

TRES EJEMPLOS PARA MEDITAR SOBRE LA GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA: YESOS SECUNDARIOS, ACARREOS EN EL RIO MANZANARES, DEPRESION DE ZAFARRAYA

*En homenaje a D. Clemente Sáenz García,
Pionero, Maestro y Guía de los Ingenieros
Geólogos españoles*

Por ANGEL GARCIA YAGÜE

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

La formación de los yesos secundarios, el potente espesor de materiales cuaternarios localizados en el río Manzanares y la complicación geológica de la depresión de Zafarraya, dan pie al autor del artículo para exponer los problemas prácticos que existen para formar ingenieros geólogos y realizar las dificultades en el ejercicio profesional de esta técnica reciente.

I. Geología aplicada a la ingeniería. El ingeniero geólogo.

Los estudios geológicos adquieren día a día mayor importancia en las grandes obras de ingeniería debido a tres hechos:

1. La experiencia ha demostrado la utilidad y economía de su empleo.

2. Los coeficientes de seguridad de las obras se reducen progresivamente, y la colaboración que se exige al terreno para soportar la obra es cada vez mayor.

3. El aumento de las dimensiones de las obras proyectadas y, en el caso de las grandes presas, el agotamiento de las buenas cerradas.

Como consecuencia, existe en nuestra nación y fuera de ella una inquietud geológica en los medios técnicos que, a modo de nuevo vellocino de oro, polariza vocaciones, deseos y planes futuros. Si a ello unimos la creciente demanda de trabajo de geólogos y especialistas, que piden el desempeño de la misión que les corresponde, es fácil comprender cuál es la situación, que presenta todos los difíciles problemas de encaje de un desarrollo, siempre deseable.

Lejos están ya los tiempos en los que eran contadísimos los geólogos dedicados a la ingeniería, o ingenieros geólogos, denominación que personalmente prefiero. Hoy existen conoci-

mientos geológicos prácticos en muchos ingenieros y un número apreciable en cada cuerpo, que, sin abandonar la formación específica de ingenieros, han dedicado sus afanes a la geología aplicada a la técnica en la que se formaron.

Hoy se busca al geólogo con un sentido realista, se le incorpora al proyecto, construcción y explotación de grandes obras y se está en camino de conseguir el equipo, difícil en sí de lograr por la naturaleza del hombre, individualista y con apuntes personales de engruimiento.

La técnica o ciencia de la ingeniería geológica no es la geología. La geología con todas sus especialidades es parte fundamental, pero minoritaria, de esta nueva profesión y distinta de ella, como las matemáticas son parte fundamental de la ingeniería, pero diferente de ella. En la ingeniería geológica han de entrar otros muchos conocimientos y disciplinas, tales como la mecánica de suelos, mecánica de rocas, hidráulica y, cómo no, los conocimientos base de las estructuras, cuyo comportamiento se intenta diagnosticar.

La ingeniería geológica arranca de un conocimiento del terreno para averiguar cuáles de sus características pueden influir en la futura obra, tanto en su fase de construcción como de explotación. Determinadas las posibles características a estudiar, a ellas deben concentrarse

los reconocimientos del terreno, lo que supone preparar un plan adecuado teniendo en cuenta las posibilidades de los diferentes métodos de que actualmente dispone la técnica. Es decir, el ingeniero geólogo debe conocer los métodos de reconocimiento del terreno: sondeos mecánicos, sondeos geofísicos, ensayos de laboratorio, ensayos *in situ*, etc., etc. Es más, debe saber conjugar la diversidad de los resultados obtenidos, para ofrecer al proyectista o constructor las conclusiones de estos estudios, y todo ello con un sentido constructivo, lo que implica una formación técnica-económica y la utilización de un lenguaje común.

En lo anterior está la razón de las discusiones internacionales sobre los planes de formación de estos técnicos, y puesto que son muchas las voces autorizadas que se han pronunciado sobre este problema, no añadiré mi opinión, que pudiera ser interpretada inadecuadamente. Me limitaré a recomendar la lectura de "La géologie de l'Ingenieur" (1) que, a mi juicio, resume la opinión mundial.

Tanto en España, como en otros países, existe un serio problema a resolver. Si deseamos que existan auténticos ingenieros geólogos, en los que de forma ponderada se conjuguen los conocimientos de todas las técnicas y ciencias, que fundamentan esta especialidad, sería preciso adecuar los planes de formación, ya que no puede sostenerse honradamente que un geólogo, sin posterior formación especializada, esté capacitado para abordar cuantos problemas relacionados con la geología encontramos en el desarrollo y aplicación de la ciencia y de la técnica. La geología agrícola, la geología minera, la geología aplicada a la ingeniería, por citar las más conocidas, han adquirido tal complejidad e interconexión con la técnica que las adjetiviza, que a cada una de ellas puede dedicarse una vida sin posibilidad de dominarlas en su totalidad. Ello muestra una madurez de la geología, que debe alegrarnos. Pero el interrogante grave es si una nación como España puede dedicar el esfuerzo económico necesario para crear y sostener unos centros de enseñanza adecuados, de los que saldrían un reducido número de titulados. La solución para un próximo futuro quizá pueda consistir en la petición

(1) *La géologie de l'Ingenieur*. M. Arnaud, profesor de la Ecole Nationale des Ponts et Chaussées y de la Ecole Nationale Supérieure des Mines. Annales de L'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. N.º 231-232.

de un doble esfuerzo a los que se dediquen a esta actividad, camino que han seguido la mayoría de los que actualmente trabajan en este tema. Este esfuerzo puede realizarse de dos formas distintas:

1.º Estudio personal y trabajo en grupos o empresas dedicados a esta especialidad.

2.º Realización de los cursos oficiales para la obtención de los títulos académicos de las dos especialidades, que es preciso conjugar.

Supuesta ya la formación considerada como necesaria, siempre ligada a unos conocimientos, a un esfuerzo personal continuado durante bastantes años de dedicación profesional y a unas mínimas características intelectuales, la misión no es sencilla, porque las sorpresas que el terreno puede ofrecer son múltiples, ya que las conclusiones lógicas de unos estudios bien ejecutados no siempre coinciden con la realidad del terreno.

