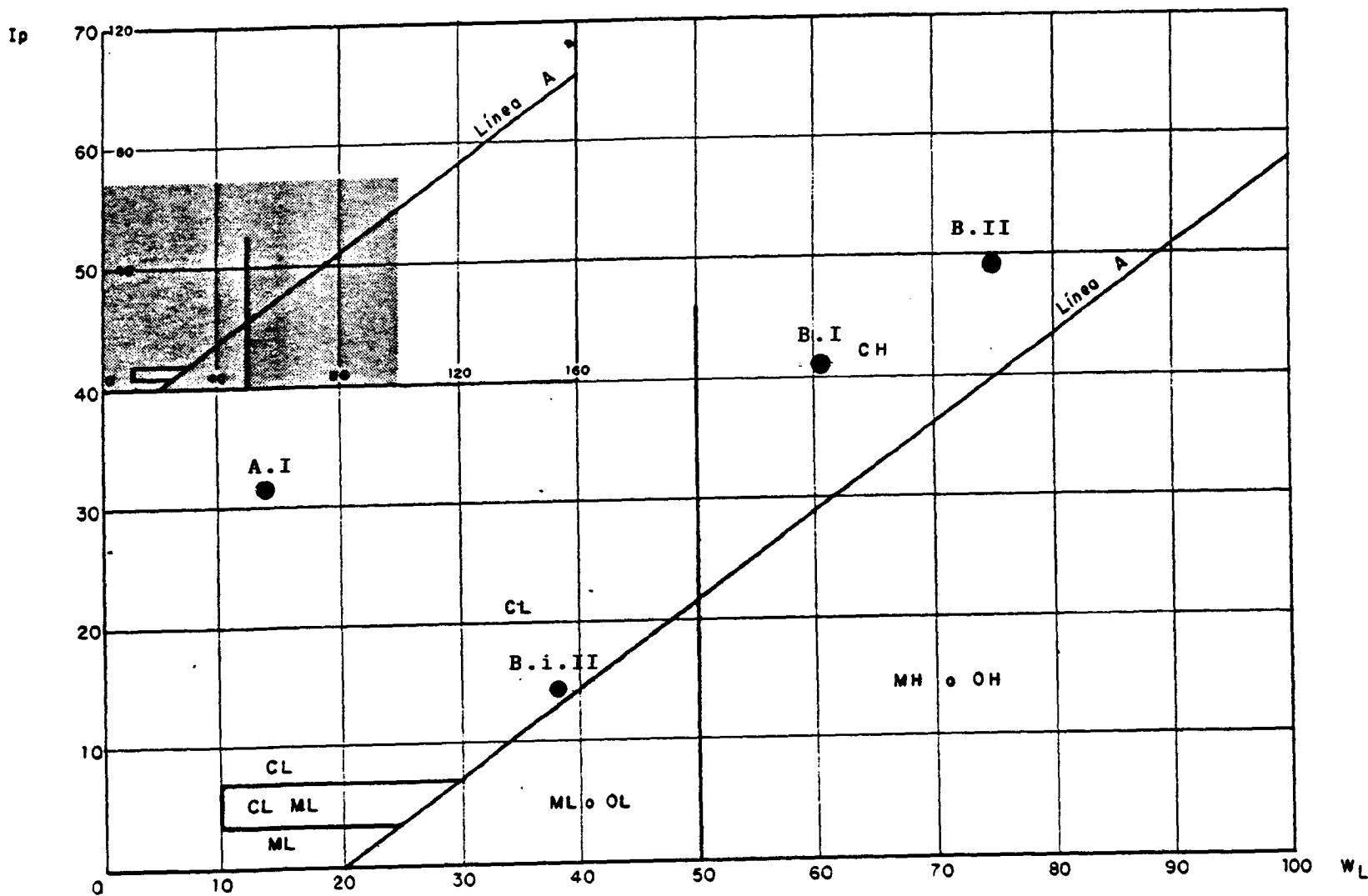


| | | | |
|----------------|-------|-------|-------|
| ARCILLA Y LIMO | ARENA | GRAVA | BOLOS |
|----------------|-------|-------|-------|

| MUESTRA NUMERO | SONDEO N.º O CATA N.º | PROFUNDIDAD O COTA | U.S.C.S. |
|----------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|
| N.º 4 | | | |
| inalterada | | | - Fuentes Blancas- Burgos. |

| | | |
|-----------------------|---------|------------|
| GRANULOMETRIAS | CLIENTE | Plano n.º |
| SEMILOGARITMICA | Fecha : | Verificado |
| | | Dibujado |

Fig. - Diagrama de plasticidad



CLIENTE - Fuentes Blancas - BURGOS.

Plano
nº

Verificado

Dibujado

DESIGNACION

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Sondeo nº

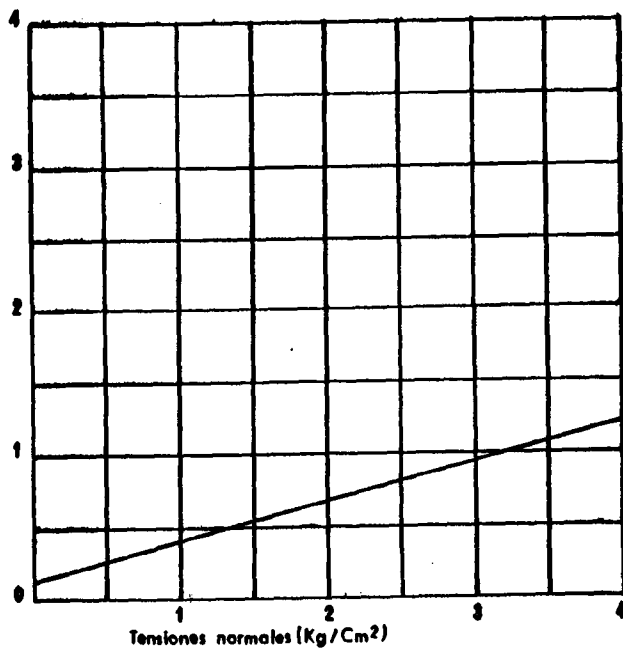
Profundidad

Curvas de rotura y linea de resistencia intrínseca

II

m.

| Probeta nº | I | II | III |
|--------------------------------|------|-------|-------|
| τ_v (Kg/Cm ²) | 1,06 | 2,10 | 3,33 |
| %Humedad inicial | 51,3 | 52,7 | 52,- |
| %Humedad final | - | - | - |
| Tiempos de rotura | 3' | 2'30" | 6'30" |



$\varphi = 14^\circ$

$C = 0,1 \text{ Kg/Cm}^2$

