



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

ESTUDIO DEL RIESGO DE FILTRACIONES
DE UN AZUD EN EL RIO CERVERA,
BEGES (CANTABRIA)

Nº SIMON 88241



ESTUDIO DE LAS CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS
DE UN TRAMO DEL RIO CERVERA, BEGES (CANTABRIA).

Este estudio ha sido realizado por el siguiente equipo:

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

- Dña. Mercedes Ferrer Gijón.
 - * Lcda. en C.C. Geológicas.
 - I.T.G.E.

- Jesús Miguel Rico Romero
 - * Lcdo. en C.C. Geológicas.
 - GEONOC, S.A.

- D. José A. Grao del Pueyo.
 - * Lcdo. en C.C. Geológicas.
 - GEONOC, S.A.

I N D I C E

1.- INTRODUCCION

2.- LOCALIZACION GEOGRAFICA

3.- MARCO GEOLOGICO

3.1. Marco geológico general

3.2. Hidrología e Hidrogeología

4.- ENSAYOS DE PERDIDA DE AGUA CON CARGA CONSTANTE

4.1. Descripción de algunos parámetros hidrogeológicos

4.2. Descripción del ensayo

4.3. Análisis de los resultados

4.4. Consideraciones finales.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.- BIBLIOGRAFIA

A N E X O S

I.- FOTOGRAFIAS

II.- PLANOS Y PERFILES

III.- ANALISIS DE LABORATORIO

IV.- ANALISIS HIDROGEOLOGICO (Ensayos de campo)

1. INTRODUCCION

El presente estudio realizado por el I.T.G.E. (Instituto Tecnológico y Geominero de España) en colaboración con GEONOC, S.A., por encargo de la Consejería de Industria del Gobierno de la Comunidad de Cantabria, trata de ser una aproximación a la problemática que presenta la Geología en determinados lugares donde se pretenden enclavar ciertos tipos de obras.

En concreto, se van a estudiar a fondo las características hidrogeológicas que influirán terminantemente en la construcción o no de un pequeño azud o represa con fines puramente recreativos, en un tramo concreto del río Cervera (Arroyo de Beges), y en un enclave geográfico de elevada calidad paisajística y medioambiental.

Para ello, valiendonos de ensayos apropiados y a partir de datos obtenidos en campo, se darán al final una serie de conclusiones y recomendaciones al respecto.

Se conocen estudios de este tipo y con esta finalidad pero ninguno localizado en esta zona.

2. LOCALIZACION GEOGRAFICA

La zona de estudio se sitúa en el límite centro-occidental de la Comunidad de Cantabria, muy próximo al límite provincial con Asturias.

Situada a unos dos kilómetros de la aldea de Beges arroyo abajo, su acceso lo tiene desde la población de La Hermita ubicada en la N-621 junto al río Deva, a través de un camino vecinal que en la actualidad está siendo hormigonado hasta la misma aldea de Beges. El ensanchamiento de este camino vecinal para su acondicionamiento a carretera local, está causando grandes desprendimientos de bloques y deslizamientos de canchales que descansan en las pronunciadas laderas, lo que puede suponer un peligro para el tránsito en un futuro inmediato.

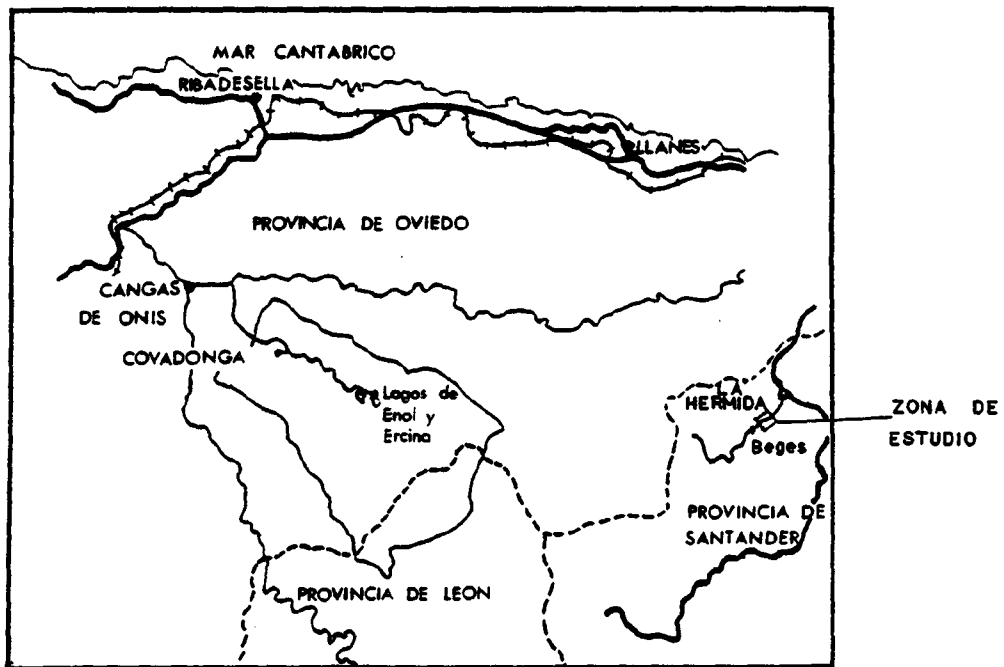
Geográficamente, esta área se sitúa en la parte más oriental de la Cordillera Cantábrica, en una zona en la que las mayores altitudes superan ligeramente los 2000 metros. Se puede decir que la parte más baja topográficamente es la zona de estudio, teniendo unos 300 m. sobre el nivel del mar. Se encuentra encajonada entre las paredes calizas subverticales que forman el desfiladero del río Cervera, arqueado de S a E hasta su desembocadura en el río Deva, con unos 100 m de altitud en La Hermita.

El relieve está configurado por cumbres que se yerguen con pendiente constante o con abruptas paredes, dependiendo del tipo de material y disposición estratigráfica o estructural. Destacan Parijorcao (1382 m), Cerro Agero (1334 m), Coterá Callejo (1231 m) y todos los altos de la Sierra de Beges, con altitudes medias de 800 m.

En general, se trata de una zona de relieve de alta montaña con fuertes desniveles y abundantes arroyos y ríos rápidos.

La proximidad de esta zona a la costa del Mar Cantábrico (25 km), hace que goce de un clima suave y húmedo, característico de la Cornisa Cantábrica. De ahí que se desarrolle una flora típica de montaña húmeda entre la que destacan especies como el Tejo, Roble, Encina, Acebo, Castaño, Zarza y monte bajo con prados y pastizales intercalados, en las áreas más altas y abruptas, y otra todavía más ligada a humedales (hundidos, umbrías y fondos de valle) entre la que destacan Avellano, Castaño, Nogal Fresno, Helecho y otras especies que tan agradable sensación visual producen al visitante. La fauna es también característica de montaña, pudiéndose encontrar algún ejemplar de Cabra Montés tan escasa en otras partes de nuestra geografía.

El resultado de este variado conjunto de elementos naturales, es un paisaje singular de enorme belleza y calidad medioambiental que merece ser cuidado y respetado.



LOCALIZACION GEOGRAFICA.

3. MARCO GEOLOGICO

3.1. Marco geológico general

Situada en el extremo oriental del Macizo paleozoico asturiano, que se hunde bajo la cobertera mesozoico terciaria de Santander, la zona de estudio se sitúa, desde el punto de vista estructural y paleogeográfico, en el dominio N, donde predominan los sedimentos carboníferos o Dominio de Picos de Europa.

Estratigráficamente, está enclavada en la Formación "Picos de Europa" de edad Westfaliense-B-Cantabriense. Con un espesor de hasta 800 m, la parte inferior de esta formación se caracteriza por estar constituida de calizas de grano fino y color blanco intenso en fractura. Esta facies blanca puede ocupar casi la mitad inferior de la formación, pasando hacia la parte superior a calizas grises y rosadas, de aspecto brechoide, con abundante fauna y con la particularidad de presentar varios niveles que se acuñan lateralmente y que pueden llegar a los 30 m de espesor, de calizas brechoides que se parecen a la caliza "griotte". Aparecen frecuentemente fusulínidos, organismos coralinos y algas.

Estos materiales están afectados por la Orogenia Hercílica, responsable de la actual estructuración. El dominio Picos de Europa (JULIVERT, 1976 b) constituye un apilamiento de escamas de calizas carboníferas con algunos pliegues asociados.

La caliza de la Formación "Picos de Europa" se presenta en esta área en una serie monoclinal ligeramente plegada, limitada por dos superficies de cabalgamiento que favorecieron el desplazamiento de N a S. Sin presentar grandes fracturas con desplazamiento visible, si que muestra el resultado de una activa tectonización que se manifiesta en la enorme cantidad de familias de diaclasas de dirección, espaciamiento e intensidad variable, (ver diagrama de proyección estereográfica en Anexo II).

El resultado de esa intensa deformación sufrida en anteriores orogénias, es la caliza que hoy vemos, presentando evidentes huellas de pequeños desplazamientos entre bloques, rellenos de grietas por material de recristalización (calcita principalmente) y, sobre todo, gran carstificación aprovechando los caminos que para el agua constituyen las pequeñas y grandes grietas abiertas por acción tectónica.

La Geomorfología de la zona es el resultado de dos tipos de modelado principales: por un lado, la acción de los glaciares, apreciables, sobre todo, en alturas superiores a los ochocientos y novecientos metros, como resultado de las variaciones climáticas que tuvieron lugar durante el Cuaternario. Circos y valles glaciares, aristas afiladas, depósitos morrénicos son el resultado de esta acción. Por otro lado, tenemos el resultado de un modelado por disolución de la roca calcárea o modelado cárstico. Se trata de una acción erosiva sobreimpuesta al modelado glaciar, que origina un sinfín de morfologías :

características: dolinas, uvalas, valles ciegos, profundos desfiladeros, innumerables cavidades subterráneas entre las que destacan cientos de simas y poljés.

Existen en la zona de estudio otros tipos de materiales, de edad mucho más reciente, entre los que destacan:

* Aluviones fluviales, que se encuentran representados en pequeñas extensiones en el curso medio del río Cervera, (zona de estudio), constituidos por arenas, gravas con algunos cantos y bloques de caliza redondeados ocupando en ocasiones el lecho del río, y arcillas y limos como material asociado y de relleno de huecos del material grueso.

* Depósitos de ladera, constituidos por bloques calcáreos con una matriz de tamaño arena que ocupa algunas partes de las escarpadas laderas del valle del río. Son muy parecidos a los depósitos periglaciares y se originan en la actualidad por la acción principal del crioclastismo formando los llamativos "canchales", inestabilizados en determinados tramos de la carretera de acceso a Beges (ver fotografías en Anexo I).

* Depósitos cársticos, localizados principalmente en oquedades de las calizas y formados por arcillas de descalcificación de color rojo o marrón, con fracción limosa y arenosa. Pueden rellenar grandes cavidades (ver fotografías en Anexo I).

3.2. Hidrología e Hidrogeología

Como bien se ha abundado en capítulos anteriores, la zona cántabro-asturiana, por pertenecer a la parte central de la Cornisa Cantábrica, presenta peculiaridades climáticas típicas de áreas montañosas con influencia claramente oceánica (temperatura media anual de 12°C y precipitaciones altas, hasta 1400 mm, con 2000 mm de máxima y hasta 193 días/año de lluvia como promedio).

La elevación de la Cordillera Cantábrica paralela a la costa y muy próxima a ella, hace que por el efecto Foëm gran parte de las precipitaciones provenientes de los frentes atlánticos se queden en las laderas orientadas al N preferencialmente, lo que motiva la aparición de numerosos rios rápidos de corto recorrido que van a desembocar en el Mar Cantábrico.

La circulación del agua en el Dominio de Picos de Europa es la típica de terrenos cársticos, con rios que sólo son caudalosos en sus cursos bajos y escasez de fuentes en las partes altas. Se encuentran ejemplos de rios que desaparecen y vuelven a aparecer, valles ciegos, de hundimiento, etc, así como importantes surgencias como la Cueva del Agua en las proximidades de Beges, con un caudal de hasta $2\text{ m}^3/\text{sg}$.