Recuerdo con frecuencia una de las lecciones sencillas, pero cargadas de sabiduría y experiencia, de nuestro profesor en la Escuela de Caminos, Canales y Puertos, D. Clemente Sáenz: "En Geología, uno más uno puede ser dos, tres o cualquiera sabe". Si a esta falta aparente de lógica unimos que la inversión económica necesaria para el estudio y el tiempo que se dispone son limitados y están sujetos a leyes a veces no fácilmente explicables, se comprende que los fracasos o errores en las conclusiones de los estudios del terreno son inevitables.

La realidad es que, pese a lo mucho conocido, aún es más lo que se desconoce. Por ello hemos de trabajar con extremada prudencia.

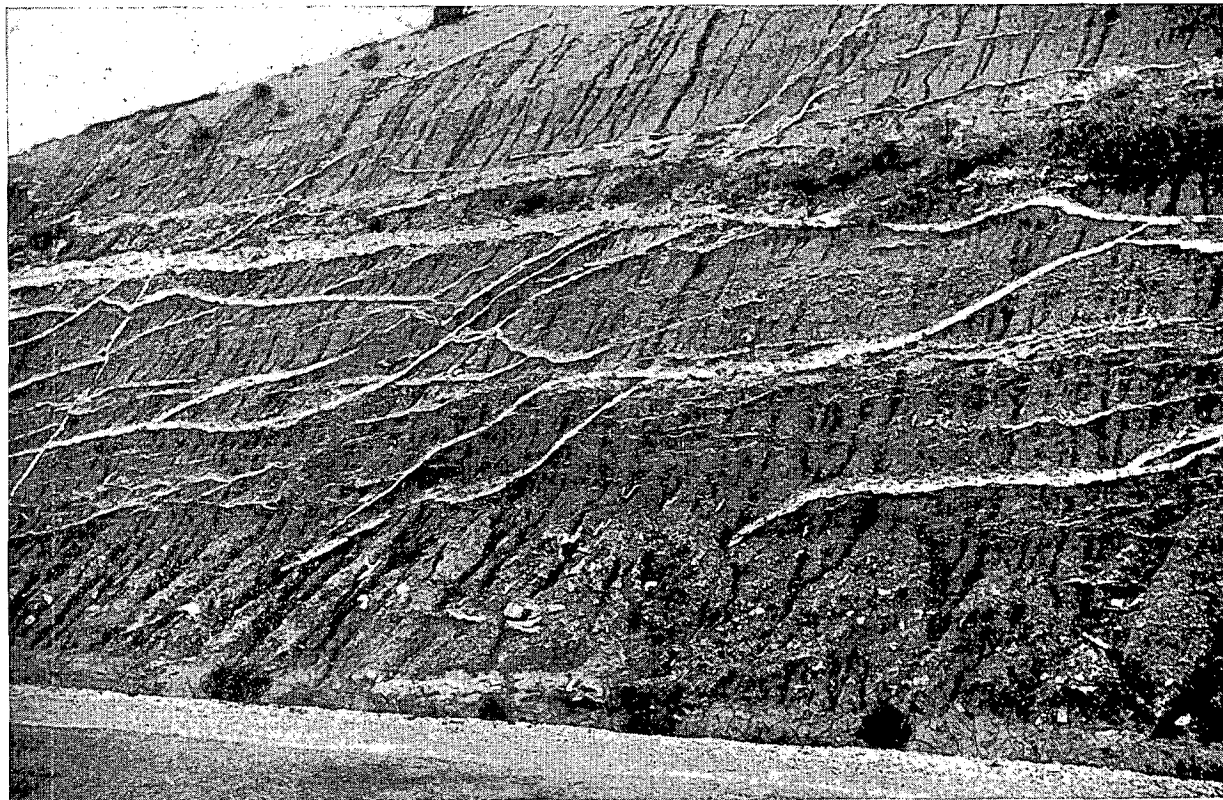
A continuación presentamos como ejemplo tres casos, cada uno de ellos singular en su estilo y que, creo, serán de interés para los que se preocupan de los problemas que plantea el terreno.

II. Presión de cristalización de los yesos secundarios.

Disponemos de una gran experiencia y se han realizado importantes estudios sobre la influencia del yeso en las obras, en especial en las hidráulicas. Por ello despertó interés mundial el "I Coloquio Internacional sobre las Obras Públicas en Terrenos Yesíferos", organizado por el Servicio Geológico de Obras Públicas y celebrado en Madrid en 1962. La lectura de las co-

municaciones presentadas dan una buena panorámica del estado de los conocimientos. Sin embargo, quedan muchos problemas aún no aclarados, por ejemplo, los yesos secundarios, causa de algunos accidentes por la anarquía de su distribución y dificultad de su localización y el problema de la cuantía de las presiones

explicación. Las vetas verticales pudieran ser debidas a fenómenos de retracción y desecación de las margas y arcillas, si admitimos que pueden afectar a profundidades superiores a los 4-5 m. Las vetas horizontales no tienen explicación, pues con la hasta ahora dada, supondría que durante un largo tiempo han existido



Fotografía 1. — Vetas de yesos secundarios en margas y arcillas limosas. Carretera nacional N-232.

que se engendran al pasar la anhidrita a yeso.

El yeso secundario puede encontrarse en forma de fisuras o grietas colmatadas en cualquier tipo de terreno. Su origen se ha ligado a un proceso de inyección tectónica o a una cristalización del yeso disuelto en el agua, que rellena los huecos o fisuras.

