

EL PROBLEMA DE LOS CANALES EN LOS TERRENOS YESIFEROS MEDIO SIGLO DE EXPERIENCIA EN EL CANAL DE ARAGON Y CATALUÑA

Por FERNANDO HUÉ HERRERO
y MANUEL RAMON LLAMAS MADURGA

Ingenieros de Caminos.

La presencia de los terrenos yesíferos viene constituyendo, desde hace años, un serio problema para la construcción o la explotación de las obras hidráulicas. En este trabajo se estudia con detalle el comportamiento, a lo largo de más de cincuenta años, de un canal de 25 m./seg. de capacidad, en terrenos yesíferos de distintos tipos. Como consecuencia de estos estudios, se llega a una serie de conclusiones prácticas sobre la forma cómo deben construirse los canales en este tipo de terrenos. Esta primera parte del artículo está destinada esencialmente al estudio de la naturaleza geológica de los terrenos atravesados por el canal, y constituye la base imprescindible para resolver adecuadamente el problema técnico — el conocimiento de las causas de las perturbaciones producidas en los canales —, que será tratado extensamente en la segunda parte del artículo.

I. Introducción.

I. EL PROBLEMA DE LOS YESOS EN ESPAÑA Y EN LA CUENCA DEL EBRO.

J. M. Valdés (1959), Ingeniero-jefe de la Jefatura de Sondeos, Cimentaciones e Informes Geológicos del Ministerio de Obras Públicas, ha escrito apenas hace un año: "La presencia del yeso en el terreno constituye uno de los problemas que con más frecuencia y quizá con mayor gravedad preocupan al constructor de obras públicas. Al menos en cuanto significa relación de obra y terreno."

Este problema tiene un carácter, hoy por hoy, casi exclusivamente nacional, debido a la gran extensión que ocupan los terrenos en los que el yeso está presente en mayor o menor proporción en nuestro país, en comparación con las naciones con un grado de progreso técnico análogo o superior al nuestro. [Valdés (1959) llega a valorar dicha extensión en un 25 por 100 del solar hispano.]

El problema se plantea con la máxima gravedad en las obras hidráulicas y especialmente en los grandes canales. En las presas suele ser relativamente fácil encontrar a corta distancia un emplazamiento adecuado, y de no ser así, hay que abandonar el proyecto; en cambio en los canales, con frecuencia no se puede evitar el que de una determinada porción de su trazado atraviere un terreno yesífero.

Posiblemente en ningún país europeo o americano existan unos planes de regadío de una amplitud comparable a los que actualmente están en explotación, en construcción o en proyecto en España. La Dirección General de Obras Hidráulicas, consciente de la magnitud del problema, pidió datos de la experiencia en obras de este tipo a todos los organismos de ella dependientes.

Algunos de estos informes han sido publicados y el resto han podido ser consultados por uno de nosotros gracias a la amabilidad de algunos Ingenieros de la Dirección General de Obras Hidráulicas. Sin duda ninguna, es en la cuenca del Ebro donde el

problema se plantea con mayor gravedad, por la extensión de terrenos yesosos y las dimensiones de los canales; el Canal de Monegros, por ejemplo, tiene, en su primer tramo, capacidad para 90 m.³/seg.

Dentro de la cuenca del Ebro, creemos que es el Canal de Aragón y Cataluña el que puede aportar una mayor experiencia por su tamaño, su caudal medio es de 20 m.³/seg., y llevar más de cincuenta años en explotación. El Canal Imperial es bastante más antiguo, pero el tramo yesífero está al final y en realidad puede decirse que el canal se termina al llegar a él, ya que a partir de la zona con yesos, que se encuentra a los 4 Km., aguas abajo de Zaragoza, reduce su caudal a su décima parte, 2 m.³/seg., del que lleva aguas arriba de la capital aragonesa.

Estas son las razones por las que el segundo de los firmantes de este trabajo, que está realizando una serie de estudios sobre la repercusión de los terrenos yesíferos en los grandes canales, decidió iniciar su investigación por el Canal de Aragón y Cataluña, del que es Ingeniero encargado desde hace veinte años el primero de los firmantes. Como nadie suele conocer mejor las obras que el encargado de ellas, eran evidentes las ventajas de un trabajo en equipo para intentar sacar la mayor luz posible de este complicado asunto. El resultado de las frecuentes visitas al terreno, de nuestros cambios de impresiones, así como de nuestras conversaciones con otros colegas de la Confederación Hidrográfica del Ebro con experiencia en análogos problemas, son estas páginas, que en buena parte no son sino una puntualización, sobre todo en la parte referente a la geología, de un trabajo presentado por uno de nosotros (Hué) al III Congreso de Riegos y Drenajes, celebrado en San Francisco en 1957.

2. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA DE REGADÍO.

Diremos apenas cuatro palabras sobre estos asuntos, las mínimas imprescindibles para que quede clara

la importancia que tiene el canal para la vida de la zona.

Según Casas Torres (1952), nuestra región puede considerarse dominio del clima mediterráneo continental, de inviernos duros y veranos terriblemente cálidos y secos. La oscilación anual de temperaturas suele pasar de los 50 grados. Schmitt (1935) dice que, según los datos de la estación de Monzón, la media de precipitaciones anuales es de 400 mm., y los días con alguna precipitación acuosa, oscilan entre 60 y 70 por año.

Como en el resto de la depresión aragonesa la irregularidad de las precipitaciones es muy grande,

El uso intensivo de las posibilidades del canal no se hace hasta bastantes años más tarde, ya que el cambio de las técnicas de cultivo de secano a las de regadío requiere un fuerte desembolso de dinero y un cambio de mentalidad por parte de los agricultores. Por otra parte, el Canal de Aragón y Cataluña se construye pensando en asegurar la cosecha de cereales y un 10 por 100 de cultivo intensivo; por ello se hace una presa de desviación sin embalse alguno. Más tarde, al ver la conveniencia de intensificar los cultivos, se construye el Pantano de Barasona, que terminado en 1932, garantiza la permanencia del suministro de agua durante los estiajes del Esera.

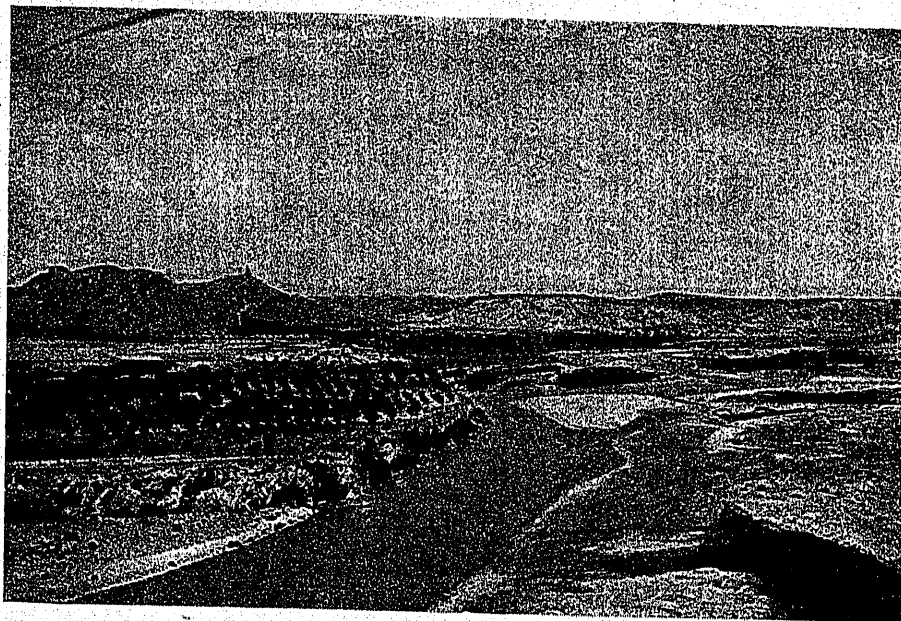


Foto 1. —Castejón del Puente desde la ribera izquierda del Cinca. A la izquierda, el oligoceno de facies normal buzando hacia el S.; a la derecha, los yesos basales; en primer plano, terraza inferior del Cinca. (Fot. M. R. Llamas)

hay con frecuencia años en que pasan dos y tres meses sin caer una gota. Las condiciones agrícolas de esta zona antes de que comenzase a prestar sus servicios el canal eran sólo un poco más ventajosas que las de la vecina región de Monegros, célebre por su clima cuasi-desértico. Como botón de muestra, diremos solamente que durante los años de sequía los vecinos de Tamarite tenían que ir al río Noguera con carros-cuba para buscar el agua para beber, y a Almacellas el agua era llevada en vagones-cisternas por el ferrocarril.