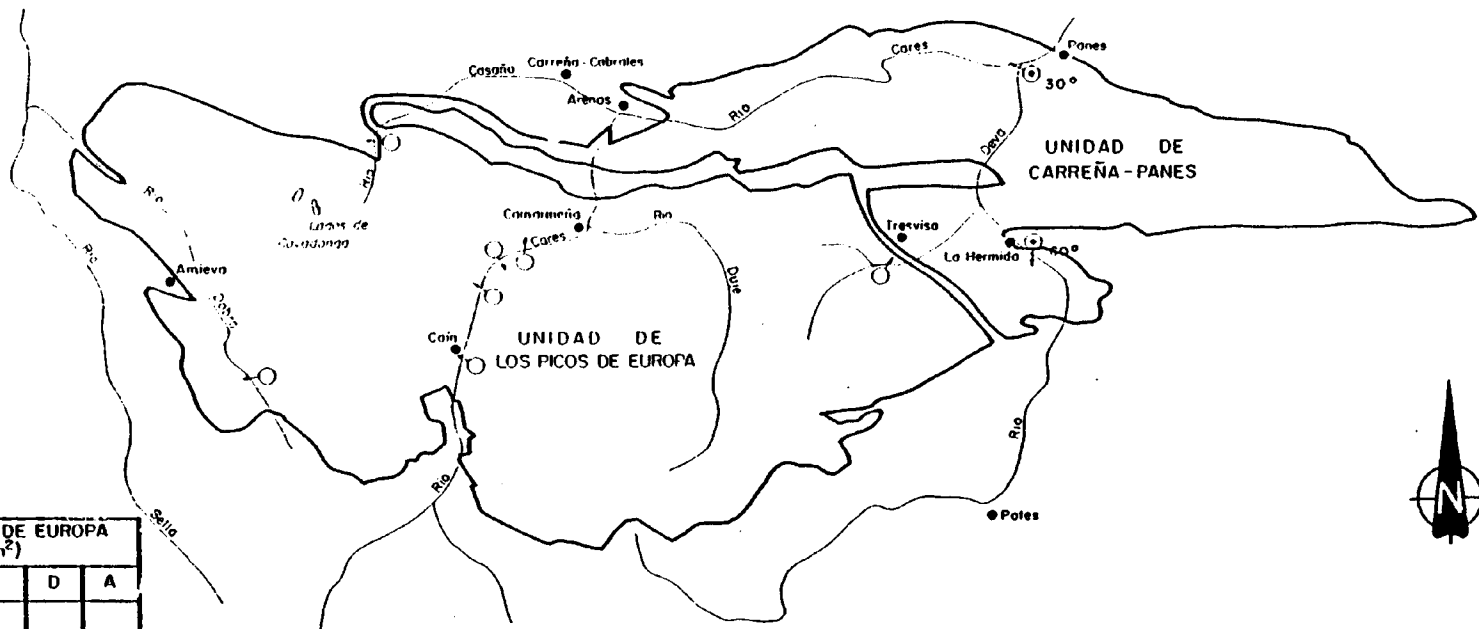
Existe una complicada red de cuevas que atraviesa los

Macizos Oriental y Central, llevando la mayor parte de las aguas hacia los ríos Deva y Cares, con numerosas cuevas que se desarrollan desde los 2000 m de altura siguiendo las grandes fracturas existentes en la región.

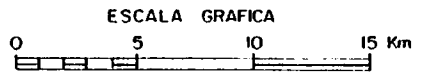
La zona de estudio corresponde hidrogeológicamente al Sistema 3 A "Picos de Europa". Tiene una extensión superficial de 428 km² y constituye un gran macizo de 40x16 km alineado de E a W, paralelo a la costa cantábrica (I.G.M.E., 1984, "Calidad de Aguas Subterráneas, Cuenca Norte, Asturias").

La Hidrología superficial viene condicionada por la gran importancia de las aguas subterráneas y los ríos de la zona están influidos en gran medida por los grandes manantiales de la zona. Las cuencas cerradas representan más de la cuarta parte de la superficie total de los Picos de Europa. Las cuencas hidrográficas comprendidas son las del Sella Cares y Deva. Aunque las características primarias son mejores en las calizas de Picos, los procesos de fisuración, karstificación, recristalización y dolomitización son los que condicionan la calidad del acuífero y no la estratigrafía. En sentido lato, toda Caliza de Montaña puede considerarse como acuífero. La karstificación es particularmente elevada en la zona de variación estacional. La respuesta del acuífero es muy rápida a las lluvias. Se ha calculado un coeficiente de descarga de 0.29 días⁻¹ y una difusión aparente de $T/S = 0.75 \text{ km}^2/\text{día}$.

ESQUEMA HIDROGEOLOGICO DE LAS UNIDADES "PICOS DE EUROPA" Y "CARREÑA - PANES"



| UNIDAD 3A - PICOS DE EUROPA (428 km ²) | | | | |
|---|------------------------|---|---|---|
| Acuíferos | C | B | D | A |
| Superficie km ² | 428 | | | |
| Recursos hm ³ /año | 370-520 | | | |
| Reservas [*] hm ³ | 400 | | | |
| Cuencas hídricas comprendidas | SELLA CARES DEVA | | | |



LEYENDA

- Manantial
- 30° " de aguas termales (T°)
- Límite de unidad

Reservas^{*} Reservas estimadas hasta una profundidad de 100 m por debajo del nivel piezométrico.

La Unidad Picos de Europa se drena por un reducido número de grandes manantiales(6), cuyos caudales medios estimados suman 10 m³/sg.

El cálculo de las entradas está dificultado por la carencia de control pluviométrico a cotas elevadas, por lo que se ha estimado más correcto utilizar los aforos para su evaluación. Por este método los recursos se han estimado en 370 Hm³/año.

Las reservas evaluadas hasta una profundidad de 100 m. por debajo de la cota de manantiales y para una porosidad eficaz del 1 por ciento, son de 400 Hm³.

La zona en cuestión, en el tramo medio del río Cervera, presenta dos peculiaridades: una, la existencia de una fuerte fracturación en las calizas de la Formación "Picos de Europa" que favorece la percolación del agua a través de sus fisuras, y otra, la presencia de un aluvial poco permeable que tapiza parcialmente dicha parte media del valle por donde discurre el río.

No se tiene conocimiento de ningún dato de aforos en este arroyo, por lo que resulta difícil "a priori" determinar las pérdidas en el mismo cauce. Comunicaciones orales de los habitantes de esta comarca apuntan a que en determinados lugares del cauce el agua desaparece parcialmente para resurgir en zonas más bajas.

Como casi todos los rios, experimenta crecidas importantes en épocas de lluvia, principalmente en primavera, cuando las aguas del deshielo engrosan torrentes y arroyos violentamente. Se suma a esta circunstancia la existencia de una amplia cuenca de recepción desarrollada aguas arriba en cumbres próximas a los 1200 m.

Se puede decir que el rio Cervera, en la totalidad de su recorrido no experimenta grandes cambios cuantitativos de caudal, salvo los estacionales mencionados, pudiendose deber este régimen casi permanente a la existencia de un equilibrio entre el flujo superficial y un flujo subterráneo a través de las calizas fracturadas, impidiendose así la pérdida total del caudal.

4. ENSAYOS DE PERDIDA DE AGUA CON CARGA CONSTANTE

4.1. Descripción de algunos parámetros hidrogeológicos

El ensayo utilizado se ha aplicado, por sus características, al terreno aluvial, pues hubiese sido imposible realizarlo en las calizas carboníferas fracturadas.

Antes de detallar dicho ensayo conviene definir algunos parámetros hidrogeológicos que se utilizarán para elaborar conclusiones:

* La permeabilidad (K), es el flujo de agua que atraviesa una sección unitaria de acuífero, bajo la influencia de un gradiente unitario, a temperatura de campo.

$$K = \frac{c d^2 \gamma}{\mu} , \text{ donde}$$

c = constante adimensional

d² = factor que depende de la superficie intergranular

γ = peso específico del líquido

μ = viscosidad del líquido a temperatura t°

El término c d² = k, se conoce como permeabilidad específica o intrínseca, y depende únicamente de las características del terreno (K = LT⁻¹).

* La transmisividad (T), es el volumen de agua que atraviesa una banda de acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga de un metro. Es representativa de la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua. Partiendo de la definición, sus dimensiones son las siguientes:

$$T = (L^3/T)/L = L^2 T^{-1} \quad \begin{array}{l} T = \text{dimens. tiempo} \\ L = \text{ " longitud} \end{array}$$

Lo más común es que la transmisividad se mida en m²/día, m²/hora o m²/sg. Sin embargo, la unidad que da cifras más manejables es m²/día, por lo que se aconseja utilizarla en todos los ensayos.

A efectos de irse familiarizando con esta unidad, se dan los valores de la tabla 1.

Tabla 1
VALORES DE LA TRANSMISIVIDAD SEGUN AUTORES

| T(m ² /día) | Calificación estimativa | Posibilidad del acuífero |
|------------------------|----------------------------|--------------------------|
| T < 10 | Muy Baja | Menos de 1 l/s |
| 10 < T < 100 | Baja | Entre 1 y 10 l/s |
| 100 < T < 500 | Media a alta | Entre 10 y 50 l/s |
| 500 < T < 1000 | Alta | Entre 50 y 100 l/s |
| T > 1000 | Muy alta | Superior a 100 l/s |

La permeabilidad K se obtiene como cociente entre la transmisividad T y el espesor del acuffero b.

$$K = T/b$$

Sus dimensiones, por tanto, serán:

$$K = T/b = (L^2/T)/L = L/T \quad (\text{en m}^2/\text{día})$$

La permeabilidad es una medida caracterfstica de la textura del acuffero; pero no representa como la transmisividad las posibilidades de ceder agua. Un acuffero muy permeable, pero de poco espesor, puede ser poco transmisivo y, como consecuencia puede ofrecer mucho caudal.

Una calificación cualitativa de los valores de la permeabilidad puede verse en la tabla 2.

Tabla 2

VALORES DE LA PERMEABILIDAD
(Según autores)

| K(m/día) | Calificación estimativa |
|-------------------|----------------------------|
| $K < 10^{-2}$ | Muy Baja |
| $10^{-2} < K < 1$ | Baja |
| $1 < K < 10$ | Media |
| $10 < K < 100$ | Alta |
| $K > 100$ | Muy Alta |

* Por último, el coeficiente de almacenamiento (S) puede definirse como la cantidad de agua que cede un prisma de acuífero de base cuadrada unitaria cuando se le deprime la unidad. Consecuentemente, no tiene dimensiones. En el caso de que el acuífero trabaje como libre, el coeficiente de almacenamiento representa el volumen de agua que puede ceder un volumen unitario de acuífero; se puede representar en tanto por ciento y coincide con la porosidad eficaz.

Los valores más significativos de coeficientes de almacenamiento, a efectos prácticos y según datos obtenidos de más de 500 ensayos de bombeo realizados por el Instituto Geológico y Minero de España, se resumen en la tabla 3.

Tabla 3
VALORES DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO
(Según autores)

| Tipo de material permeable | Forma del funcionamiento del acuífero | Valores de S (medio) |
|--|---------------------------------------|---|
| Kárstico (caliza y dolomía) | libre | 2×10^{-2} |
| | Semiconfinado | 5×10^{-4} |
| | Confinado | 5×10^{-5} |
| Poroso intergranular (Gravas y arenas) | Libre | $5 \times 10^{-2} - 15 \times 10^{-2}$ |
| | Semiconfinado | 10^{-3} |
| | Confinado | 10^{-4} |
| Kársticos y porosos (Calcarenitas marinas) | Libre | $15 \times 10^{-2} - 18 \times 10^{-2}$ |

Para el caso de la permeabilidad en acuíferos detríticos existe la posibilidad de tantearla con las muestras de los terrenos, comparando sus curvas granulométricas con otras estandarizadas en los ábacos debidos a Bredding (consúltese bibliografía). Sin embargo, la experiencia es que los valores que se obtienen no son representativos de la realidad práctica, seguramente debido al grado de compactación que existe en el acuífero y a las matrices arcillosas que a veces, incluso en muy pequeña proporción, llevan las arenas y gravas, lo que les hace bajar sensiblemente su permeabilidad real.

4.2. Descripción del ensayo

El ensayo llevado a cabo consiste en la colocación de tres tubos (ademes) de PVC de longitudes y diámetro definido (50, 100 y 150 cm y 50 mm respectivamente) en posición vertical, introducidos en el terreno a ensayar unos 5-10 cm. Previamente, el lugar de ensayo debe limpiarse de vegetación o maleza y saturarse con el agua necesaria sin producir salpicaduras, remover o embarrar.

Una vez colocados los tres tubos en posición vertical y separados entre ellos algunos cms, se señalarán en su parte interior y superior (boquilla) con una línea, que será la que indicará el nivel constante.

Con un margen de separación temporal, se comenzarán a llenar los tubos hasta la línea de nivel, manteniendola siempre

constante y viendo el descenso real (en volumen de agua infiltrada) durante intervalos de tiempo definidos cada vez más espaciados (hasta 4 y 6 horas), donde se supone que se alcanza un régimen constante en las pérdidas de agua.

Los resultados obtenidos serán pérdidas (en volumen) de crecientes en el tiempo y mayores cuanto mayor sea la longitud de los tubos (mayor presión hidrostática). Con ellos, se elaborarán unos gráficos tiempo/volumen de pérdidas y longitud tubo/descensos corregidos (24 hs.), que ayudarán a conocer la cantidad de agua perdida en función de la altura de la lámina de agua y de los aportes, así como de la permeabilidad y del espesor del aluvial.