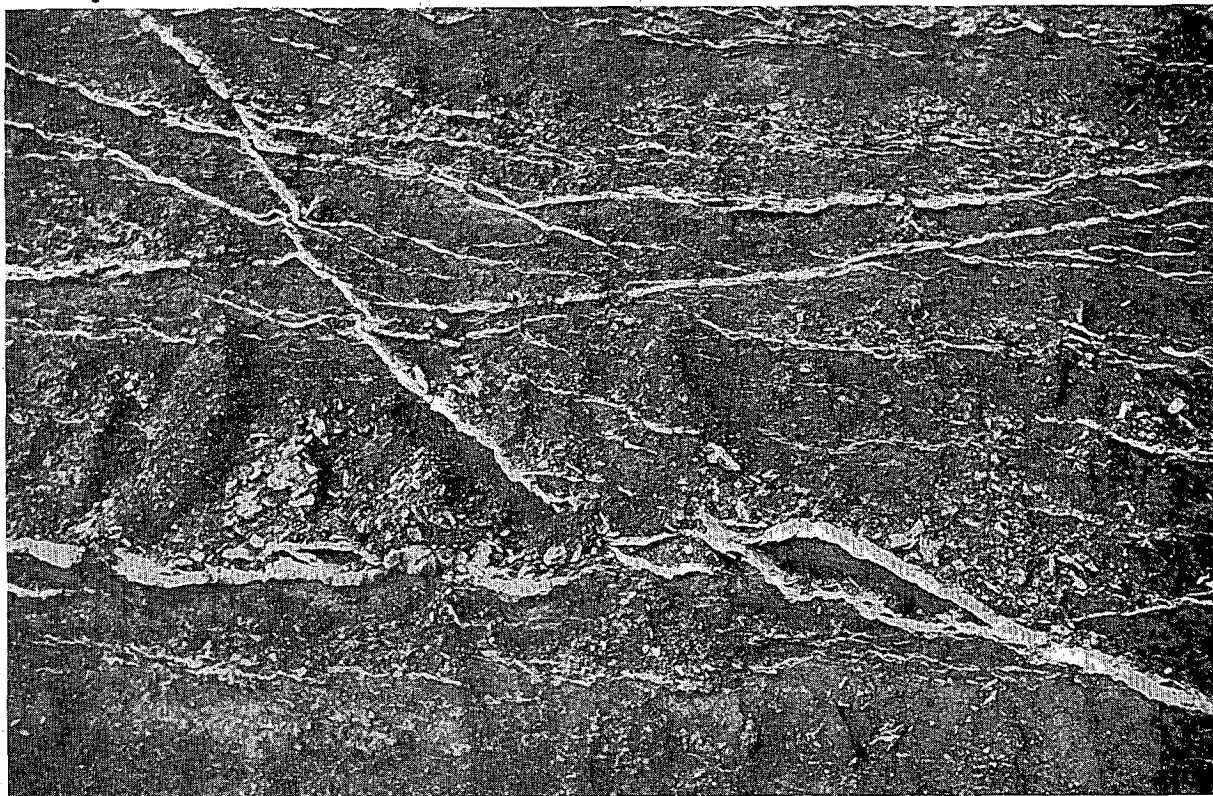
En muchas ocasiones, este segundo modo de formación no podía explicar la distribución de los yesos secundarios. En estos casos adopté la postura cómoda de limitar mis observaciones a la clasificación de lo encontrado. Por ejemplo, las fotografías 1, 2 y 3, tomadas en la carretera nacional N-232, entre Hajar y Alcañiz, muestran una serie de vetas próximas a la vertical y otras a la horizontal de difícil

cámaras o huecos de esta forma rellenos de aire o agua, pero con posibilidad de circulación de estos fluidos, para que por ellos pasase agua en suficiente cantidad para que el yeso disuelto en ella, en cuantía máxima de unos tres gramos por litro, precipitara hasta colmatar el hueco. En estas condiciones es claro que las presiones naturales del terreno cegarían estos huecos, aparte de la dificultad para explicar su origen. Aún es más difícil de explicar lo que se observa en la fotografía 4, en la que se ven esquirlas de arcilla, cuyo tamaño y forma no permiten considerar que estuvieran mucho tiempo colgadas, flotando en el aire o líquido, en espera de que el yeso las apuntalara y fijara.

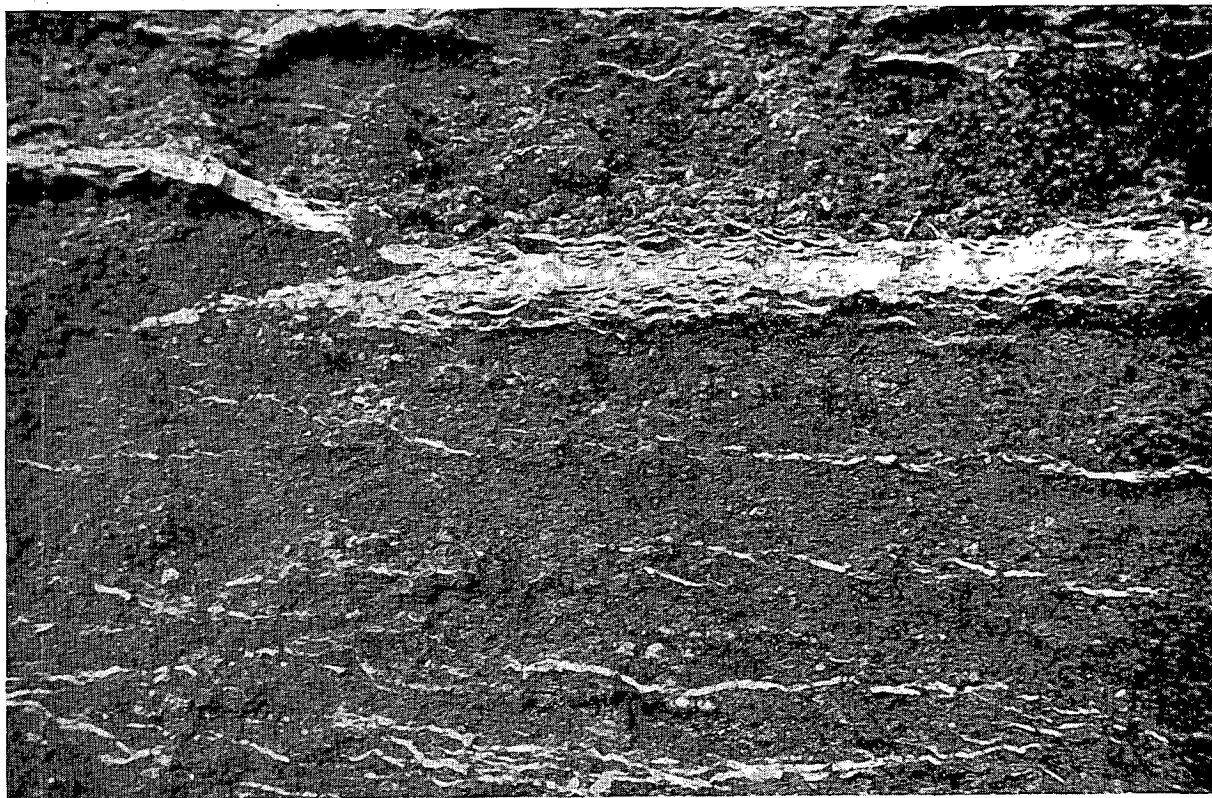
En un reciente e instructivo viaje por Iraq,