3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y EXPLOTACIÓN.

Para la construcción y explotación del Canal de Aragón y Cataluña se constituyó un organismo, dependiente del Ministerio de Fomento, a fines del pasado siglo. No necesitamos para nuestro estudio conocer el régimen administrativo ni las vicisitudes de la construcción; nos basta saber que, a partir de 1905, el agua comenzó a circular por el canal.

De todas formas, el caudal del río Esera es insuficiente para cultivar intensamente las 95 000 Ha. regables. La escasez de agua no quedará definitivamente resuelta hasta que se construya el canal de enlace que llevará aguas del río Noguera, embalsadas en el Pantano de Santa Ana, hasta la segunda mitad del Canal de Aragón y Cataluña.

En la actualidad, ni siquiera pueden ser plenamente aprovechadas las posibilidades del Esera. El canal, dimensionado para 35 m.³/seg., lleva sólo un caudal máximo de 25 y medio de 20. La causa de esta limitación de caudal es el aumento de las filtraciones, con las consiguientes averías en los tramos del canal que discurren sobre yesos, al aumentar la altura de la lámina de agua.

Los tramos yesíferos han sido constante fuente de perturbación desde el comienzo de la explotación. En 1912, a los siete años de la inauguración, ya hay que hacer dos variantes en la zona yesosa de Valfría Caballos, para abandonar dos tramos de constantes



Foto 2. — Fotoplano de la zona de Valfria-Caballos.

(Fot. Conf. Hidr. del Ebro.)

averías. El trazado antiguo puede verse en la foto número 2 y en la figura 6.^a) De 1914 hay un proyecto del Ingeniero de Caminos D. A. Benavent, para sustituir el revestimiento de hormigón del túnel 15, totalmente degradado por los aguas selenitosas, por una tubería de acero, separada de las paredes del túnel; el proyecto no fué aprobado y se hizo un revestimiento de sillería, del que más adelante se ha-

causa de las averías, ha sido 645, lo que viene a suponer en trece años un 13,5 % de días sin servicio (esto, sin tener en cuenta el corte invernal anual, que viene a ser un mes por término medio). 2) La duración total de los cortes varía bastante de unos años a otros; oscila entre 33 y 95 días. 3) De estas averías, las producidas fuera de las zonas de yesos (casi todas ellas debidas a deslizamientos de

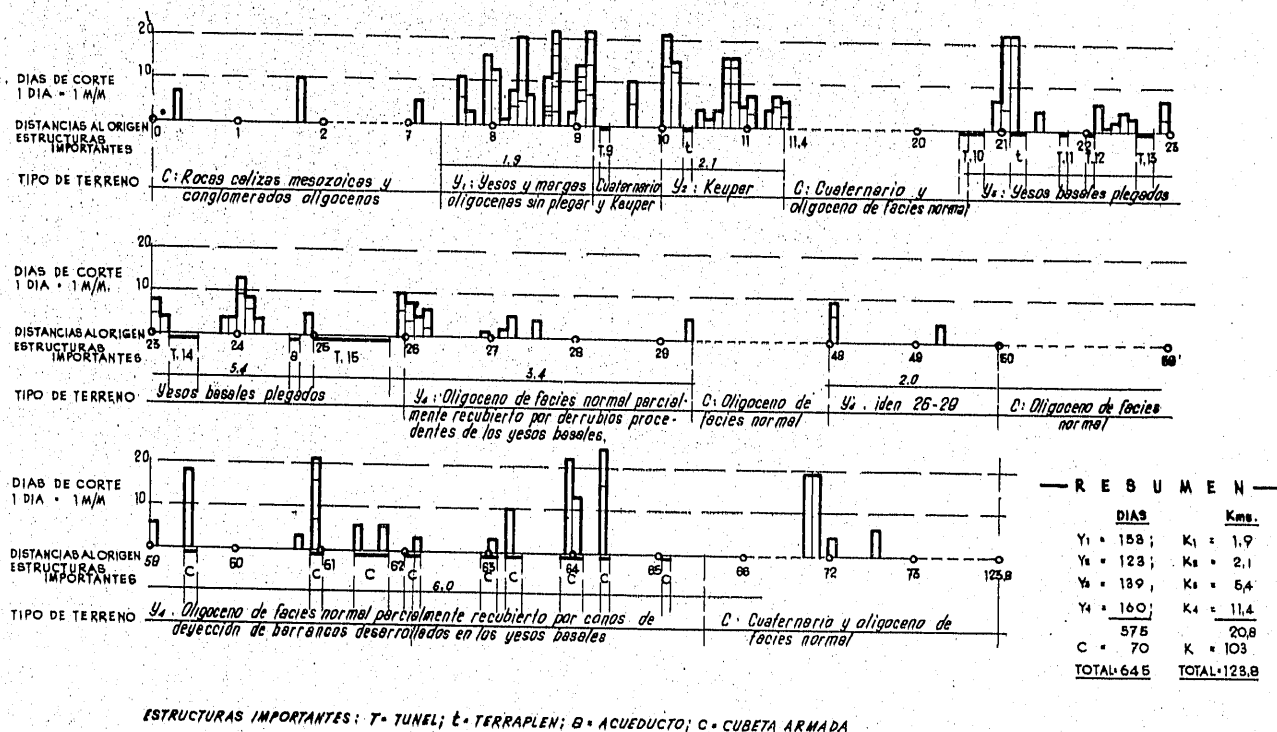


Fig. 1.ª — Estadística de las averías del Canal de Aragón y Cataluña, desde 26-III-1946 hasta 11-V-1959.

blará. En 1924, el mismo Benavent proyecta y comienza la construcción de unos revestimientos especiales que se han venido designando con el nombre de "cubeta armada", para intentar suprimir las averías en unos tramos donde éstas eran constantes. Aunque eficaces, estas soluciones no han sido definitivas y las averías siguen produciéndose. En 1953, por ejemplo, se han demolido algunas de las zonas de "cubeta armada" para hacer otro tipo de revestimientos. En 1956, F. Hué Herrero redacta dos proyectos de variantes en dos de las zonas de yesos (figuras 4.^a y 6.^a), que serán comentados más adelante.

Pero, quizá, más aleccionador que los datos anteriores es el estudio de la estadística de los días de corte por averías. En la figura 1.^a hemos condensado los datos del servicio de Aforos del Canal de Aragón y Cataluña durante los últimos trece años. A la vista de dicho esquema, podemos sacar inmediatamente algunas conclusiones: 1) La suma total de los días en que ha habido que cortar el agua en el canal a

taludes arcillosos), solamente han dado lugar a 70 días de corte, lo cual significa que cerca del 90 por 100 de las interrupciones de servicio han sido causadas por los yesos. 4) La mayor parte de las averías se arreglan en un plazo inferior a la semana; solamente las más graves requieren períodos de corte del orden de los 15 días. No obstante, las averías cortas también pueden originar serios trastornos en los cultivos cuando se producen en las épocas en que el agua es más necesaria (durante el verano o en la época del trasplante de la remolacha, por ejemplo), ya que, por los turnos de riego, puede suponer un plazo de 15 días sin agua para determinados agricultores.