4.3. Análisis de los resultados

De los gráficos elaborados, se desprende que, con recarga continua, la permeabilidad disminuye a lo largo del tiempo tendiendo hacia la estabilización. La pendiente de las curvas constituidas por tramos rectos, que corresponden a cada uno de los tubos del ensayo, representa la pérdida de agua en el terreno, siendo inversamente proporcional la pendiente a las pérdidas.

Todos los tramos iniciales de las rectas en los tres ensayos (hasta 10 minutos aproximadamente) son de baja pendiente y, por tanto, de bastante pérdida de agua. Esto se debe a que el

terreno está insaturado y absorbe gran cantidad de agua hasta llegar al grado de saturación que corresponda a composición, granulométrica y porosidad. De ahí, que a partir del minuto 10, las pendientes aumenten notablemente hasta nuevas inflexiones que se producen aproximadamente a las dos horas, donde otra vez se acusa una nueva elevación en dichas pendientes.

El resultado final es un aumento general de las pendientes en los tres ensayos, es decir, una disminución en la infiltración de agua en el terreno. Si se continuara el ensayo tiempo indefinido, se observaría como se llega a una pérdida de agua en régimen permanente y algo menor que la correspondiente a la medida de las cuatro y seis horas, (ver gráficas 1 y 2 del Anexo IV).

Conociendo las pérdidas acumuladas en cuatro horas (final del ensayo), podemos realizar un gráfico de pérdidas acumuladas/altura de la lámina de agua (ver gráfica 3 del Anexo IV). Se observa que en dos de los tres casos las pérdidas por infiltración disminuyen con la altura. En el ensayo nº 2 ocurre lo contrario aumentando ligeramente las pérdidas con el aumento del potencial gravitatorio de la lámina de agua. Corresponde, además, a un terreno algo más permeable que la capa más superficial de suelo. Estas pérdidas no son reales, siendo bastante mayores que las que se producirían en un terreno totalmente saturado por lámina de agua, por lo que hay que introducir parámetros correctores que nos darán esas pérdidas o descensos reales.

Hablando en términos de permeabilidad, y habiendo calculado ésta en distintos métodos en las tres muestras, se ve como ésta experimenta un ligerísimo aumento en profundidad, coincidiendo con un aumento del tamaño de grano en el terreno. No obstante, no supera en ninguno de los tres casos valores superiores a la unidad (en m/día), por lo que se considera, dentro de los rangos de valores de permeabilidad, baja o muy baja según autores.

La transmisividad es igualmente muy baja, teniendo en cuenta que el espesor del aluvial, aunque no se ha podido medir directamente, no va a superar los 10 m. en su parte central. Por ello, esta sería por término medio, diez veces el valor de la permeabilidad y siempre con valores en T (en m²/día) inferiores a 10 según tabla 1.

La arcilla de los rellenos cárticos va a influir muy poco en las pérdidas totales puesto que tiene una K y una T menor que las del aluvial y actuará como "tapón" de los conductos allí donde exista.

En la gráfica 4, Anexo IV, se muestra la variación real y teórica del parámetro D (descenso corregido), extraído a partir de un método que implica todos los parámetros utilizados en el ensayo. En estas condiciones, los descensos corregidos se aproximarían bastante a los descensos reales una vez saturado completamente el terreno, previa aplicación de la fórmula:

$$D = \frac{Q}{5,5 r H}, \text{ donde}$$

D = Descenso

Q = Caudal introducido

r = Radio del tubo

H = Diferencia de altura

Si atendemos a los valores de permeabilidad calculados, vemos que estos disminuyen a partir de 1 m. de altura de lámina de agua aproximadamente, por lo que existe una ley de variación de K con la altura que hace que este valor disminuya. Hacia los 2 m. de altura, en dos de los tres ensayos (nº1 y nº2), los valores de K se sitúan entre 0,01 y 0,05 m/día. En el ensayo nº3 la disminución es más progresiva, situándose K, en ésta misma altura, en valores inferiores a 0,5 m/día, pudiéndose considerar este valor como K pésima.

Se han estimado las superficies de la lámina de agua a 2, 3 y 5 m. de altura de cerrada, considerándose estas como superficies medias de inundación a diferentes alturas.

En la superficie mínima S (2 m.) $\approx 1.625 \text{ m}^2$, y según los cálculos de D, existiría una variación en las pérdidas de agua de $12 \text{ m}^3/\text{día} - 165 \text{ m}^3/\text{día}$, compensadas, en el peor de los casos, por caudales medios del arroyo superiores a 5l/sg. Este caudal teórico de equilibrio pérdidas/aportes, se ve superado incluso en épocas de estiaje (Junio-Septiembre) a merced de lo observado durante la realización del estudio en campo.

Con alturas de cerrada mayores (3 y 5 m.) las superficies de inundación aumentan, y con ellas las pérdidas por infiltración. Se da a continuación un cuadro en el que se representan las superficies a diferentes alturas y los valores crí-

ticos del caudal de aporte, por encima de los cuales es factible el embalsamiento:

| | H (2 m.) | H (3 m.) | H (5 m.) |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| S (m ²) | 1.625 m ² | 3.250 m ² | 7.250 m ² |
| Q (crit) | 2-3 l/sg. | 3-5 l/sg. | 8-10 l/sg. |
| V (m ³) | 2.800 | 6.500 | 24.000 |

Es conveniente, por tanto, tener un conocimiento aproximado del caudal del aforo del río conociendo las puntas del caudal y la época de máximo descenso durante, al menos, un año.

Conviene considerar el estado del terreno aluvial durante la realización de los ensayos, (completamente seco y árido para la captación de humedad) teniendo en cuenta que con el aumento de la saturación probablemente disminuirá la infiltración, por lo que los valores calculados para las pérdidas se verán ligeramente disminuidos hasta alcanzar un equilibrio completo aportes/pérdidas.

Igualmente, es necesario tener en cuenta que el número de ensayos, el terreno heterogéneo y la variedad de métodos para el cálculo de D, hacen imposible dar valores precisos de la infiltración por lo que, dentro de los valores dados, puede existir cierta variación. No obstante, los datos obtenidos a partir de este parámetro se han considerado siempre para las condiciones más pésimas, por lo que se está en el lado de la seguridad.

4.4. Consideraciones finales.

La determinación del descenso de la lámina de agua del azud que se pretende construir, pasa por los datos que aquí se han manipulado, obtenidos de los ensayos de campo y que sirven de aclaratorio para llevar a cabo o no esa obra.

Del análisis geológico y de los resultados obtenidos en dichos ensayos se deduce que las condiciones geológicas, en principio, son desfavorables en el entorno de lo que sería el azud, puesto que como ya se ha dicho en capítulos anteriores, se trata de calizas muy fracturadas que posiblemente dejarían escapar algo de aguas a través de conductos y grietas.

El represamiento se quiere llevar a cabo en una parte del cauce de poca pendiente tapizada de depósitos aluviales y suelos vegetales bastante impermeables. Aún no conociéndose exactamente su espesor, se puede decir que estos materiales son adecuados para impedir el escape de agua a través de grietas, en este tramo, si bien puede haber pérdida parcial inapreciable que, sin datos de aforo, actualmente inexistentes, no puede calcularse.

En este tramo de río se ha abierto un nuevo cauce de trazado rectilíneo y a la derecha del antiguo cauce hasta los puentes (antiguo y nuevo de hormigón). Dicho nuevo cauce,

de hasta 7 m. de ancho y 2 de profundidad deja al descubierto el aluvial insaturado por encima de la lámina de agua del arroyo.

A la altura del nivel de base bajo el aluvial, este se encuentra perfectamente saturado y las pérdidas de agua son las que corresponden a su permeabilidad y transmisividad, existiendo un equilibrio dinámico entre éstas pérdidas (ya sean a través del propio aluvial o de la roca caliza infra-yacente) y los aportes del arroyo o de manto acuífero de los relieves circundantes.

Por ello, las pérdidas que aquí se calculan serán las correspondientes a una lámina de agua que inunde aquella parte del aluvial que se encuentra insaturada, y que dependerá del diseño del azud.

Subsiste la incógnita sobre la posible infiltración masiva por oquedades cársticas bajo este recubrimiento aluvial no tenidas en cuenta por razones de escala por los ensayos y cuya detección es inabordable por razones económicas en el presente estudio (sería necesaria una costosa campaña geofísica y de sondeos).

Existen, sin embargo, razones que hagan improbable el que exista alguna incidencia en este aspecto. No existen afloramientos de caliza en el vaso, por lo que no hay posibilidad

de infiltración directa. Las posibilidades de infiltración indirecta importante a través de los aluviones, puede prácticamente descartarse por a) inexistencia de pérdidas en el arroyo en el tramo del vaso, b) el espesor del propio aluvial, con importantes fracciones limosas, que puede llegar a 8-10 m., y c) la escasa carga hidráulica inducida por el agua embalsada.

5.- CONCLUSIONES.

Considerando todos los aspectos geológicos, físicos y naturales que intervienen en el represamiento se concluye lo que sigue:

* De los análisis realizados, en la hipótesis pésima (terreno más permeable y falta de aportes de agua del arroyo), con K y T más desfavorables de las calculadas en los ensayos, un espesor medio de 5 m. y una anchura media del aluvial de 40 m. el descenso máximo de la lámina de agua sería del 0-15 cm/día, con lo que el embalse tardaría de 15 a 20 días en vaciarse, con 2,5 l/sg. de pérdidas constantes, más las producidas por evaporación de la lámina de agua que se puede considerar despreciables.

* Puesto que no se conoce desecación y el caudal medio es muy superior a esos 2,5 l/sg. críticos de pérdida, con cierta improbabilidad de pérdidas a través de conductos cársticos, y teniendo en cuenta todos los posibles fenómenos productores de pérdidas de agua naturales, no es probable que existan problemas que impidan la construcción del azud y la explotación del mismo.

Fdo.: Francisco J. Ayala Carcedo
Jefe del Area de Ingenieria
GeoAmbiental. I.T.G.E.

Fdo.: Jesús M. Rico Romero
Lcdo. en C.C. Geológicas.

B I B L I O G R A F I A

* CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.(1976): "Hidrología Subterránea"
Tomo I, 1ª Edición. Ed. Omega, S.A.. Barcelona.

* FERNANDES-RUBIO, R.(1981): "Efecto sobre las aguas subterráneas de las actividades mineras. Medidas de prevención"
En: Jornadas Sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas en España, Actas de las sesiones. Barcelona, pp. 579 a 601.

* FRY, FLAVIGNY y TAQUET(1987): "Lois de perméabilité dans les barrages en terres grossières", en IX E.C.S.M.F.E. "Les actions de l'eau souterraine en geotechnique": Ed. Balkema. Holanda.

* INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA(1984): "Calidad de aguas subterráneas. Cuenca Norte(Asturias)". Colección Informe.

* INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA(1984): "Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja 56, Carreña-Cabrales.I.G.M.E."
Madrid.

* IRYDA(1985): "Diseño de presas pequeñas" Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

- * JIMENEZ SALAS, J.A. et al.(1975): "Geotecnia y Cimientos".
Ed. Rueda. Madrid.
- * LEGGET/KARROW(1986): "Geología aplicada a la Ingeniería Civil". McGraw-Hill. Méjico.
- * MARSAL y RESENDIZ(1975): "Presas de tierra y enrocamiento"
Ed. Limusa. Méjico.
- * UNITED STATES DEPARTMENT OF INTERIOR(1966): "Diseño de presas pequeñas!" CECSA. Méjico.
- * VILLANUEVA MARTINEZ, M. e IGLESIAS LOPEZ, A.(1984): "Pozos y acuíferos. Técnica de evaluación mediante ensayos de bombeo"
I.G.M.E. Madrid.



Fotografía nº 1.- Vista general de la zona de estudio (tramo medio del Arroyo de Beges).



Fotografía nº2.- Nuevo cauce del Arroyo de Beges visto desde aguas abajo (puentes).