Fotografía 2. — Yesos secundarios. Corresponde a la parte inferior derecha de la fotografía.



Fotografía 3. — Detalle de las vetas de yesos secundarios. Carretera nacional N-232.



Fotografía 4. — Detalle de una veta de yeso secundario. En ella aparecen esquirlas del terreno que la aloja.
Carretera Nacional N-232.

tuve la ocasión de estudiar formaciones de gravas con yesos secundarios, concretamente las formaciones denominadas Upper Baktiari y Mutawakkil Terrace del Plioceno y Cuaternario. En ellas encontré fenómenos que me pusieron sobre la pista de la explicación y de los que son notables los dos que a continuación expongo.

En una zona de gravas poligénicas y en un desmonte reciente localicé y examiné detenidamente un canto rodado con la disposición y tamaño que se indica en la figura 1; el canto era de roca granítica. El yeso, blanco, fibroso y orientado normalmente a la superficie de rotura del elemento representado. El canto estaba empastado en el terreno, parcialmente el exterior y localizable sólo por su forma de lamelibranchio. Puede y debe concluirse que el canto quedó en el seno de la gravera y que al amparo de una fisura penetró el agua yesosa. Al cristalizar el yeso actuó como una bomba hidráulica, venció las presiones externas, llamó a nuevas moléculas de yeso y separó paulatinamente las dos mitades del canto. Por el contrario es absolutamente improbable que el canto

se rompiera y permaneciese *in situ* con una disposición tan regular y, sobre todo, que en el hueco no se introdujeran otros áridos de menor diámetro. El yeso que falta en la disposición final ha sido disuelto por la lluvia. Si fue casual la localización del anterior ejemplo, por el contrario, repetidamente observé en las gravas cementadas por yeso, que éste había aumentado los huecos, ya que cada uno de los granos estaba tan envuelto de yeso secundario, que no to-

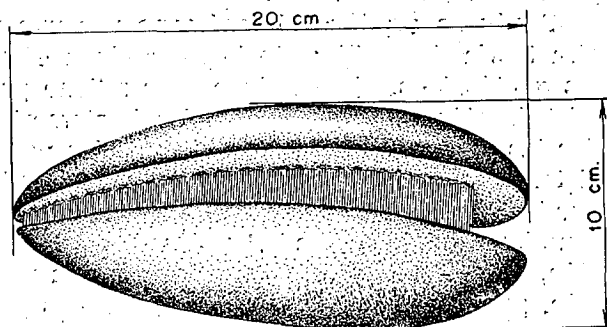


Fig. 1. — Canto rodado de roca granítica dividido en dos mitades y relleno con yeso secundario.

caba directamente a los elementos próximos, o sea, que si retirásemos el yeso, las gravas, gravillas y arenas quedaban en el aire, disposición que no es concebible pueda existir en unas gravas depositadas y posteriormente cementadas por el yeso al amparo de una fuerte evaporación. El mismo fenómeno se observa en los limos, con aspecto análogo al de la fotografía 4, donde en el interior del yeso cristalizado se encuentran esquirlas y microlentejones de yeso.

Estos ejemplos no pueden explicarse por la teoría clásica simplificada, que debe modificarse en la forma siguiente: El yeso disuelto en el agua que rellena los huecos del terreno cristaliza por cambios de presión, temperatura, presencia de agentes catalizadores o evaporación del agua. *En este fenómeno se desarrolla una fuerza de cristalización*, es decir, que el yeso cristalizado llama a nuevas moléculas de yeso y aumenta las dimensiones de la fisura o hueco.

Fenómeno análogo lo encontramos en la formación de los lentejones de hielo en los climas fríos, que pueden levantar pilares o partes de estructuras y que, como es sabido, no puede explicarse por el aumento de volumen del agua al pasar de la fase líquida a la sólida. Aunque este fenómeno pueda explicarse parcialmente por la llamada termoósmosis, o tendencia del agua a circular hacia las zonas más frías, las presiones que se engendran han de relacionarse con las que al cristalizar el yeso hemos deducido se producen.

Sería interesante determinar cuál es el valor de esta tensión de cristalización, no sólo para el yeso, sino para cualquier otro mineral o el agua. Para el yeso y a base de considerar que deben ser superiores a la presión natural de los terrenos situados sobre las vetas de porte horizontal, hemos estimado que son iguales o superiores a los 5 Kg./cm.².

Según se explique el fenómeno por una u otra teoría tiene diferente importancia a efectos geotécnicos. Si se reduce a un relleno por cristalización, no tienen por qué colmatarse todas las fisuras y huecos, y en cualquier caso, el terreno no se comprime más allá de donde pueden llevarle las presiones de los materiales superiores. Si se admite la presión de cristalización, al actuar a modo de una inyección a presión, pueden colmatarse todos los huecos por pequeños que sean y se compacta el terreno de forma más o menos irregular, por lo que las presiones de sobreconsolidación en los mate-

riales coherentes pueden ser muy superiores a las que lógicamente eran previsibles de esperar. Es claro que estas condiciones de colmatación y compactación serán distintas y diferentes también sus consecuencias sobre las características del terreno.