A la vista de estas conclusiones, se comprende que ante el riesgo de perder la cosecha, muchos agricultores no se arriesguen a hacer cultivos más rentables, pero que requieren la seguridad del suministro de agua en determinadas épocas. Por consiguiente, ni los 20 m.³/seg. de caudal actual son utilizados al máximo rendimiento.

Foto 3. — Avería típica de tamaño intermedio, ocurrida el 21-VII-57 en el kilómetro 21,400. Observar que hay una persona bajo la solera.

(Fot. Conf. Hidr. del Ebro.)

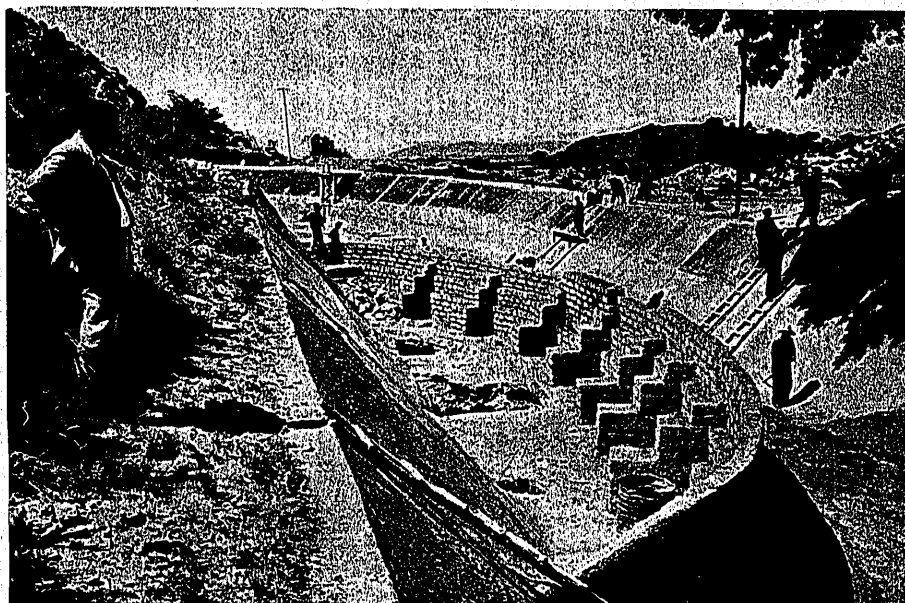
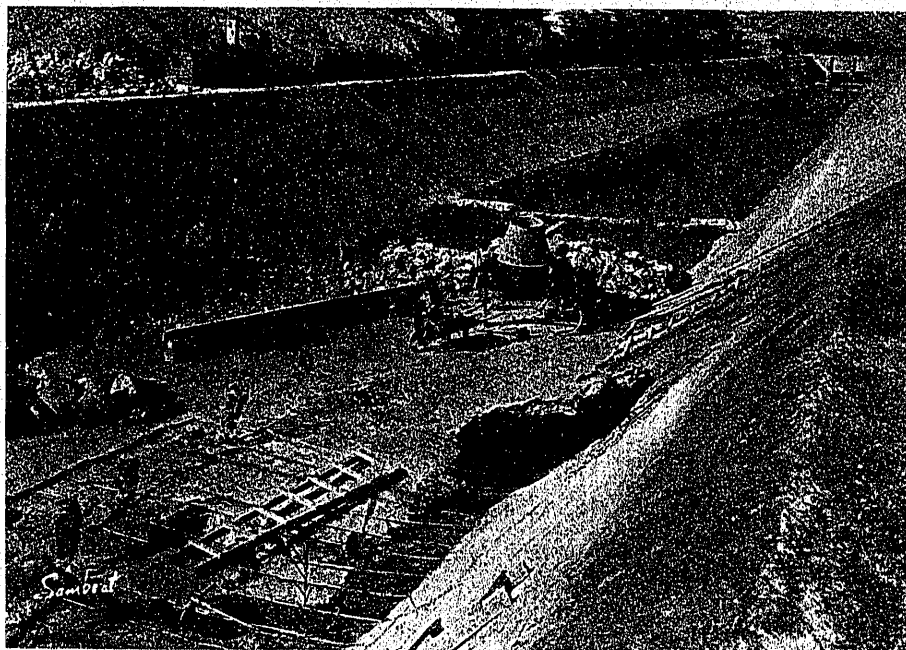


Foto 4. — Construcción de un dique de bloques de hormigón para poder dar el agua rápidamente. Avería en el kilómetro 25,900 en 15-V-1959.

(Fot. R. M. Llamas.)

4. NOCIONES SOBRE LAS CAUSAS DE LAS AVERÍAS.

Los desperfectos que se presentan en las obras en contacto con los terrenos yesosos suelen obedecer a dos causas. La primera es la agresividad química de las aguas sulfatadas sobre el cemento Portland y aglomerantes análogos; los sulfatos en disolución se combinan con los componentes del cemento fraguado, dando lugar a la formación de unas nuevas sales que son expansivas y transforman el hormigón en un material deleznable. Aunque este fenómeno será analizado con más detalle en páginas posteriores, vale la pena adelantar que esta agresividad química no constituye, hoy por hoy, un serio problema en la explotación del Canal de Aragón y Cataluña. En la mayoría de los casos, la ruina se produce por efecto mecánico al variar las condiciones de sustentación del canal y tener que trabajar el revestimiento en unas condiciones elásticas para las que no fué calculado, a causa de haberse producido agrietamientos o huecos al ser arrastrado o disuelto el terreno yesoso por las aguas procedentes de las fugas del canal o de las corrientes naturales subterráneas. Queda, pues, claro que el gran enemigo del canal no es el yeso, sino el yeso en contacto con el agua. Esta circunstancia nos abre una puerta hacia la solución definitiva del problema, que será la de evitar, lo más posible, la circulación de las aguas, sea cualquiera su origen, en las proximidades del revestimiento del canal.

En las fotografías 3.ª a 6.ª pueden verse algunas averías típicas y la forma de repararlas.

II. Estudio geológico de las zonas peligrosas.

I. LOS GRANDES RASGOS ESTRUCTURALES Y MORFOLÓGICOS DE LA ZONA.

Vamos a trazar primeramente un bosquejo rápido que nos permita encajar, dentro de la unidad geológica y morfológica que constituye la cuenca del Ebro, la región regada por el Canal de Aragón y Cataluña.

La actual cuenca del Ebro (excluido el curso alto del Jalón e incluidos el Ter y el Llobregat) está constituida por una depresión o fosa tectónica de forma triangular, circundada por tres grandes alineaciones montañosas: los Pirineos, el Sistema Ibérico y la cordillera Costero-Catalana.

Esta depresión se inicia ya en el Eoceno, en su parte NE.; alcanza sus características fundamentales en el Oligoceno inferior y sin modificaciones esenciales continúa hasta el final del Mioceno. Las montañas marginales están constituidas por materiales anteriores al movimiento pirenaico, que abarcan desde el Eoceno al Cámbrico, según las zonas. Los materiales oligocenos-miocenos que rellenaron la depresión se caracterizan por ser continentales; en ellos se puede

observar el cambio lateral de facies desde los conglomerados groseros junto a los escarpes montañosos hasta las rocas evaporitas y margas en las zonas más próximas al centro de la cuenca, que nos hablan de regiones más deprimidas donde se acumulaban las aguas que descendían de las montañas. Este esquema de conjunto se modifica frecuentemente a causa de las emigraciones que, desde el Oligoceno hasta el final del Mioceno, hubo de las zonas más deprimidas de la cubeta; otras variaciones en la sucesión vertical de estratos parece que deban atribuirse a los cambios climáticos. Los fósiles en toda la cuenca son escasos, y especialmente en la zona central. En casi 100 kilómetros alrededor de Zaragoza, el único mamífero encontrado hasta la fecha ha sido mandíbula de *Cuenetherium Miocenicum*, encontrado por uno de nosotros recientemente en una mina de sal próxima al Ebro.