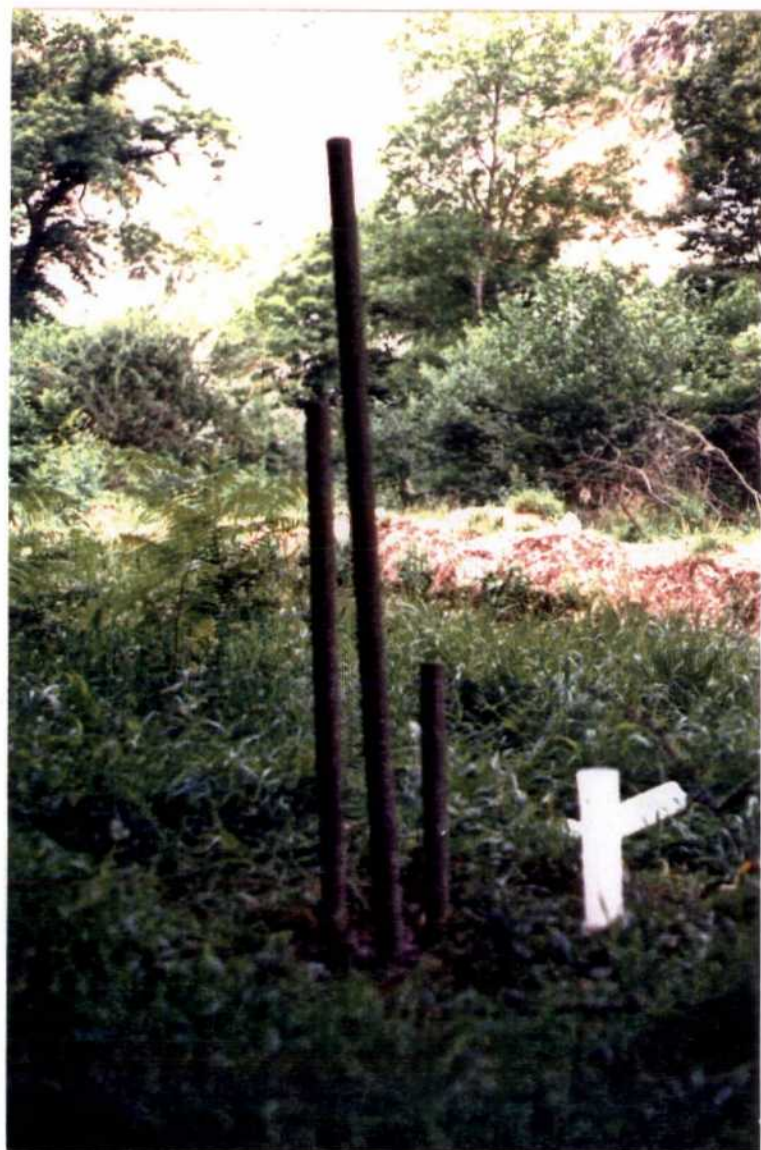
Fotografía nº3.- Nuevo cauce del Arroyo de Beges visto desde aguas arriba.



Fotografía nº4.- Perfil litológico del aluvial visto desde el interior del nuevo cauce. Observar gradación granulométrica.



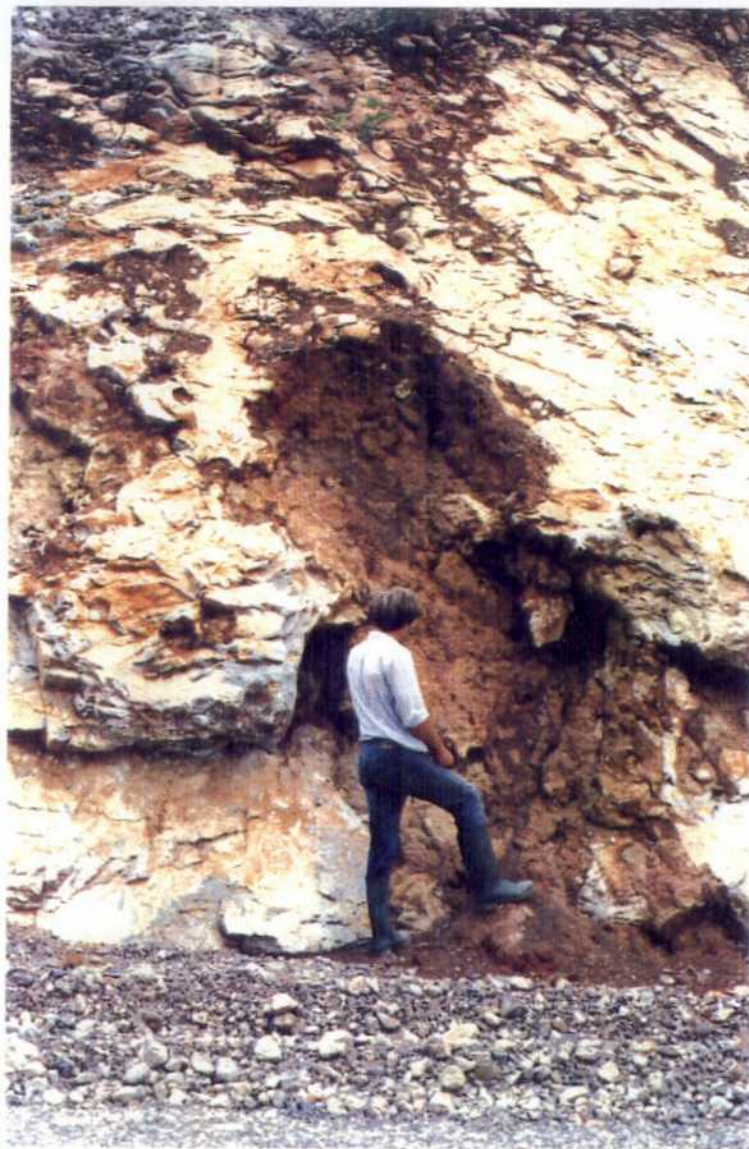
Fotografía nº5.- Puente antiguo (al fondo), en la ruptura de pendiente del arroyo y puente nuevo (delante).



Fotografía nº 6.- Ensayo de pérdida de agua
con carga constante (nº 1)



Fotografía nº 7.- Ensayo de pérdida de agua con
carga constante (nº 2)



Fotografía nº8.- Conducto cárstico de gran tamaño relleno por arcilla de descalcificación.



Fotografía nº9.- Oquedad cárstica parcialmente rellena por material de precipitación (estalactitas, etc.).



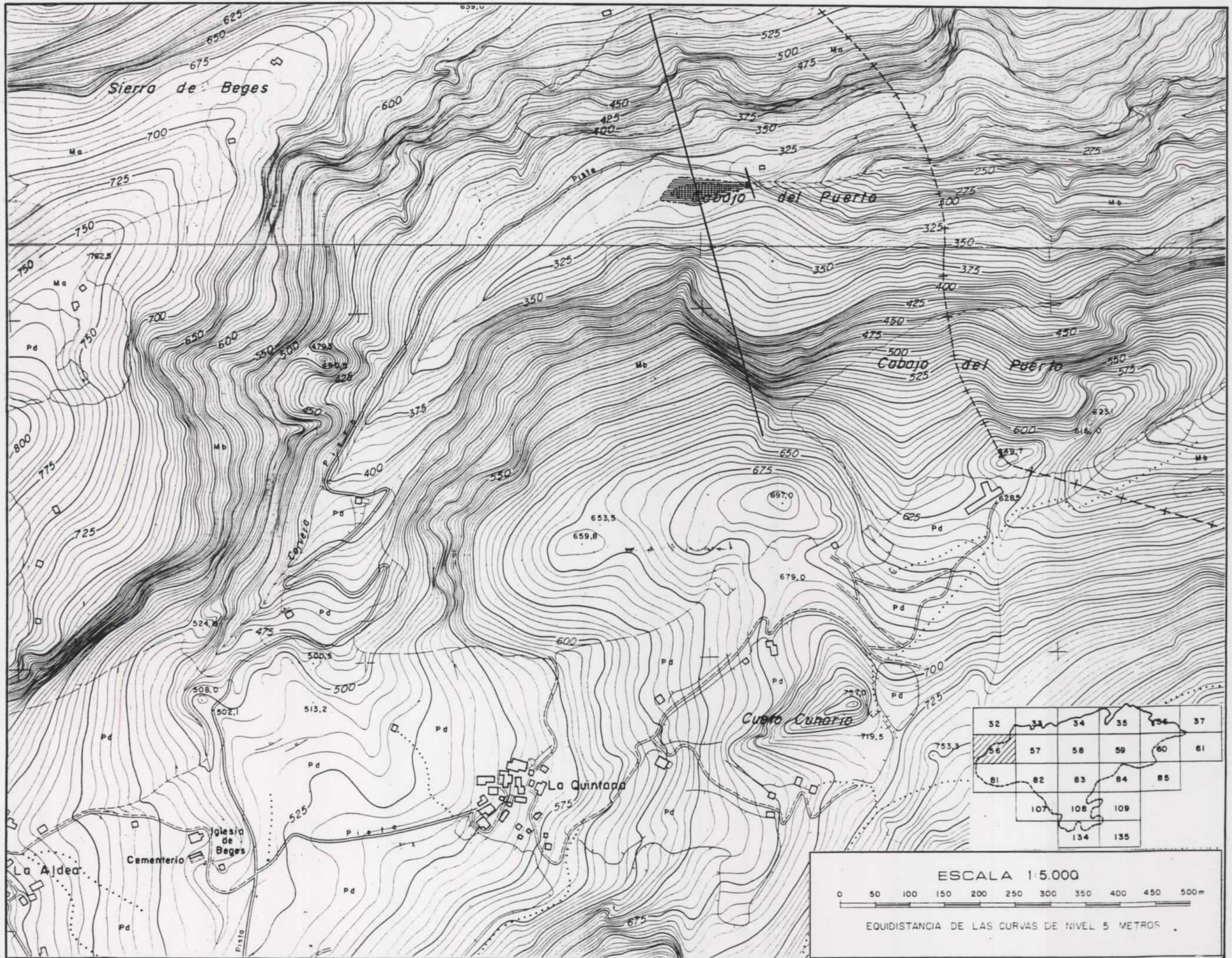
Fotografía nº 10.- Aspecto de la fracturación que afecta a las calizas de la Formación "Picos de Europa" (margen derecho).



Fotografía nº 11.- Vista general del valle desde las proximidades de la Iglesia de Beges. Observar el trazado de la nueva carretera y la desestabilización de canchales.

ANEXO I: FOTOGRAFIAS

ANEXO II: PLANOS Y PERFILES








| | | | | | |
|----|-----|-----|-----|----|----|
| 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 |
| 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 |
| 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | |
| | 107 | 108 | 109 | | |
| | | 134 | 135 | | |