III. Acarreos en el río Manzanares.

En el pasado año se nos encomendó conjuntamente con el Ingeniero del Servicio Geológico de Obras Públicas, D. Pablo Sahún Molina, el estudio de una serie de posibles ubicaciones de futuros embalses, no muy alejados de Madrid.

Una de las cerradas a estudiar está situada en el río Manzanares, poco antes de su incorporación al Jarama. La geología de la zona, en apariencia, no presentaba problema alguno: El valle muy amplio y llano está ocupado por acarreos recientes, en los que superficialmente se observan limos con abundante materia orgánica, consecuencia del vertido de las aguas residuales de Madrid, bastante aguas arriba de la cerrada. En las laderas se observan las margas yesosas miocenas.

Aparte de los problemas que plantea el yeso, debíamos orientar nuestros estudios para determinar el espesor de los acarreos y su naturaleza. En Madrid se han encontrado espesores máximos de 15 m. de acarreos en el cauce del río Manzanares. Cuando se realizaron sondeos mecánicos para la cimentación del nuevo puente de la carretera de Madrid a Valencia sobre el río Jarama, a unos 2 Km. de distancia de la cerrada, se encontraron 20 m. de acarreos. Con estos datos se inició el estudio a base del corte esquemático previo, tal como se dibuja en la figura 2. Sin embargo, los resultados del reconocimiento corresponden al corte geológico probable de la misma figura, que denominamos así, ya que, pese al cuidado, meticulosidad y tiempo dedicado, sólo podemos garantizar la zona inmediata a los sondeos efectuados.

Las consecuencias de esta sorpresa geológica son múltiples:

1. El tiempo requerido para el estudio hubiese sido tres veces superior al inicialmente previsto, de no haber reforzado la maquinaria de sondeos utilizada.

2. El coste del estudio se incrementó notablemente.

3. No fue posible emplear métodos geofísicos, con los que pensábamos completar y abreviar el trabajo.

4. La presencia de fangos, limos, margas y arenas, plantea problemas constructivos muy superiores a los imaginados.

5. Los terrenos flojos que ocupan la margen izquierda aumentan la longitud de la cerrada topográfica en un 20 por 100.

6. La profundidad de acarreo supera los 70 metros, espesor hasta ahora desconocido en esta zona e incluso en gran parte de la meseta del Tajo.

Esta profundidad de acarreo es desconcertante. No existía ningún dato ni indicio superficial que nos hiciera sospechar la presencia de 70 m. de aluviones bajo el cauce actual. Es un caso donde puede decirse que "uno más uno no es dos en Geología". Es cierto que con este perfil puede intentarse y encontrarse una solución y que aclara algunos antecedentes que poseíamos de las canteras de Arganda, cuya explicación no encontrábamos, pero esta explicación es *a posteriori*.

Brindamos este perfil a los estudiosos de la zona, que podrán sacar importantes consecuencias geológicas respecto a la evolución del río Manzanares y Jarama durante el Cuaternario, que no abordamos en este artículo, ya que la finalidad de este ejemplo es mostrarnos un caso más de difícil previsión, que son frecuentes en nuestra actividad profesional.

Llamamos la atención sobre la existencia de anhidrita en el yeso, que no suele citarse en los trabajos geológicos referentes al Mioceno de las cubetas del Tajo, Duero y Ebro y que también la encontramos en sondeos próximos a Zafarraya.

IV. Depresión de Zafarraya.

Con frecuencia es necesario conocer la estructura geológica de una zona para los trabajos de ingeniería en ella proyectados. Las hipótesis previas lógicas son a veces muy diferentes de la estructura y disposición encontrada en los sondeos. Los geólogos que se dedican a la investigación del petróleo podrán citar innumerables y sorprendentes ejemplos. Pero no es necesario recurrir a casos donde las grandes profundidades exploradas justifican las sorpresas por lo arriesgado de las hipótesis previas.

El ingeniero geólogo tiene que abordar este problema a profundidades más modestas en el trazado de túneles, en el estudio de posibles interconexiones de terrenos permeables en el caso de embalses o en estudios hidrogeológicos. Tal es el caso del poldje de Zafarraya, actualmente en estudio por el Servicio Geológico de Obras Públicas a petición de la Confederación Hidrográfica del Sur y con objeto de examinar la viabilidad de un ingenioso plan de regulación cocebido por D. Rafael Conejo Ramilo.

La depresión de Zafarraya es citada abundantemente en la literatura geológica como un típico poldje, o cuenca cerrada de origen cársico. La hipótesis geológica era sencilla: un substrato calizo y unos depósitos superficiales, que regularizan su fondo y forman la llanada, donde afloran cerretes calizos. El espesor de estos recubrimientos podía ser de 10-20 m. El nivel freático de la zona podía ser único, y en la época lluviosa ascendería hasta inundar parte del llano, fenómeno muy frecuente en las dolinas y poldjes.

En la figura 3 puede observarse la topografía de la zona. La cota 900 limita una zona más baja, de unos 12 Km.², en cuyo centro está la población de Zafarraya. Al Norte está limitada por las estribaciones de la sierra de Loja (Peñas del Aguila y Cerros del Toril). Hacia el Sur constituye su límite la sierra del Cabrero. El Boquete de Zafarraya, junto a Ventas de Zafarraya, determina la cota 910, que limita una zona sin drenaje superficial de unos 14 kilómetros cuadrados. Hacia el Norte la divisoria topográfica alcanza la cota mínima de 1 010. Hacia el Este, en la carretera de Loja, la 1 130. Hacia el Sur, la 935, y en el Boquete de Zafarraya, la 910. Hacia el Oeste la divisoria es mucho más elevada.