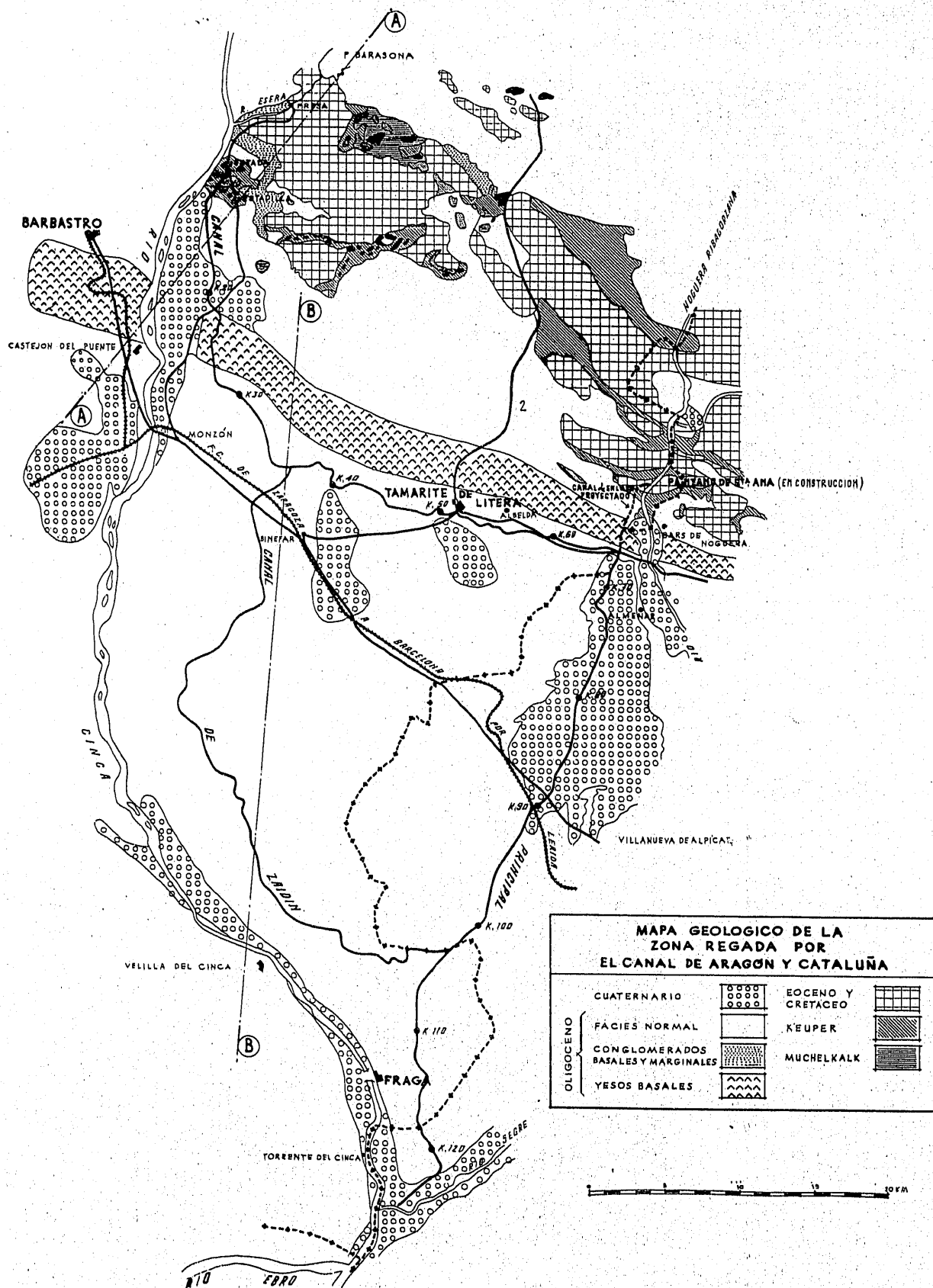
Es, pues, evidente la dificultad, casi imposibilidad, de establecer con certeza una columna estratigráfica detallada de los pisos oligocenos y miocenos.

El espesor de estos materiales continentales, así como la naturaleza de su yacente, es dudoso, pero en algunos puntos, como Marcilla, de donde se tienen los datos de un sondeo petrolífero, pasa de los 4 000 metros. [Ver Ríos (1959)].

La disposición de los materiales, salvo en las proximidades de las sierras marginales, suele ser prácticamente horizontal. El contacto con dichas sierras es muy variado; en algunos sitios puede decirse que continúan horizontales hasta un escarpe de falla; en otros, aparecen prácticamente concordantes con los terrenos prepirenaicos.

Es interesante hacer notar que estos depósitos continentales están plegados no sólo en los terrenos que bordean inmediatamente las sierras marginales, sino también en una franja de yesos situada algunos kilómetros al Sur de las estribaciones pirenaicas. Y que se extiende casi sin solución de continuidad desde Suria y Cardona hasta algo más a poniente de Barbastro. En el extremo occidental de la cuenca, en Navarra, existe también una gran mancha de yesos que aparecen plegados en anticlinales y sinclinales más regulares y tendidos que los de la mancha anterior. Algunos autores atribuyen estos plegamientos a una tectónica salífera, de tipo cuasi-diapírico, y no a la orogénesis post-pirenaica. En determinados puntos próximos a las sierras marginales, el terciario continental es también limpiamente y bruscamente atravesado por diapiros de materiales del Keuper (en la zona de nuestro trabajo estudiaremos uno).

A finales del Mioceno parece producirse un levantamiento epigénico y un basculamiento que transforma la cuenca de endorreica en exorreica, y nos hace pasar de un período de sedimentación a uno de erosión. Las aguas salvajes y las encauzadas van cincelandando la uniforme llanura del Mioceno superior y dando lugar progresivamente a las formas de relieve



actuales. El encajamiento de los ríos desde el principio del Plioceno hasta hoy día oscila entre 500 y 600 metros, como nos demuestran los testigos calizos pontienses del pico S., Caprasio, con sus 825 metros de altura, en la sierra de Alcubierre, próxima a Zaragoza, donde, en cambio, las aguas del Ebro se deslizan perezosas a sólo 190 m. de altitud sobre el Mediterráneo. El paisaje típico de las zonas terciarias

gravas depositadas por las aguas que por ellos corrían, resisten mejor la acción del ciclo erosivo posterior y quedan destinados a ocupar los interfluvios en el siguiente encabezamiento de la red hidrográfica.

Tras estas líneas, quizá demasiado extensas, dada la índole práctica de este trabajo, y excesivamente cortas para proporcionar una idea suficientemente clara de los materiales y formas de relieve de la depresión