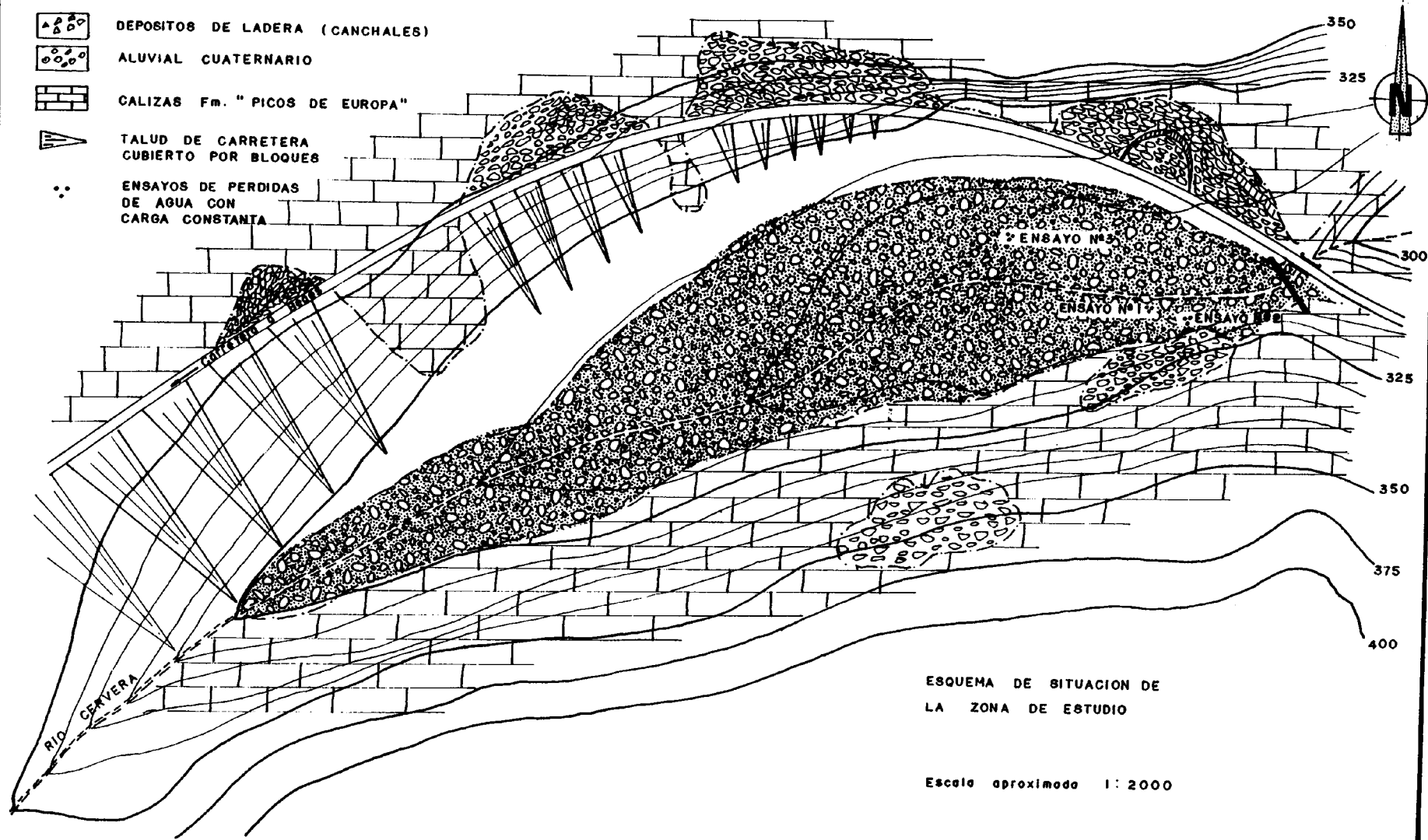
ESCALA 1:5.000

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500m

EQUIDISTANCIA DE LAS CURVAS DE NIVEL 5 METROS

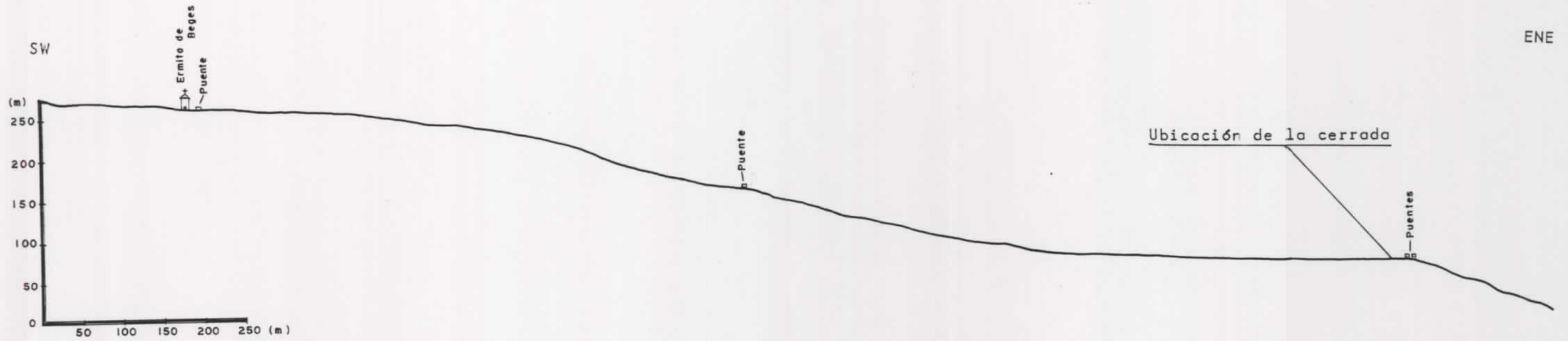
LEYENDA

-  DEPOSITOS DE LADERA (CANCHALES)
-  ALUVIAL CUATERNARIO
-  CALIZAS Fm. "PICOS DE EUROPA"
-  TALUD DE CARRETERA CUBIERTO POR BLOQUES
-  ENSAYOS DE PERDIDAS DE AGUA CON CARGA CONSTANTE



ESQUEMA DE SITUACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Escala aproximada 1:2000



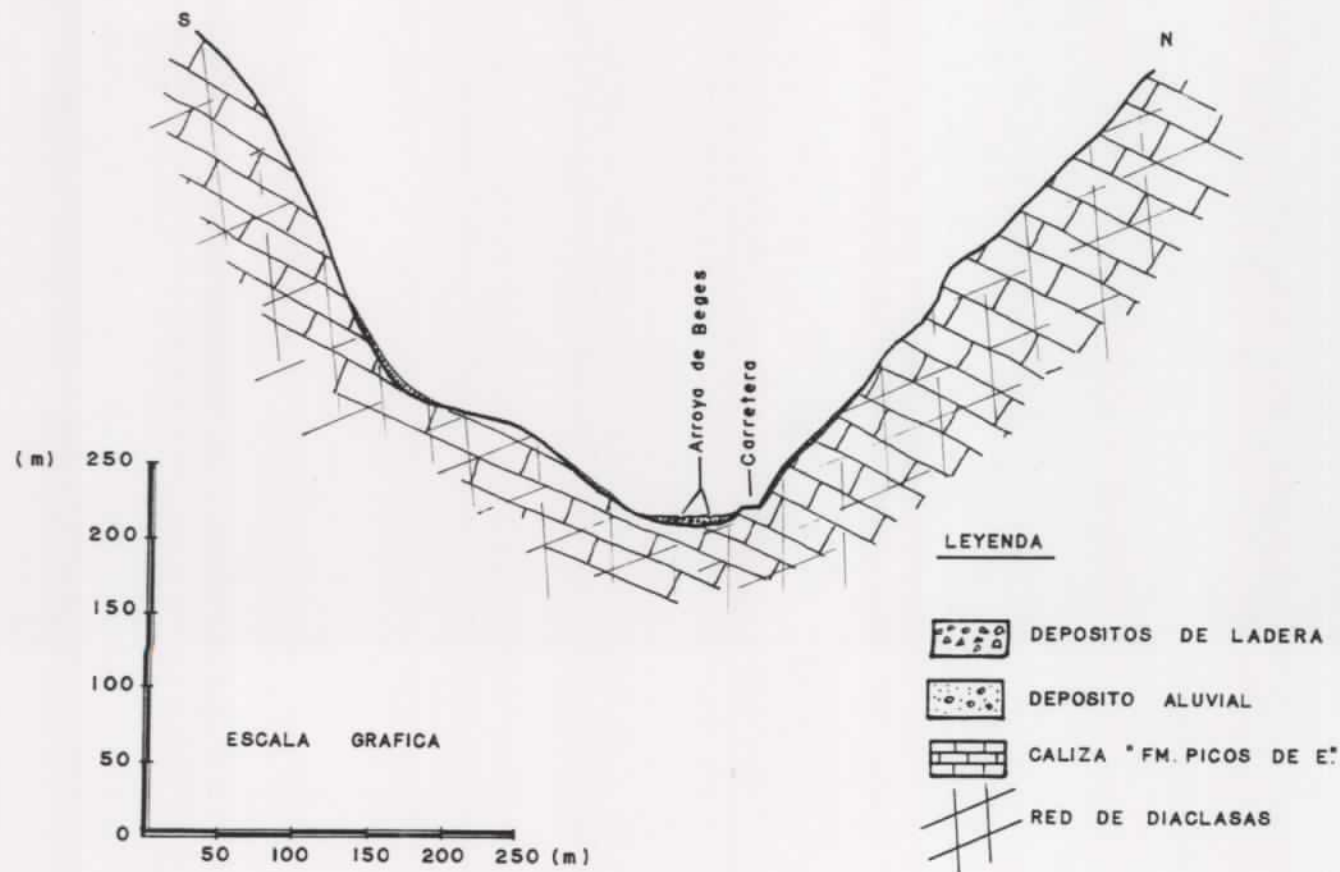
Perfil longitudinal a lo largo del río

FICHA TECNICA

- * Pendiente general del cauce : 8°
- * " máxima " " : 19°
- * " mínima " " : 3°

- * Cota aproximada del cierre : 310 m.
- * Superficie de embalse a 2 m.: 1625 m²
- * Superficie de embalse a 3 m.: 3.250 m²
- * " " " a 5 m.: 7.250 m²

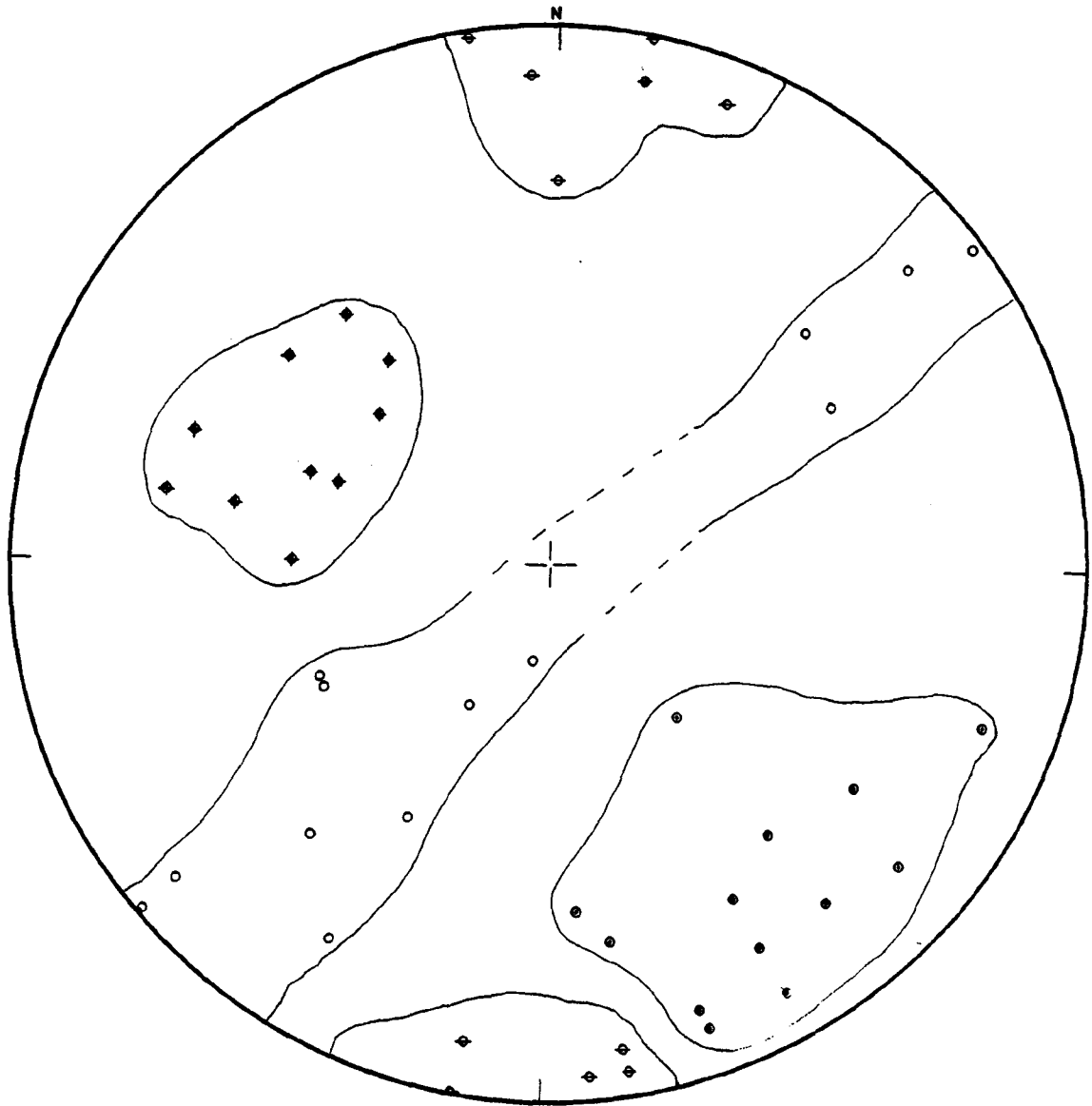
- * Descensos medios en el aluvial (m/día)



Perfil transversal al cauce del río

| | L ₅₀ | L ₁₀₀ | L ₁₅₀ |
|-----|-----------------------|----------------------|----------------------|
| E-1 | 0,75x10 ⁻² | 1,7x10 ⁻² | 1,8x10 ⁻² |
| E-2 | 7,9x10 ⁻² | 9,5x10 ⁻² | 9,9x10 ⁻² |
| E-3 | 3,2x10 ⁻² | 2,8x10 ⁻² | 1,7x10 ⁻² |

Representación estereográfica de las redes
de diaclasas más importantes, tomadas en dos
estaciones de medida.



- POLOS DE ESTRATIFICACION P
- ◆ FAMILIA DE DIACLASAS F₁
- ◆ FAMILIA DE DIACLASAS F₂
- FAMILIA DE DIACLASAS F₃

III.- ANALISIS DE LABORATORIO

I.T.G.E.