A la depresión de Zafarraya acude el Arroyo de la Madre, que nace en la sierra Tejera. Las aguas desaparecen en la depresión, aunque solamente se observan sumideros en su parte Oeste, alcanzados por las aguas del arroyo en sus crecidas.

El estudio de la depresión se ha realizado combinando los sondeos mecánicos y geofísicos. Los primeros, aún no terminados, se dedicaron inicialmente a determinar los niveles del agua subterránea en la llanada, con objeto de relacionarlos con los niveles de los pozos en explotación. Los sondeos geofísicos, eléctrico-resistivos, se dispusieron en una serie de per-

files paralelos y dirección aproximada Norte-Sur, con miras a determinar la topografía de las calizas y comprobar la estructura hasta una profundidad de 200 m. y excepcionalmente 500 metros. La interpretación de los sondeos geofísicos, única parte de este trabajo que realicé personalmente, apoyada en los datos de los sondeos mecánicos y geología superficial, ha mostrado una estructura de difícil aclaración y obligado a estudios complementarios en curso.

En la depresión se han localizado bajo los depósitos superficiales, molasas helvecienses, que se adosan al límite sur y cuyo espesor supera los 100 m. (posteriormente se ha conseguido localizarlas en superficie en un pequeño afloramiento). Existe un paquete de calizas margosas fosilíferas rosadas, con espesor de unos 50 m. y disposición próxima a la vertical, que cruza la depresión desde El Almendral hasta el Boquete de Zafarraya. Este paquete cretácico divide la zona en dos geológicamente diferentes, consideración de importancia para el estudio hidrogeológico en curso. Adosado a este paquete impermeable y en su flanco Oeste existen margas, arcillas y areniscas gris-marrón oscuras, con buzamiento de unos 60°, que ocupan casi una quinta parte de la depresión y que también son impermeables, terreno que no se ha localizado en superficie. A estos datos obtenidos con los sondeos efectuados hay que unir unas zonas miloníticas, bien desarrolladas, que ocupan el pie de la Sierra del Cabrero y se prolongan hacia el Este. Otras zonas de igual naturaleza y disposición parecida que se observan junto a la carretera de Zafarraya a la Venta de Alazores y, por último, las diferentes clases de recubrimientos, en los que el suelo residual apenas está representado y donde son frecuentes arenas y gravillas poligénicas, que indican varios procesos de formación y que pueden agruparse por zonas.

En resumen, las hipótesis previas se apartan bastante de los resultados obtenidos. Las molasa y arcillas, margas y areniscas gris-marrón oscuro eran imposibles de prever en su extensión, espesor y aun existencia. El problema geológico planteado actualmente es si la depresión de Zafarraya puede clasificarse como un poldje típico o si, por el contrario, es necesario concluir que su origen es mixto, es decir, si la depresión es consecuencia de unos procesos tectónicos y procesos erosivos superficiales, con poca influencia de los fenómenos

cársticos, que posteriormente adquirieron un papel predominante.

A efectos prácticos la sorpresa ha supuesto: una mayor inversión económica; un mayor tiempo de estudio y la necesidad de reconocimientos geológicos superficiales más detallados y finos.

La importancia geológica de este tema pide que, acabados los estudios, se ofrezca un resumen de ellos en forma de artículo o comunicación, ya que ahora sólo esbozamos resultados aún no definitivos, como un ejemplo más de las sorpresas que podemos encontrar en nuestro trabajo.

V. Dificultad de la actividad del ingeniero geólogo.

Las mejores enseñanzas de nuestra actividad profesional desgraciadamente se obtienen de los casos en los que ha fallado la aplicación de nuestros conocimientos. Siempre supone un enriquecimiento de nuestra experiencia y, sobre todo, centran nuestras posibilidades al abrirse el camino de la humildad y cerrarse el de la soberbia.

Accidentes de consecuencias funestas permitieron desarrollar teorías y combatir sus causas posteriormente. No cabe duda de la enseñanza y progreso que supuso a la técnica, entre otros, los siguientes casos: El sifonamiento de la presa de Puentes, en el año 1802. El mal comportamiento del embalse de Montejaque, que enseñó las consecuencias de los terrenos permeables en estas obras. El hundimiento durante su construcción de los depósitos del Canal de Isabel II, que mostró, la importancia de los efectos de dilatación en el hormigón. El terremoto de San Francisco en 1906 y el de Kwanto en 1923 que dieron origen a la Ingeniería Sísmica. La destrucción de la presa de Malpasset, que impulsó el desarrollo de la Mecánica de las Rocas; y, por citar el más reciente, el gigantesco corrimiento del Monte Tor, que afectó al embalse de Vajont y que nos ha hecho pensar seriamente sobre las probabilidades de presentarse estos accidentes en los grandes embalses en construcción o ya construidos.

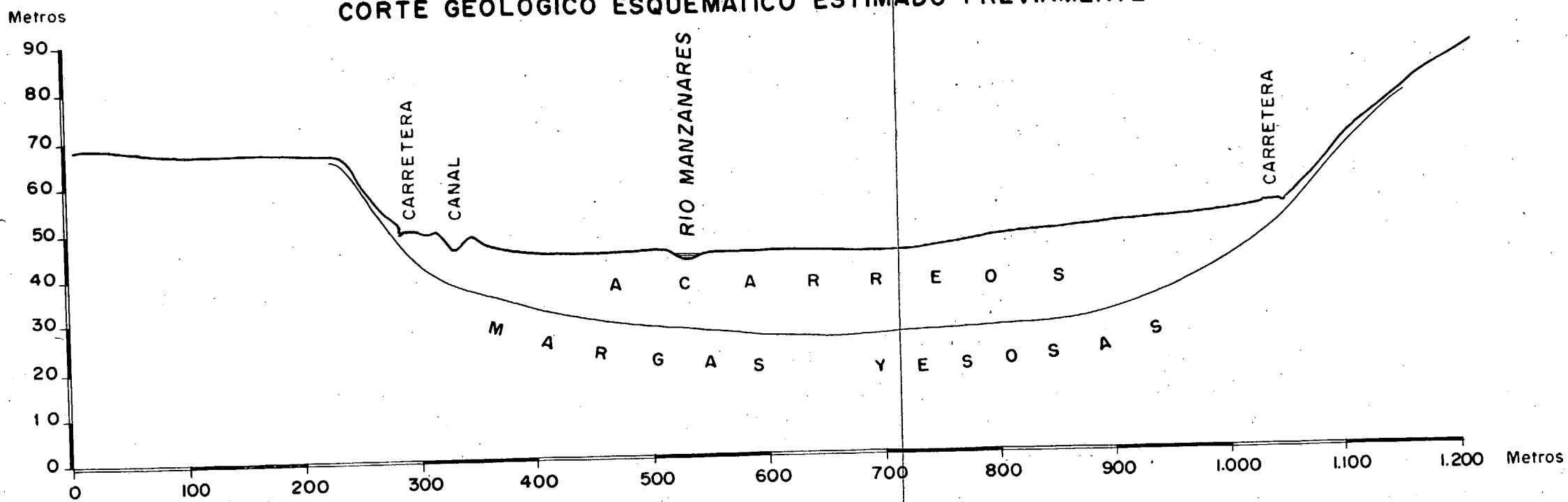
En la situación actual de la geología y de la ingeniería no puede afirmarse que, con los reconocimientos y medios a nuestro alcance, se localizarán cuantos problemas puede presentar