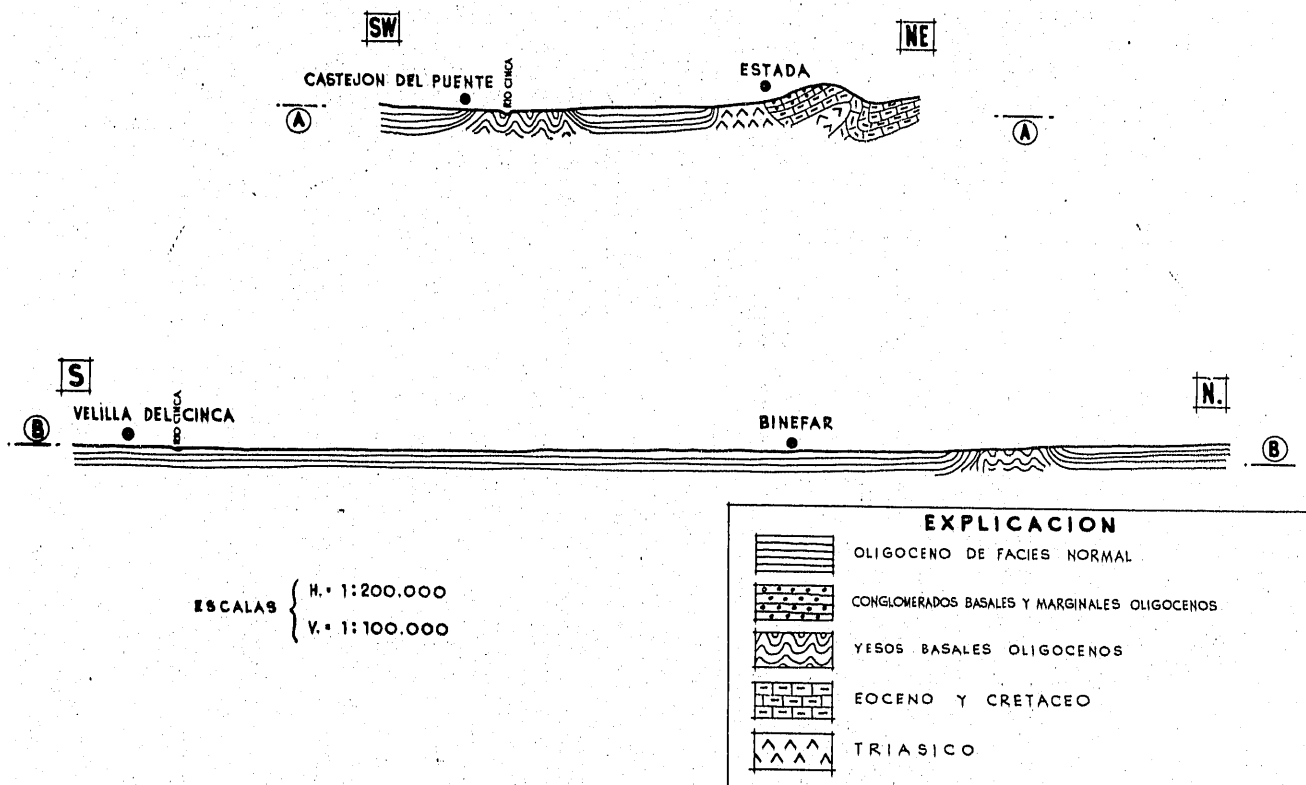


Fig. 3.^a — Cortes geológicos generales a través de la zona regada por el Canal de Aragón y Cataluña.

es el de extensas llanuras originadas por la erosión de las aguas corrientes y a veces cubiertas por depósitos cuaternarios, sobre los que se elevan bruscamente las "muelas", cerros testigos de los terrenos que antaño fueron transportados al mar. Su forma típica es la que se suele denominar de artesa invertida. Su cresta plana suele estar formada por una tabla de calizas o areniscas, mientras que en sus empinadas laderas predominan las arcillas y las margas.

En las zonas con predominio de materiales más blandos (existencia casi exclusiva de yesos y margas) las formas de relieve se deben más a la acción erosiva de las aguas que a la alternancia de la resistencia a la erosión de los distintos estratos. Caracteriza estas zonas una red hidrográfica muy poco jerarquizada y formada por valles amplios de fondo plano. Las inversiones de relieve son frecuentes, ya que los fondos de los valles más antiguos, protegidos por la capa de

del Ebro, vamos a ver cuál es la situación de nuestra zona dentro de este marco general.

El relieve de nuestra zona oligocena puede definirse como un relieve tabular en graderías, formado por capas prácticamente horizontales alternantes de arcillas, margas y areniscas; estas últimas, por su mayor resistencia, son las que coronan casi siempre las zonas altas. Las gradas más altas forman una extensa plataforma alrededor de los 400 m. de altura. Esta superficie, situada a unos 250 m. sobre los cursos actuales de los ríos, está cubierta por depósitos de piedemonte o glacis, que probablemente son pliocenos. En esta primitiva llanura se han encajado los ríos a lo largo del cuaternario dejando en sus márgenes, como testimonio de las oscilaciones de su fuerza agresiva, un conjunto de terrazas.

La figura 2.^a está tomada, salvo pequeños retoques, de los mapas geológicos a escala 1:200 000 de

las provincias de Huesca y Lérida. Aparte de las Memorias correspondientes a estos mapas (1957 y (1947), no hemos consultado más estudios sobre nuestra zona que los trabajos regionales de Ríos (1959), Sáenz (1942) y Solé (1955).

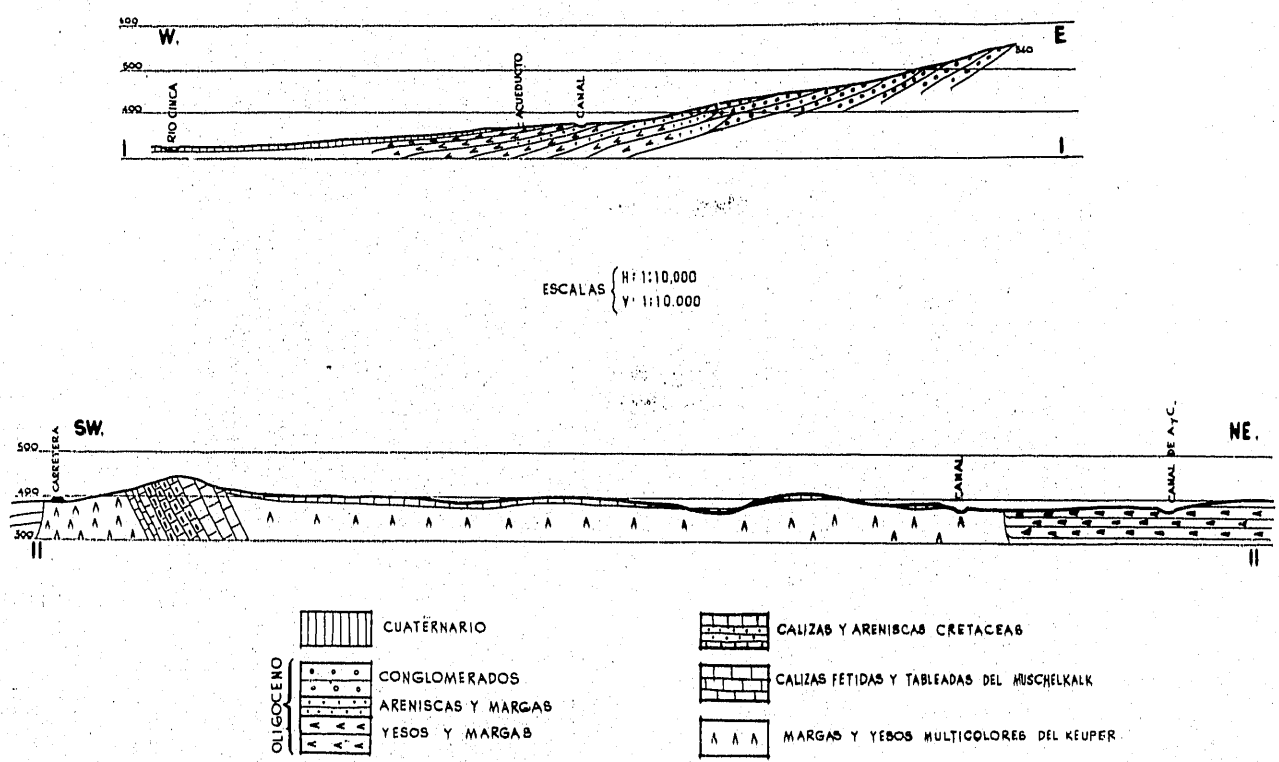
2. ESTRATIGRAFÍA.

Triásico.