Plano nº

BEGES (Cantabria)

Verificado

Dibujado

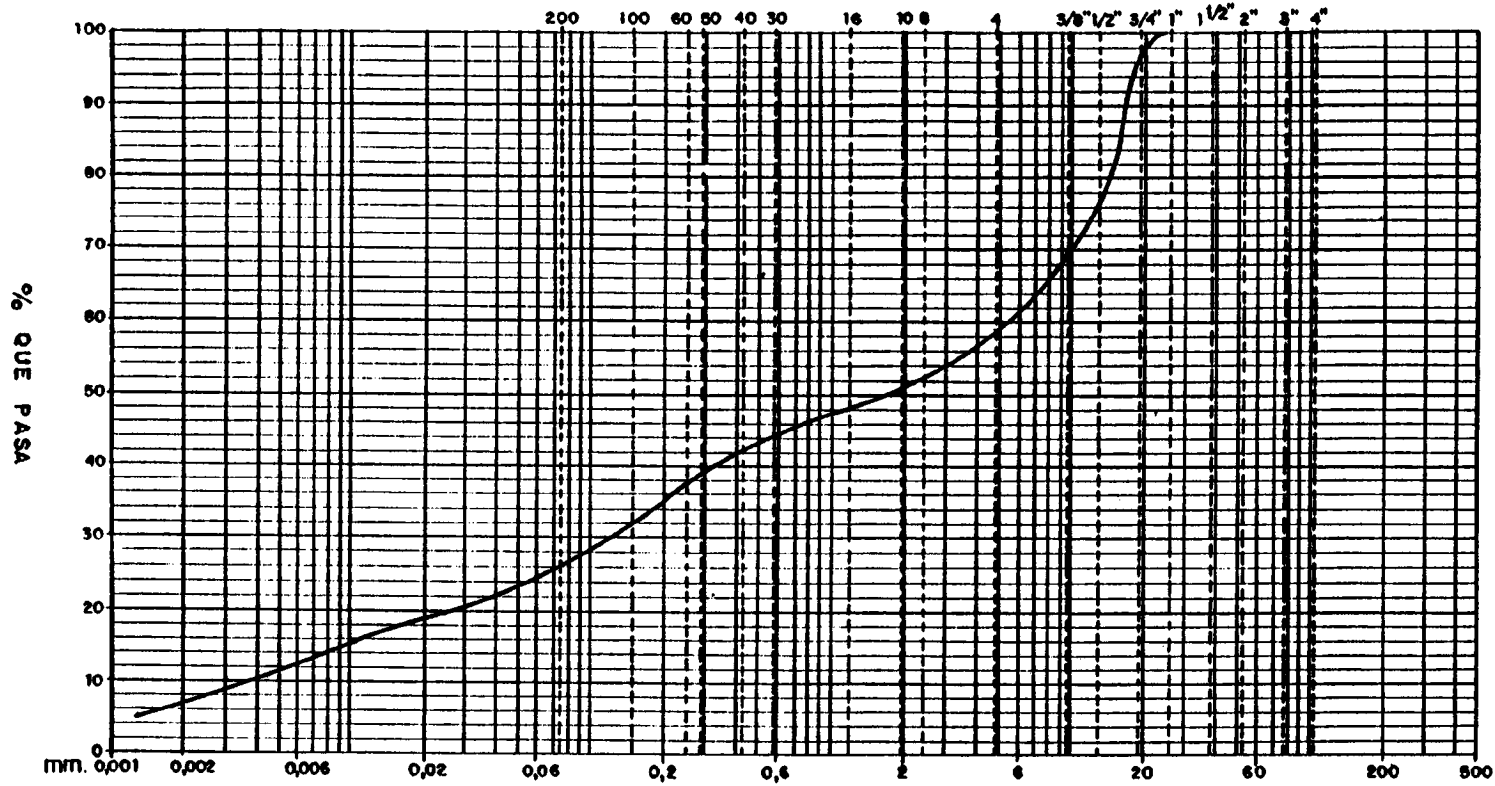
CUADRO GENERAL DE ENSAYOS DE LABORATORIO

| SONDEC Nº | (*) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|------|------|------|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| MUESTRA Nº | 4 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD m | | | | | (*) Relleno cárstico | | | | | | | | | | | | | | | |
| U.S.C.S. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| W (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ρ (t/m ³) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ρ_d (t/m ³) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ρ_s (t/m ³) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| W _L (%) | 42.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| W _p (%) | 30.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I _p (%) | 11.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| peso T-200 (%) | 68.6 | 26.5 | 22.7 | 14.8 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| retenido T-4 (%) | 0 | 41.2 | 41.4 | 23.9 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C _c | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| o _c (kg/cm ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c (kg/cm ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| v (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P _r (kg/cm ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Er (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROCTOR | M. op. (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | f (máx. (t/m ³)) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INDICE CBR | a (f máx. op.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | b (195% máx) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M. or. (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SC ₃ (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CO ₃ CO (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R (cm/seg) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

NO PLASTICO

O G. / L / 04 / D / 500 / Sept 1975 / A - 4

TAMICES SERIE A.S.T.M.

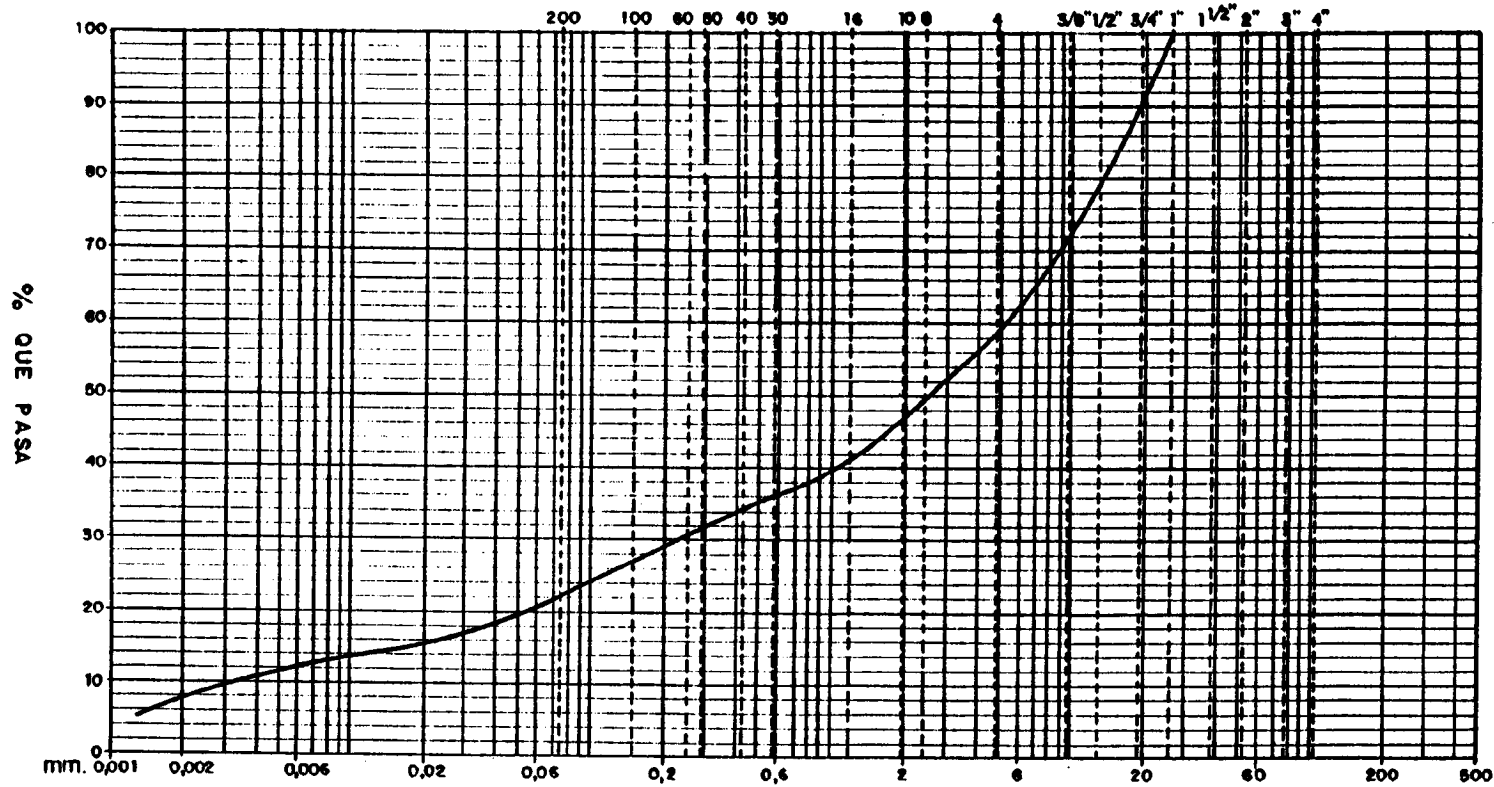


| | | | |
|----------------|-------|-------|-------|
| ARCILLA Y LIMO | ARENA | GRAVA | BOLOS |
|----------------|-------|-------|-------|

| MUESTRA NUMERO | SONDEO N.º O CATA N.º | PROFUNDIDAD O COTA | U.S.C.S. |
|----------------|-----------------------|--------------------|----------|
| 1 | 1 | 10 cm | |

| | | | | | |
|----------|-------------------|----------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|
| I.T.G.E. | BEGES (Cantabria) | GRANULOMETRIAS | Verticalado Dibujado | Escala: SEMILOGARITMICA | Plano n.º |
|----------|-------------------|----------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|

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. |
|----------------|-----------------------|--------------------|----------|
| 2 | 2 | 40 cm | |

GRANULOMETRIAS

Verificado
Dibujado

SEMILOGARITMICA

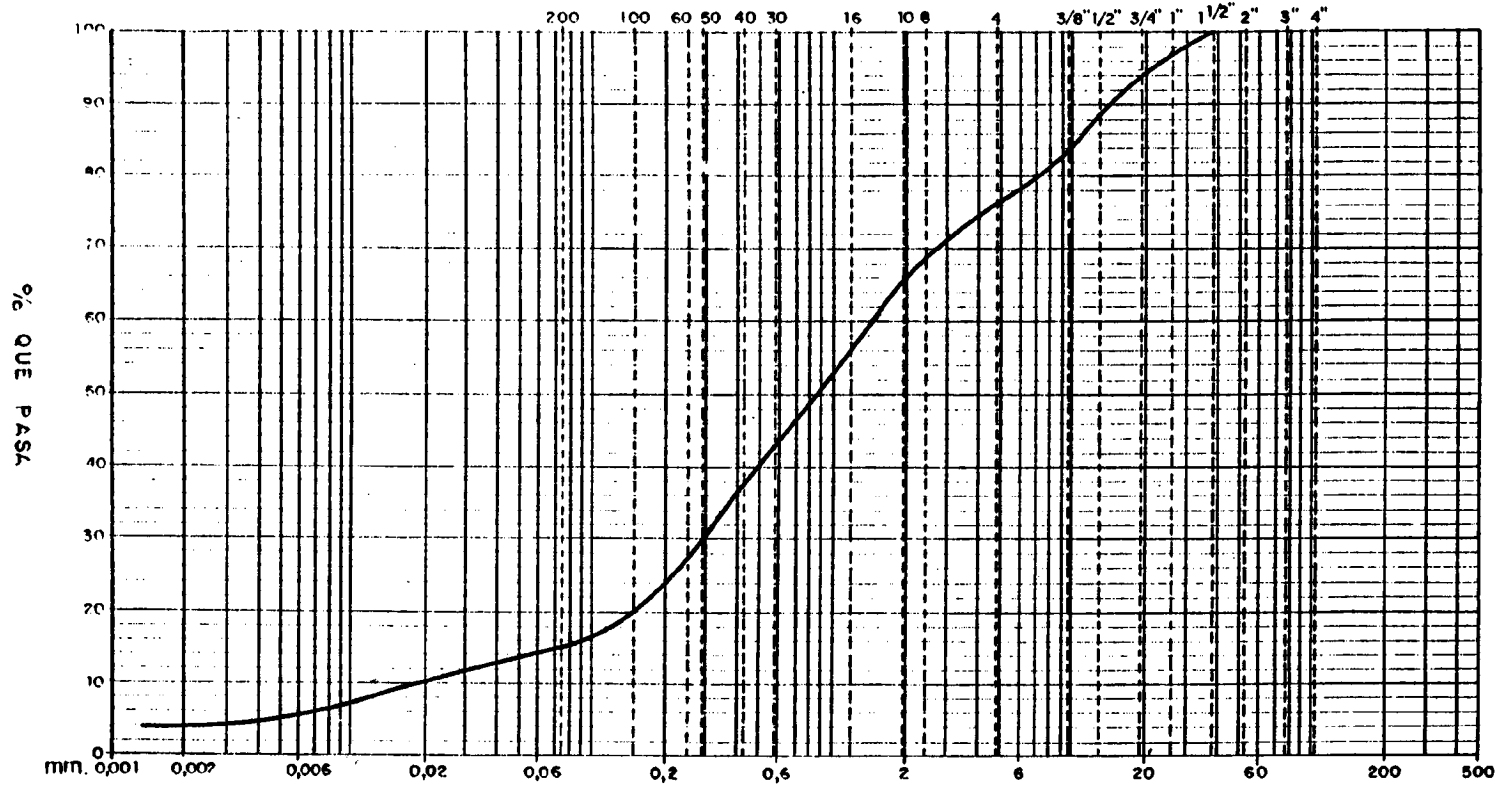
BEGES (Contabrio)

I.T.G.E.

Plano
n.º

Escala:

TAMICES SERIE A.S.T.M.