LEYENDA

 Tierra de labor derrubios y echadizo

- ① Arenas, arcillas y margas blancas muy flojas
 - ② Arenas, arcillas, yesos en cristales aislados y trozos de calizas; blancas, flojas y pulverulentas
 - ③ Alternancias de arenas y arcillas verde grisáceas
 - ④ Arenas gruesas y medias rosadas (a la derecha ocre)
 - ⑤ Arenas medias grises (a la izquierda ocre)
 - ⑥ Arcillas, limos y margas verde-grisáceas y grises
 - ⑦ Limos y arenas finas, medias y gruesas, color blanco sucio, gris claro y ocre claro
 - ⑧ Margas limosas, de derecha a izquierda ocre gris y gris verdoso
 - ⑨ Arenas y limos ocre y gris claro
 - ⑩ Fangos gris oscuros
 - ⑪ Margas a veces fangosas grises, localmente gris verdosas y ocre
-
- ⑫ Limos arcillosos grises oscuros
 - ⑬ Margas limosas ocre
 - ⑭ Margas blanco-gris azuladas, flojas con yeso
 - ⑮ Iden Iden compactas con estratos de anhidrita

CORTE GEOLOGICO ESQUEMATICO ESTIMADO PREVIAMENTE



CORTE GEOLOGICO PROBABLE

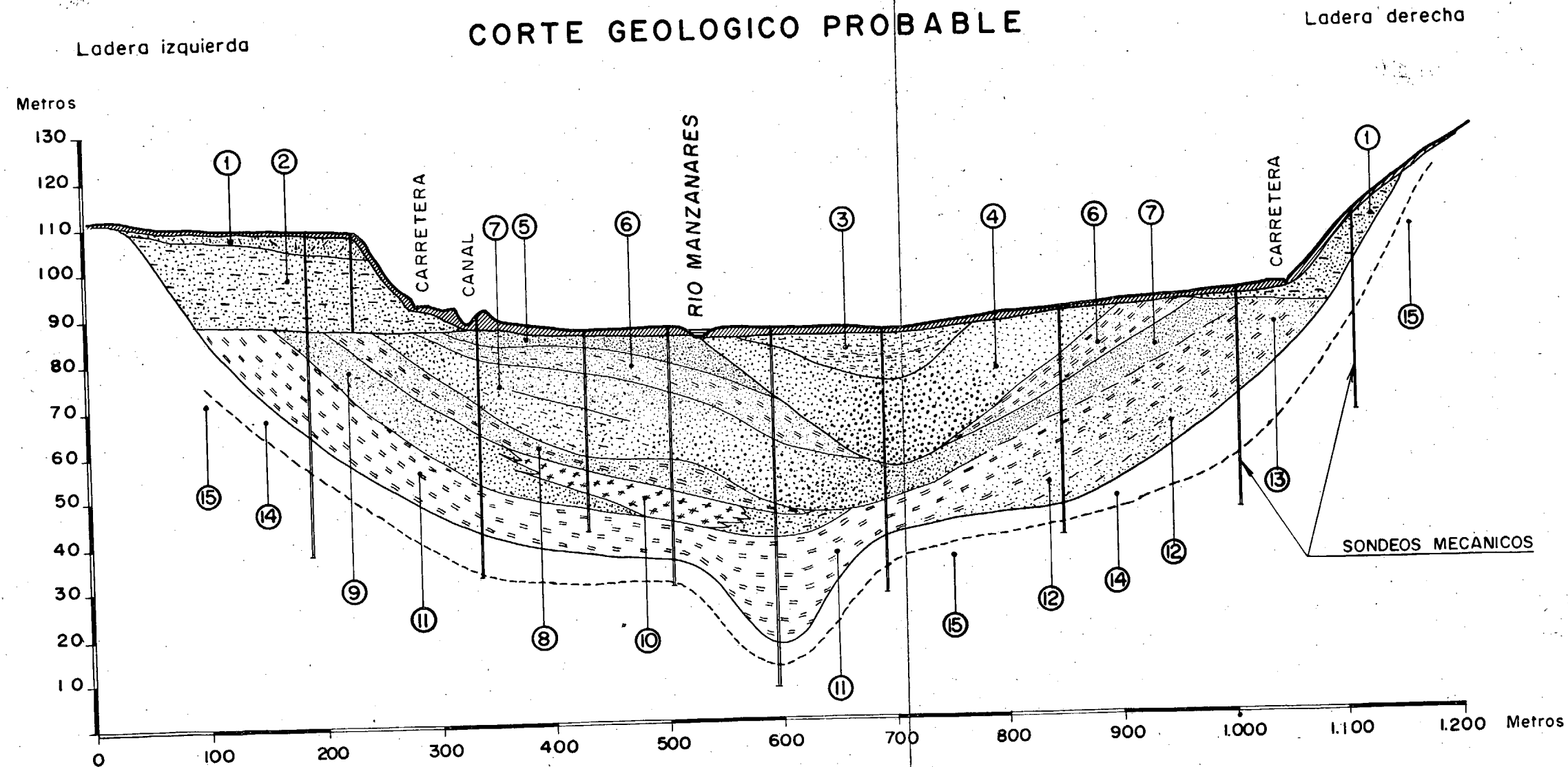


Fig. 2. — Acarreos en el río Manzanares.