Como ya se advirtió anteriormente, nos limitaremos a describir los terrenos de esta edad sobre los

y el Keuper, que muestran las características generales que atribuyen al triásico los autores de la Memoria Geológica de la Provincia de Huesca (1957). Los dos pisos aparecen confusamente revueltos, aunque parece observarse una cierta tendencia de los mogotes calizos del Muschelkalk a disponerse en los bordes del diapiro (ver fig. 4.^a y foto 7). En estos mogotes se encuentran unos gruesos bancos de calizas fétidas de color gris oscuro y otros de calizas tableadas de color gris claro o amarillentas.

Hemos supuesto que estas calizas pertenecen al Muschelkalk, de acuerdo con la explicación del mapa geológico de Huesca, aunque anteriormente Ríos y



que están asentadas Estada y Estadilla. Nuestro estudio está basado, en buena parte, en un croquis a escala 1:50 000 que amablemente nos ha proporcionado el profesor Ríos. Forman una mancha casi circular (figs. 2.^a y 4.^a) y proceden de una erupción diátrica, que ha cortado limpiamente el oligoceno suprayacente. En su marcha ascensional, los plásticos materiales triásicos han arrastrado algunos retazos de cretáceo dos de los cuales afloran claramente en la superficie (figs. 3.^a y 5.^a). Buena parte de la mancha triásica se encuentra actualmente cubierta por un tenue epitelio de gravas cuaternarias de origen fluvial. No existe en nuestra zona ninguna representación de los vistosos materiales rojizos detríticos del Permo-Bunter, solamente están representados el Muschelkalk

Almela (1952, págs. 330 y 331) ya advierten que hay bancos calizos de análogas características intra-supra Keuper. Esto parece ser más bien nuestro caso, pues uno de dichos afloramientos calizos parece estar concordante y en contacto con un paquete de areniscas calizas rosadas que soportan encima un grueso banco de calizas blancas compactas, cuyas características coinciden con las dadas al Senonense de la sierra de Estada por los ya citados autores (1952, pág. 334). El Keuper ofrece su aspecto típico lacustre y se compone de margas y arcillas de colores verdes, violáceos o rojos, con claro predominio de estas últimas. Diseminados caóticamente entre las margas y arcillas, aparecen abundantes yesos de colores rojos, grises o blancos y estructura compacta o fibrosa.

Cretáceo y Eoceno.

No vamos a decir nada sobre estos terrenos, pues la representación cretácea se reduce a los dos pequeños afloramientos citados en el estudio del período anterior.

Las calizas de alveolinas del Eoceno constituyen una buena parte de los materiales de los conglomerados

nológica del Oligoceno, sino que más bien responden a los cambios laterales de facies tan frecuentes en los terrenos continentales del Ebro. El establecimiento de una estratigrafía detallada es muy difícil por la ausencia casi total de fósiles; en ausencia de éstos se han utilizado frecuentemente argumentos tectónicos para distinguir estratos fosilíferamente estériles y de análogas características petrográficas.

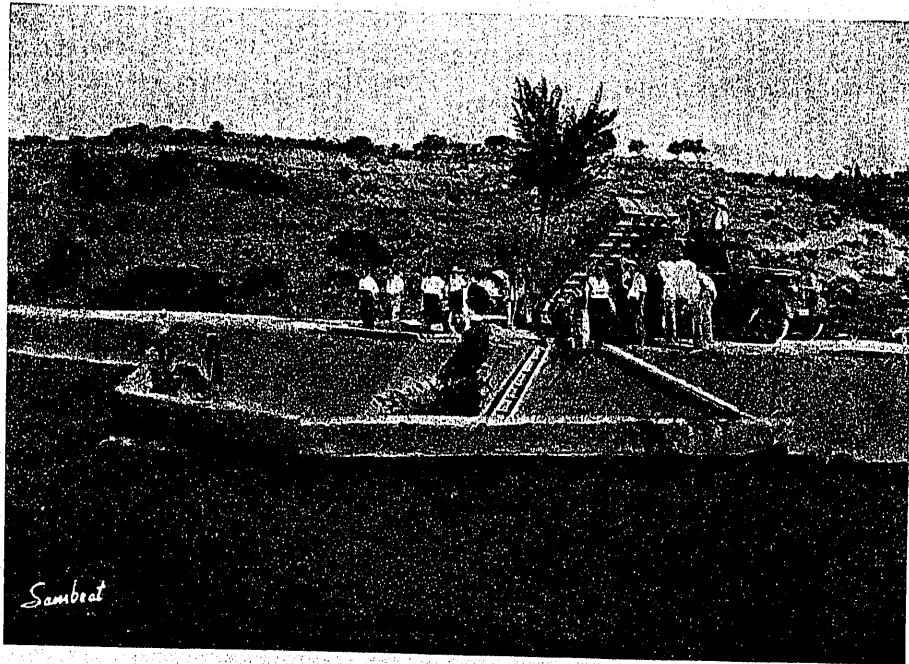


Foto 5. — Avería análoga a la de la foto 3. La construcción del dique corta el agua solamente durante cuatro días.

(Fotos Conf; Hidr. del Ebro.)

dos oligocenos basales; el resto suele estar formado por calizas fértiles que suponemos triásicas o calizas blancas que quizá representen al cretáceo.

Oligoceno.

Prácticamente puede decirse que, si se exceptúan los tres primeros kilómetros y el cruce de diapiro triásico antes descrito, todo el Canal de Aragón y Cataluña va sobre terrenos pertenecientes a este período; que, por lo tanto, estudiaremos con algún mayor detenimiento.

En realidad, no vamos a hacer sino resumir lo dicho por otros autores, especialmente por Ríos y Almela. Nuestras modestísimas aportaciones al conocimiento de la Geología de esta zona se reducen a los mapas de detalle de las figuras 4.^a a 9.^a, a escala 1:25 000.

Siguiendo a los autores antes citados, vamos a dividir los terrenos oligocenos en tres tipos: conglomerados, yesos basales y facies normal. Estos tres tipos no corresponden exactamente a una subdivisión cro-

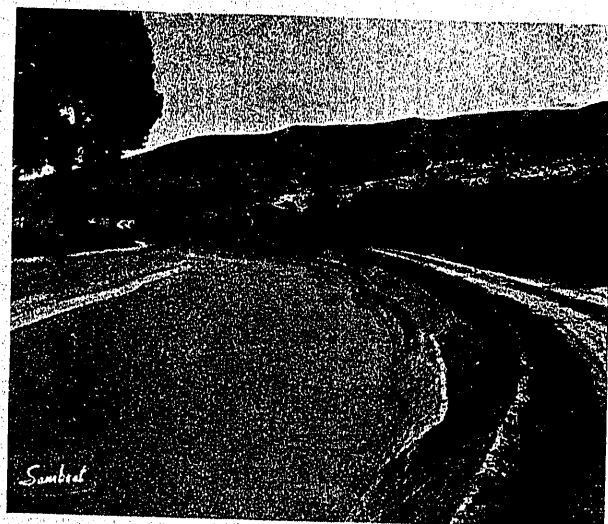


Foto 6. — Terraplén en constantes averías en el kilómetro 9. Observar las deformaciones del revestimiento.