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

| MUESTRA NUMERO | SONDEO N° O CATA N° | PROFUNDIDAD O COTA | U.S.C.S. |
|----------------|------------------------|-----------------------|----------|
| 3 | 3 | 15 cm | |

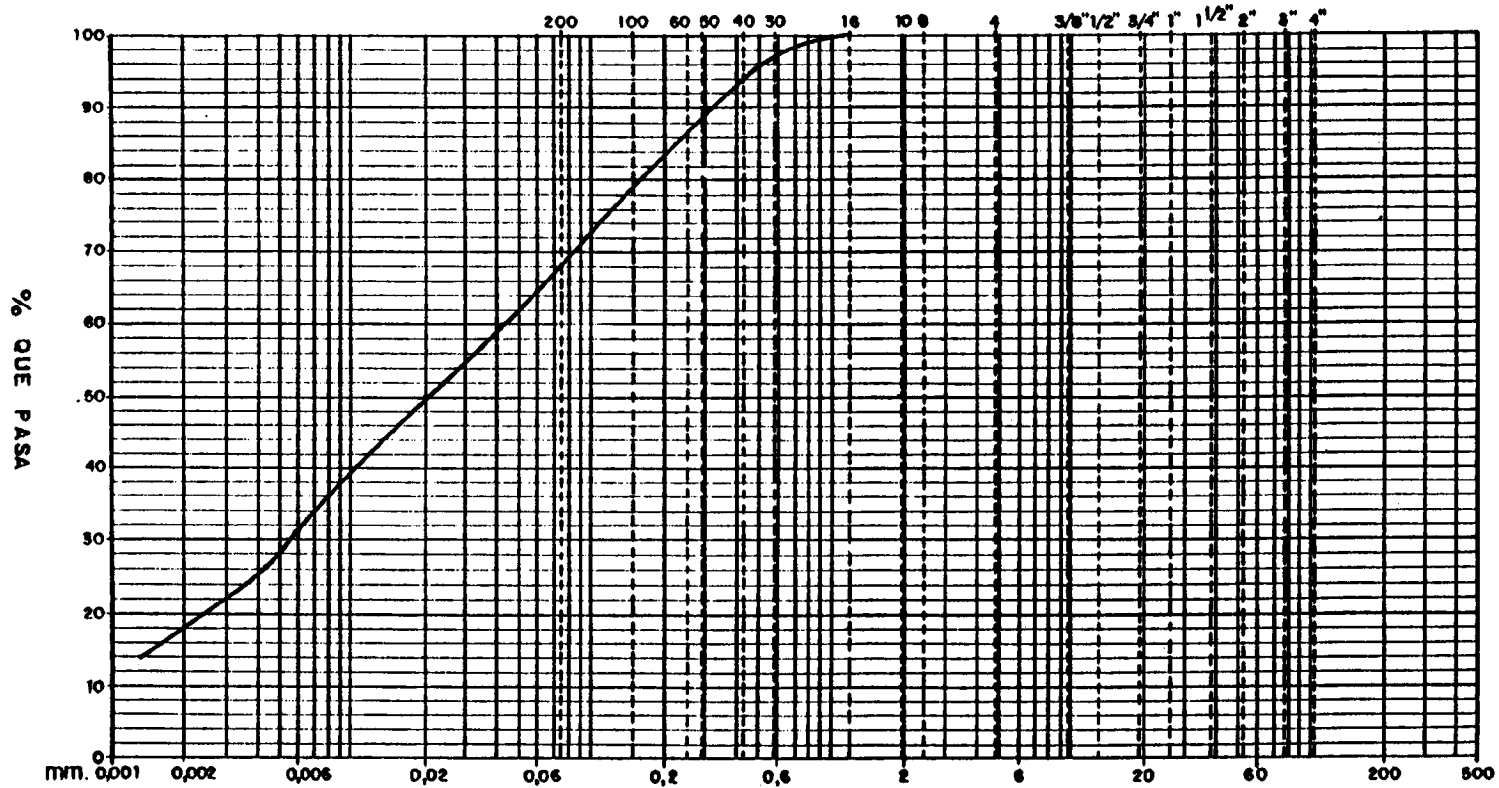
GRANULOMETRIAS

BEGES (Cantabria)

I.T.G.E.

| | |
|-----------------|--|
| Plano nº | |
| Escala : | |
| SEMILOGARITMICA | |
| 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. | |
|----------------|-----------------------|--------------------|----------|---|
| 4 | | | | Arcilla de descalcificación de un relleno cárstico. |

GRANULOMETRIAS

Verificado
Dibujado

SEMILOGARITMICA

REGES (Contabrida)

I.T.G.E.

Plano
#2

Escala :

IV.- ANALISIS HIDROGEOLOGICO

(Ensayos de campo)

ENSAYO

Nº 1

Ø TUBO : 50 mm

t duracion : 6 h.

MUESTRA nº 1

COMPOSICION (%)
 Arcilla + Limo 24
 Arena 28
 Grava 48

| Longitud tubos (cm) | 50 | | 100 | | 150 | |
|------------------------|---------------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | PERDIDAS (ml) | | | | | |
| | PARCIAL | TOTAL | PARCIAL | TOTAL | PARCIAL | TOTAL |
| 8 segundos | - | - | - | - | - | - |
| 15 segundos | - | - | - | - | - | - |
| 30 segundos | - | - | - | - | - | - |
| 1 minuto | - | - | - | - | 2.0 | 2.0 |
| 2 minutos | - | - | 2.0 | 2.0 | 4.0 | 6.0 |
| 5 " | - | - | 4.0 | 6.0 | 7.8 | 13.8 |
| 10 " | 1.5 | 1.5 | 13.7 | 19.7 | 31.4 | 45.2 |
| 30 " | 3.0 | 4.5 | 29.4 | 49.1 | 43.2 | 88.4 |
| 1 hora | 4.9 | 9.4 | 39.2 | 88.2 | 60.8 | 149.2 |
| 2 horas | 15.7 | 25.1 | 127.6 | 215.9 | 137.4 | 286.6 |
| 3 " | 15.7 | 40.8 | 107.9 | 323.8 | 137.4 | 424.0 |
| 4 " | 11.7 | 32.5 | 82.4 | 406.2 | 108.0 | 532.0 |
| 6 " | 43.3 | 95.7 | 196.3 | 602.5 | 294.5 | 826.5 |

Rango de Variación de D: $0,7 \times 10^{-2}$ - $2,0 \times 10^{-2}$ m/día

ENSAYO

Nº 2

Ø TUBO : 50 mm

t duracion : 4 h.

MUESTRA nº 2

COMPOSICION (%)
 Arcilla + Limo 20
 Arena 28
 Grava 52

| Longitud tubos (cm) | 50 | | 100 | | 150 | |
|------------------------|---------------|-------|---------|--------|---------|--------|
| | PERDIDAS (ml) | | | | | |
| | PARCIAL | TOTAL | PARCIAL | TOTAL | PARCIAL | TOTAL |
| 8 segundos | - | - | 1.95 | 1.95 | 3.92 | 3.92 |
| 15 segundos | - | - | 3.92 | 5.87 | 5.88 | 9.8 |
| 30 segundos | 0.97 | 0.97 | 3.92 | 9.79 | - | - |
| 1 minuto | 0.97 | 1.94 | 19.63 | 29.42 | 38.8 | 48.6 |
| 2 minutos | 0.97 | 2.9 | 59.0 | 88.32 | 52.77 | 101.5 |
| 5 " | 4.93 | 7.9 | 49.1 | 137.4 | 254.9 | 356.3 |
| 10 " | 9.86 | 11.7 | 78.5 | 215.9 | 277.8 | 634.1 |
| 30 " | 58.9 | 76.6 | 156.9 | 372.87 | 364.6 | 998.7 |
| 1 hora | 58.9 | 135.5 | 196.0 | 568.8 | 729.2 | 1727.8 |
| 2 horas | 147.2 | 282.7 | 465.3 | 1034.1 | 1614.6 | 3342.1 |
| 3 " | - | - | - | - | - | - |
| 4 " | 475.7 | 758.4 | 972.2 | 2006.3 | 1736.1 | 5078.5 |
| 6 " | | | | | | |

Rango de Variación de D: $7,0 \times 10^{-2}$ - $10,0 \times 10^{-2}$ m/día

ENSAYO

Nº 3

Ø TUBO : 50 mm

t duracion : 4 h.

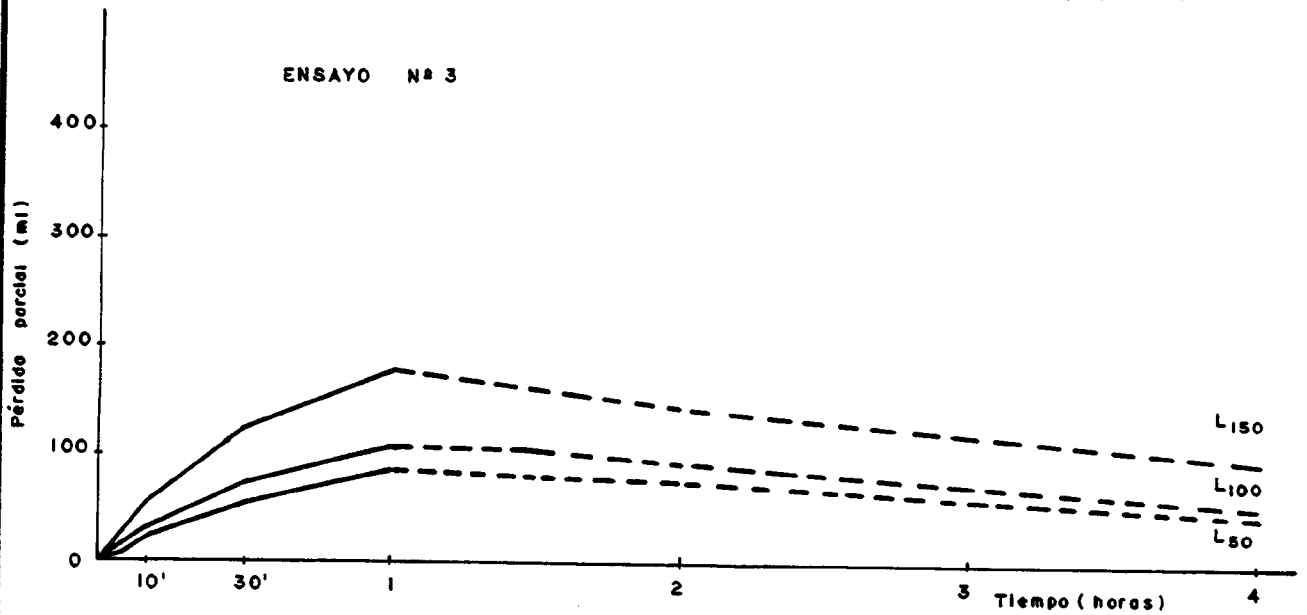
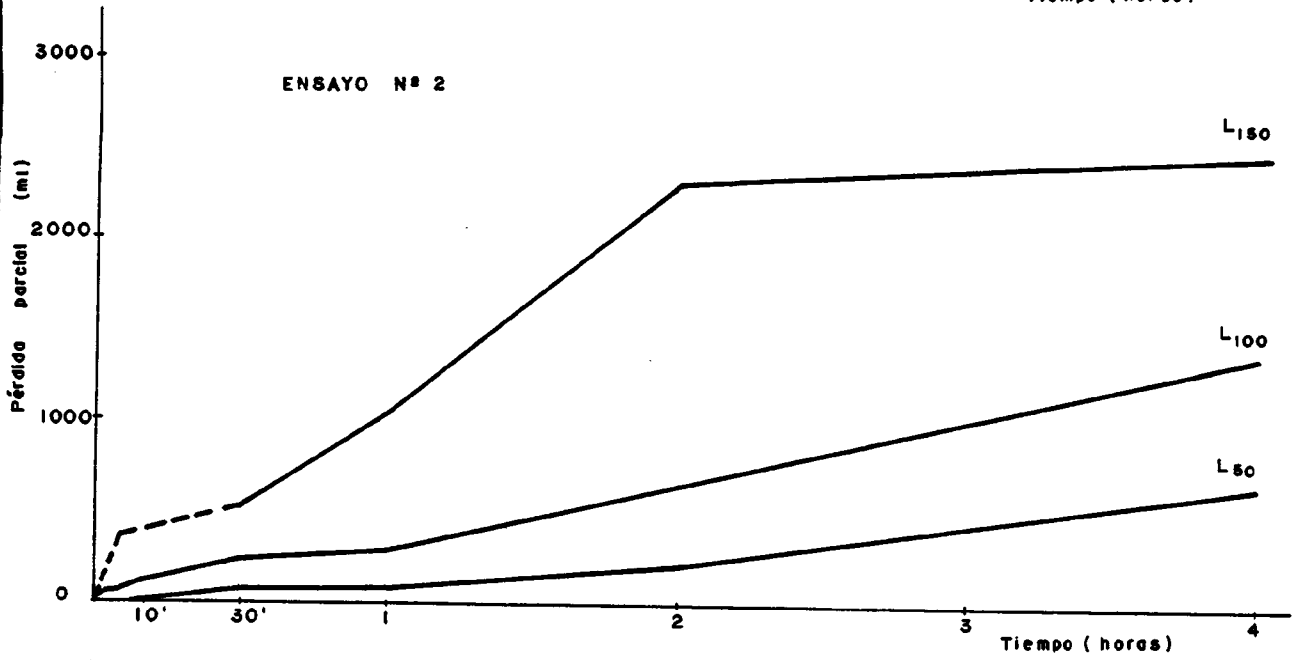
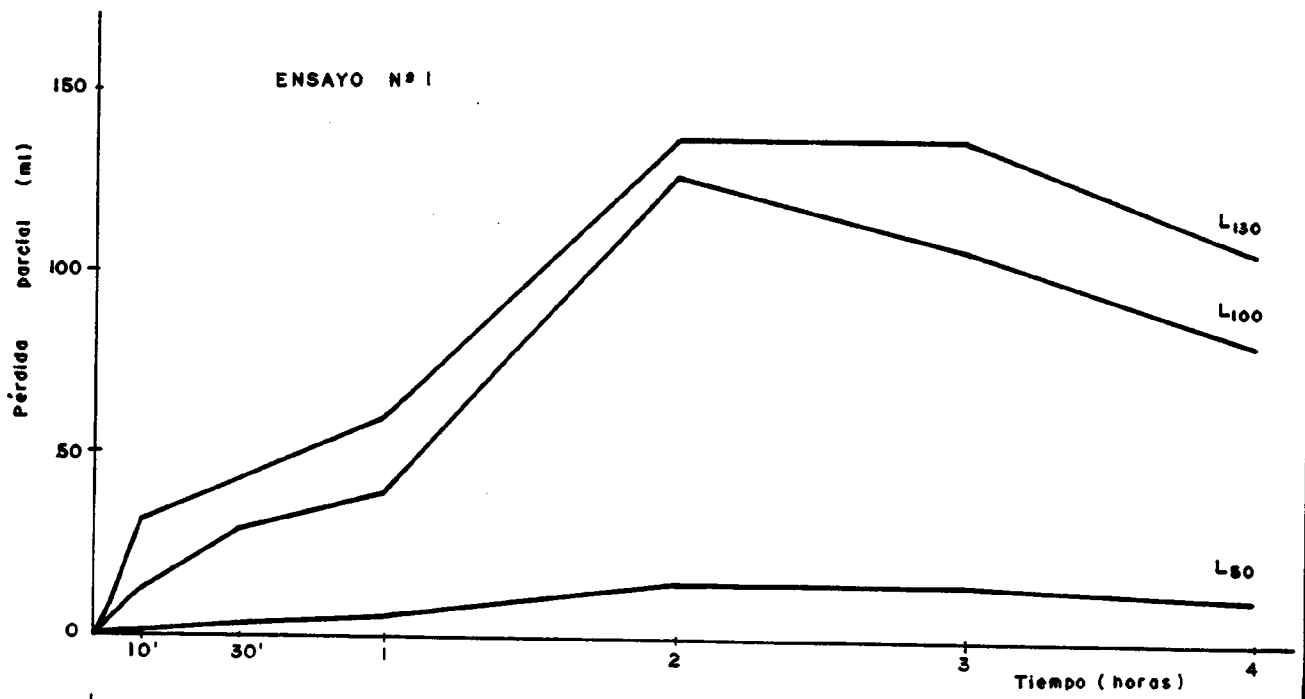
MUESTRA nº 3