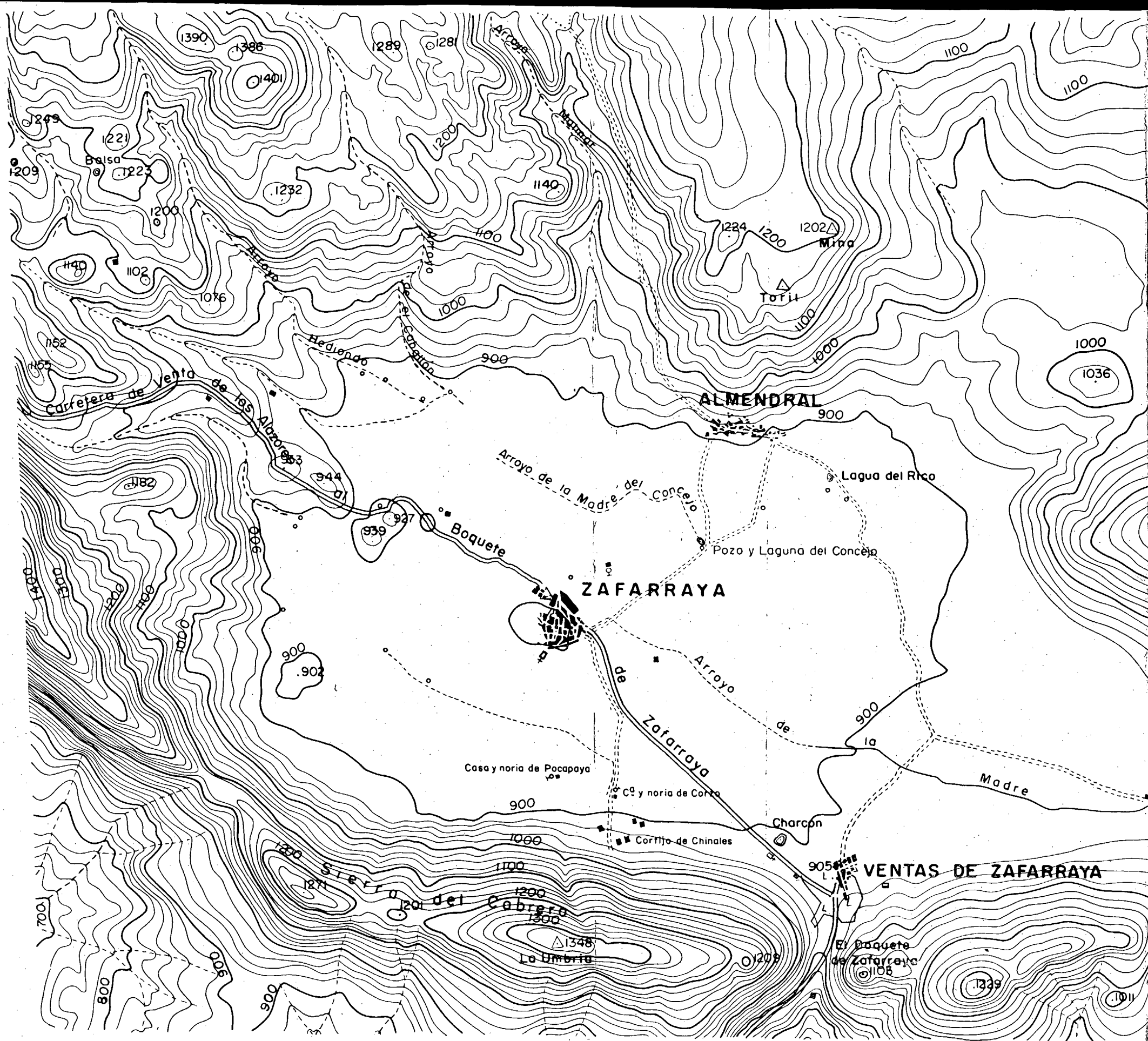


Fig. 3. — Depresión de

el terreno a la obra proyectada. Por muy bien que se realicen los estudios del terreno, que exigirán una inversión y un esfuerzo difícil de prever, no podemos tener la seguridad de que, al realizar las excavaciones necesarias, no surgirán nuevas dificultades, que incluso aconsejen económicamente abandonar el proyecto, cuya realización comenzó al excavar. Un buen ejemplo nos lo ofrece la presa de Cethana en Tasmania (Australia), inicialmente proyectada como bóveda, pero que al descubrir el terreno de cimentación en su casi totalidad se cambió por presa de escollera. Postura valiente y práctica, digna de alabarse, máxime cuando se ha presentado en una comunicación en el último Congreso Internacional de Grandes Presas.

Llegamos a un punto de especial importan-

cia: se trata de ver sin excavar y para ello son necesarios todos los métodos que nos puedan dar una información, pero empleados de modo ponderado y adaptados al tema. Es decir, será preciso un levantamiento geológico y tectónico detallado, sondeos mecánicos, sus registros geofísicos, sondeos geofísicos, rozas, galerías de reconocimiento, ensayos geotécnicos *in situ* y en laboratorio etc. Será ingeniero geológico quien pueda decidir con qué intensidad y extensión debe aplicarse cada método y pueda coordinar su empleo a efectos de obtener unos datos útiles y prácticos para la obra o proyecto, porque todos los datos son ciertos si se aplican correctamente los métodos, pero su significado es distinto y, a veces, no aportan utilidad práctica al problema planteado.