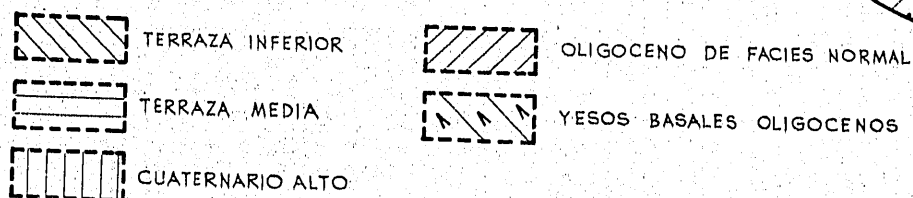
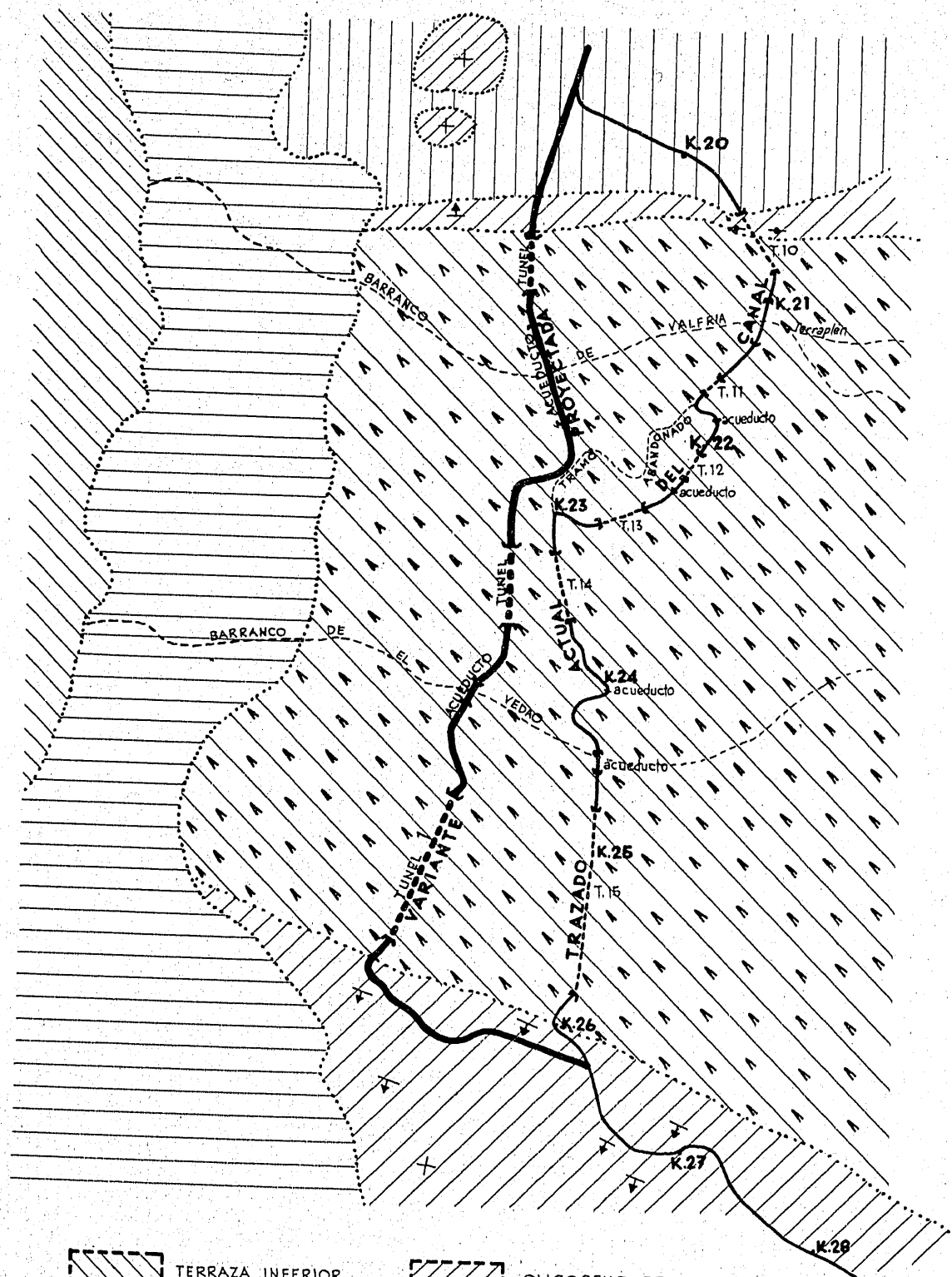


Fig. 6.^a—Mapa geológico correspondiente a los kilómetros 20-28.

a) *Los conglomerados*. — Como puede verse en la figura 2.^a, en la zona de los primeros kilómetros del canal encontramos una formación que hemos denominado, siguiendo la Memoria de la Provincia de Huesca, conglomerados basales y marginales.

Constituye la citada formación un caso particular de la orla de conglomerados que bordea, con más o menos soluciones de continuidad, toda la depresión del Ebro, de ahí su nombre de marginales. Estas formaciones han sido objeto de numerosos estudios por

están concordantes (fig. 3.^a). Están constituidos por cantos calizos de mediano tamaño y unidos con un cemento, también calizo, que les da bastante coherencia.

De estos materiales se construyó buena parte del revestimiento del canal, y han acreditado una excelente resistencia a la agresividad química de las aguas selenitosas.

La extensión de estos materiales es reducida, pues rápidamente, a medida que nos alejamos de las mon-

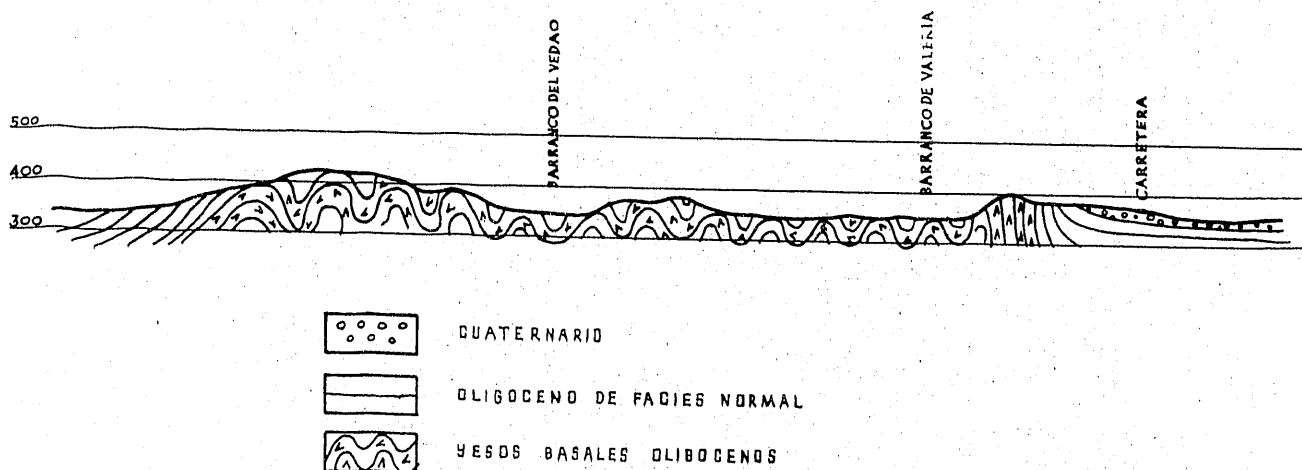


Fig. 7.^a — Corte geológico correspondiente a los kilómetros 20-28.

parte de muchos de los mejores geólogos españoles y de algunos de los extranjeros. Puede verse una buena síntesis de los problemas que plantean estos conglomerados en Almela y Ríos (1957, págs. 145-148) y Ríos (1959).

La disposición de los conglomerados respecto al yacente mesozoico varía de unas zonas a otras. Cuando se encuentran prácticamente concordantes sobre él y plegados se les considera basales, es decir, que corresponden a los productos sedimentados en las primeras etapas de la formación de la depresión del Ebro. En algunas partes, estos conglomerados están plegados, pero discordantes con el substrato mesozoico o con los conglomerados anteriores. Son índice de plegamientos intraoligocenos. En unos terceros, finalmente, los encontramos horizontales y discordantes con su yacente. La determinación de los momentos concretos de cada uno de estos plegamientos es muy difícil, casi imposible, por la ausencia de fósiles; además, hay indicios bastante claros de que en zonas próximas al paroxismo orogénico se han manifestado en periodos diversos. Ver, por ejemplo en Almela y Ríos (1957) la exposición sobre las opiniones de distintos autores sobre el predominio de la fase pirenaica o sálica en la vecina zona de Lérida.