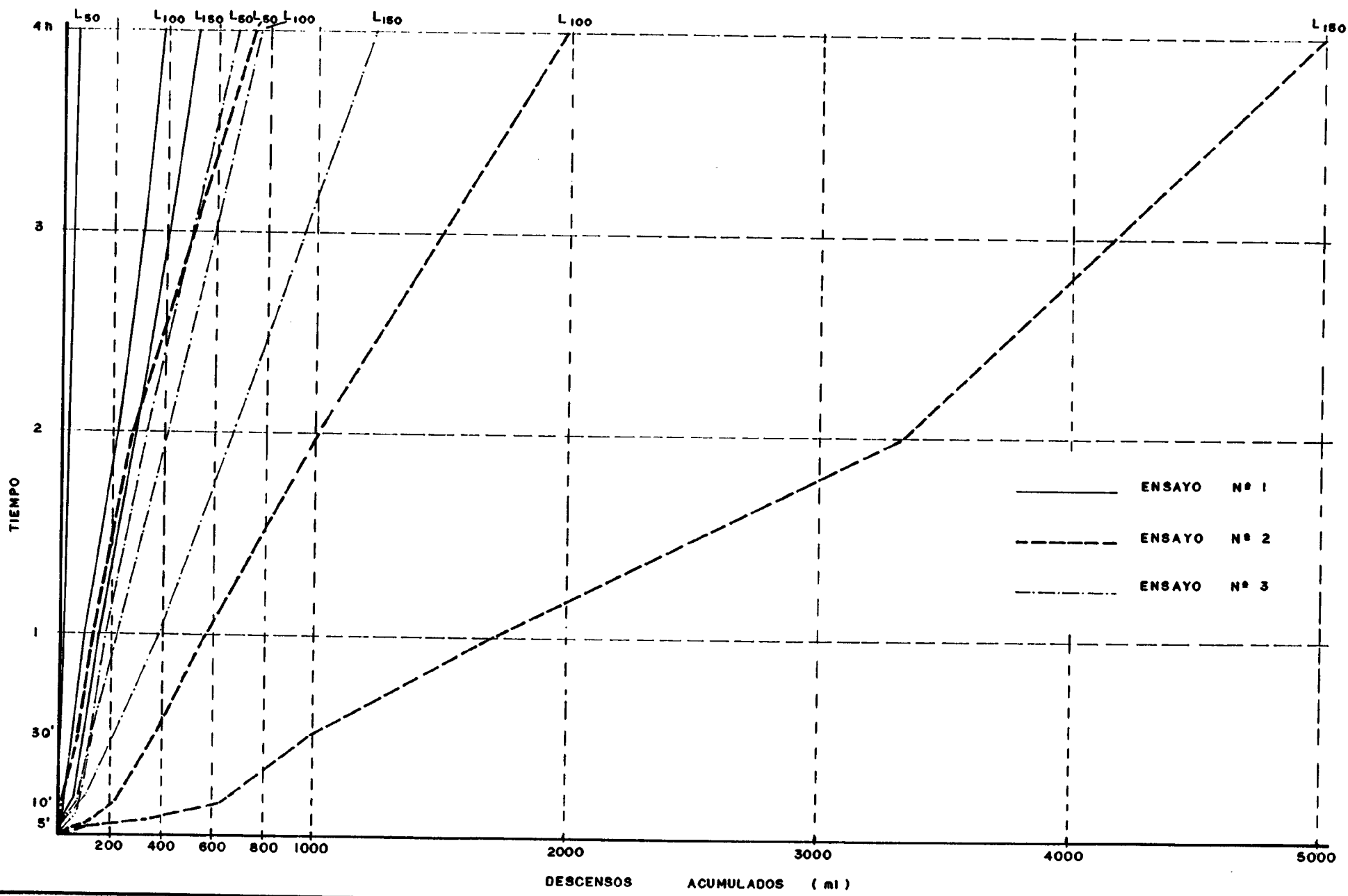
COMPOSICION (%)
 Arcilla + Limo 14
 Arena 52
 Grava 34

| Longitud tubos (cm) Tiempos | 50 | | 100 | | 150 | |
|---------------------------------------|---------------|-------|---------|-------|---------|--------|
| | PERDIDAS (ml) | | | | | |
| | PARCIAL | TOTAL | PARCIAL | TOTAL | PARCIAL | TOTAL |
| 8 segundos | - | - | - | - | - | - |
| 15 segundos | - | - | - | - | - | - |
| 30 segundos | - | - | - | - | - | - |
| 1 minuto | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 2 minutos | 2.0 | 4.0 | 3.9 | 5.9 | 8.0 | 10.0 |
| 5 " | 5.9 | 9.9 | 7.8 | 13.7 | 19.6 | 29.6 |
| 10 " | 31.4 | 41.3 | 21.6 | 35.3 | 57.0 | 86.6 |
| 30 " | 72.7 | 114.0 | 55.0 | 90.3 | 123.7 | 210.3 |
| 1 hora | 106.0 | 220.0 | 86.4 | 176.7 | 176.7 | 387.0 |
| 2 horas | 104.0 | 324.0 | 82.5 | 259.2 | 159.0 | 546.0 |
| 3 " | 94.0 | 418.0 | 74.6 | 333.7 | 145.0 | 691.0 |
| 4 " | 330.0 | 748.0 | - | - | 525.0 | 1216.0 |
| 6 " | | | | | | |

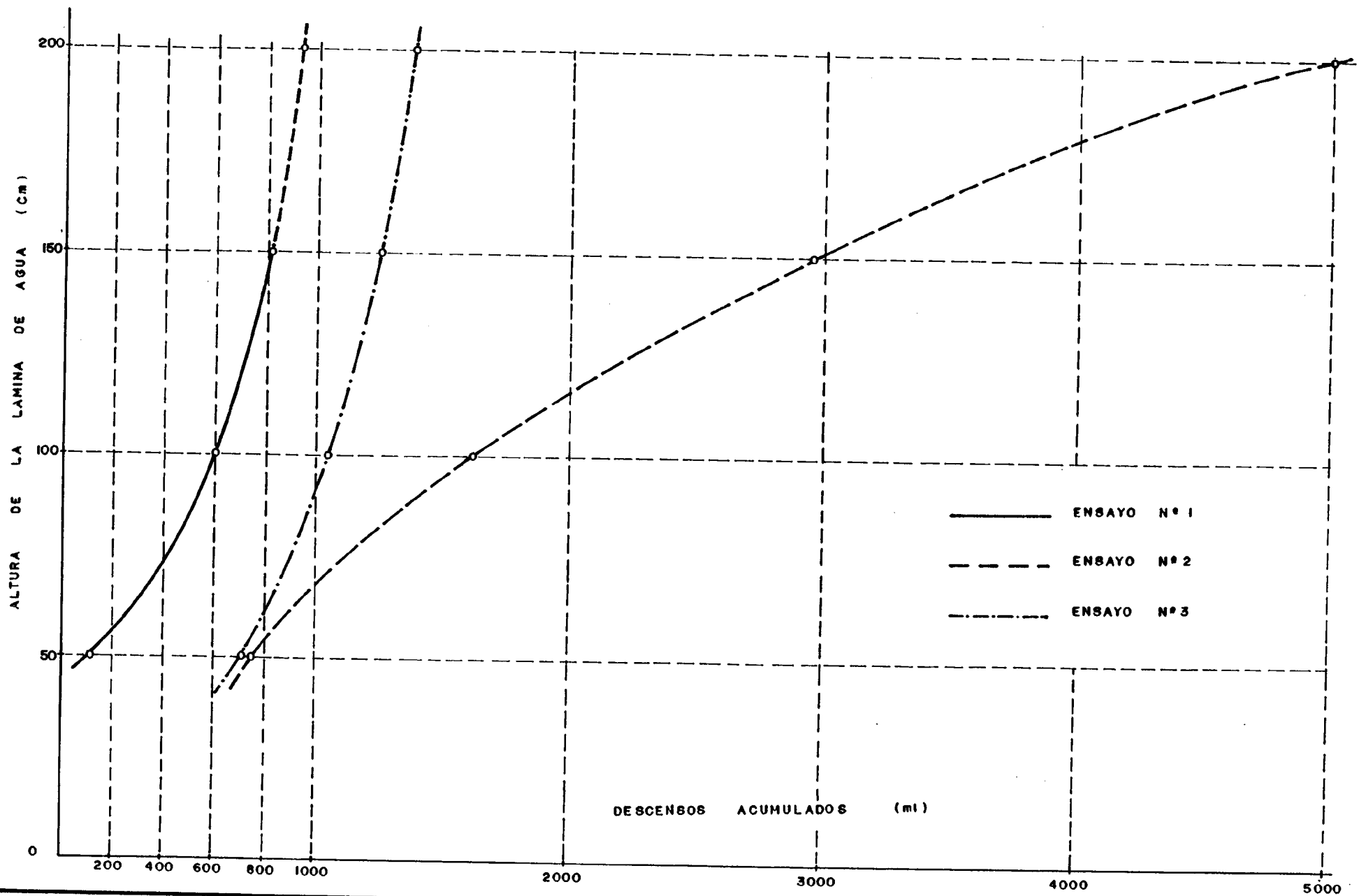
Rango de Variación de D: $3,0 \times 10^{-2}$ - $2,0 \times 10^{-2}$ m/día

GRAFICA I. Descensos parciales / tiempo





GRAFICA 2. Descensos totales / tiempo



GRAFICA 3. DESCENBOS TOTALES (4h) / ALTURA LAMINA AGUA

GRAFICA 4. CURVAS DE DESCENSOS CORREGIDOS / ALTURA LAMINA AGUA