En nuestra zona, los conglomerados buzan hacia la periferia del substrato mesozoico con el que

tañas mesozoicas, pasan a rocas detríticas más finas, como las molasas y arcillas, de la facies normal o incluso a rocas de precipitación química, como son los yesos, que encontramos al Norte de Estada, que son causa de constantes averías en esa zona del canal.

b) *Los yesos basales*. — El Canal de Aragón y Cataluña cruza estratos de yeso, sin contar la zona triásica recién estudiada, entre los kilómetros 7 a 9 y 20 a 26. Ambos conjuntos yesíferos han sido considerados como oligocenos y se les adjudica el calificativo de basales por considerar que se formaron en el Oligoceno inferior, en el inicio de la formación de la depresión del Ebro. El aspecto que presentan estos yesos en los tramos considerados es bastante diferente.

Los yesos del primer tramo, situados al Norte de Estada (figs. 4.^a y 5.^a), parecen enlazar mediante un rápido cambio lateral de facies con los conglomerados que hemos considerado anteriormente basales. Son unos yesos de colores azulados o grisáceos claros que están interestratificados con bancos de potencia análoga a la suya de margas y areniscas. En la zona en que son cruzados por el canal, buzan monoclinamente hacia el Oeste con una pendiente que oscila entre 10 y 20°.

Los yesos que aparecen entre los kilómetros 20 y 26 del canal han sido tratados frecuentemente en la bibliografía geológica de la depresión del Ebro, pues

el canal no hace sino cortar transversalmente una estructura anticlinal que va con bastante continuidad desde un poco hacia el Oeste de Barbastro hasta la provincia de Barcelona, después de atravesar toda Lérida.

Estos yesos fueron por primera vez dados como oligocenos por Sáenz en 1929, apoyando su datación

c) *El oligoceno de facies normal.* — Se denomina así una monótona serie que descansa sobre los yesos basales y que está profusamente extendida no sólo en la zona de nuestro estudio, donde ocupa casi la totalidad del terreno, sino en toda la cuenca del Ebro.

Esta formación, de coloración rojiza, parda o anarajanda, está constituida por un conjunto de capas

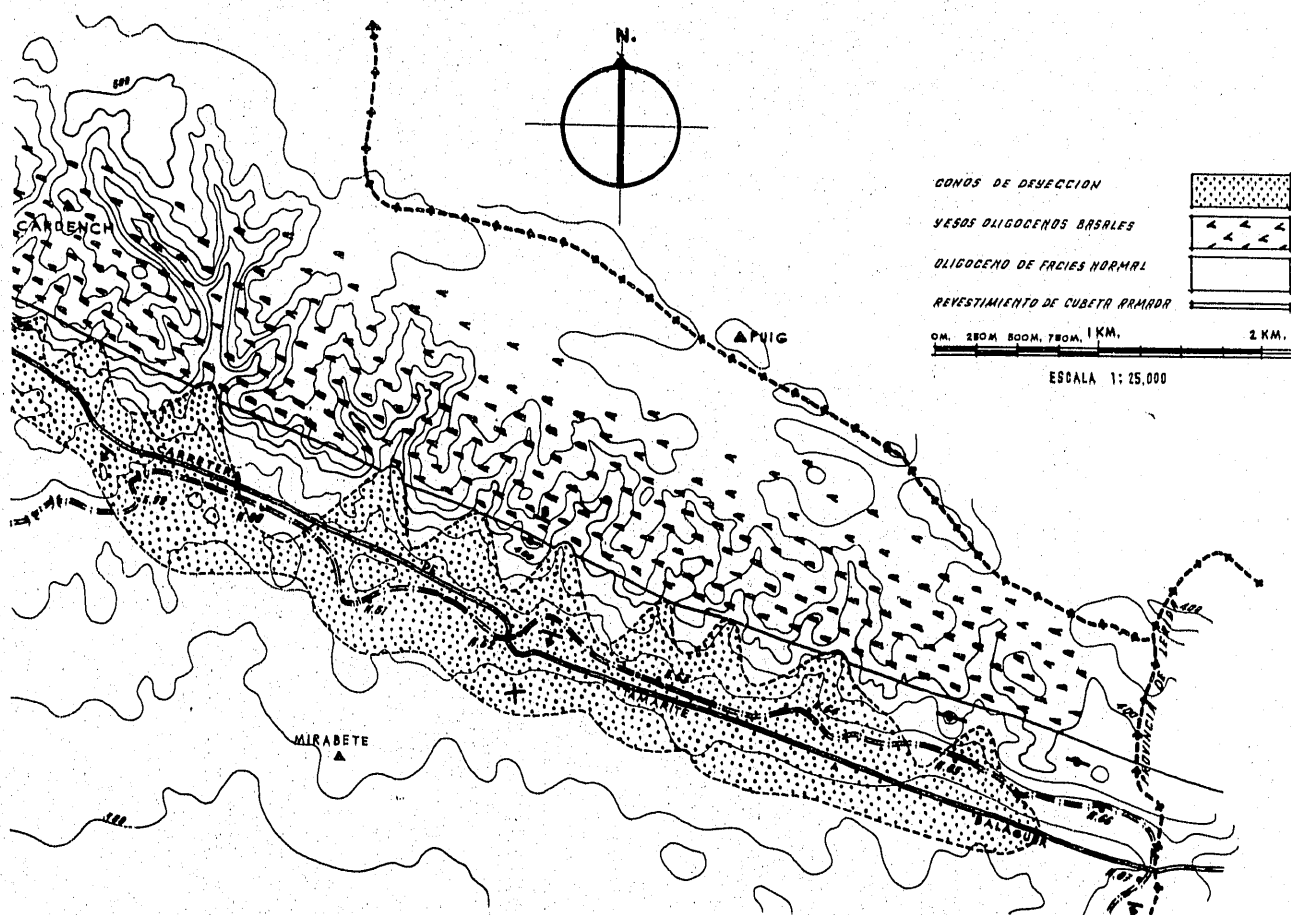


Fig. 8.ª — Mapa geológico de la zona correspondiente a los kilómetros 59-66.

en argumentos tectónicos y estratigráficos; hasta entonces habrían sido considerados como miocenos. La dotación ha sido admitida por todos los que después han escrito sobre esta región, si bien la validez de los argumentos tectónicos no aparece hoy día tan clara; pero sobre este tema volveremos más tarde, al estudiar la tectónica de nuestra zona.

Este conjunto estratigráfico está formado casi exclusivamente por capas de yeso de potencias que varían entre 1 y 30 cm., separadas por intercalaciones margosas mucho más delgadas. El color más corriente en los yesos es el gris claro azulado, que en las superficies meteorizadas pasa a blanco. Todo el conjunto está muy replegado. (Fotos 8, 9, 10; figs. 6.ª y 7.ª.)

de margas o arcillas interestratificadas con molasas o conglomerados de cantos pequeños, en las que frecuentemente se pueden observar estratificación cruzada. Los frecuentes cambios laterales de facies dificultan la localización de capas guía que permitan la correlación estratigráfica. El conjunto en toda nuestra zona está prácticamente horizontal; solamente en las proximidades del anticlinal de los yesos basales aparecen bruscamente inclinadas hacia el exterior de la mancha yesífera.

Estos materiales constituyen, por lo general, una excelente base de sustentación del canal por su impermeabilidad y estabilidad, salvo en aquellos sitios en que aparecen recubiertas con derrubios procedentes de los yesos basales.



Foto 7. — Fotoplano de la zona Estada-Estadilla.

(Fot. Conf. Hidr. del Ebro.)

Foto 8.ª — Aspecto general de la zona de yesos basales plegados. Observar la acumulación de derrubios en el fondo de los barrancos. Vista hacia el Norte desde las proximidades del kilómetro 60 del canal.

(Fotos M. R. Llamas.)

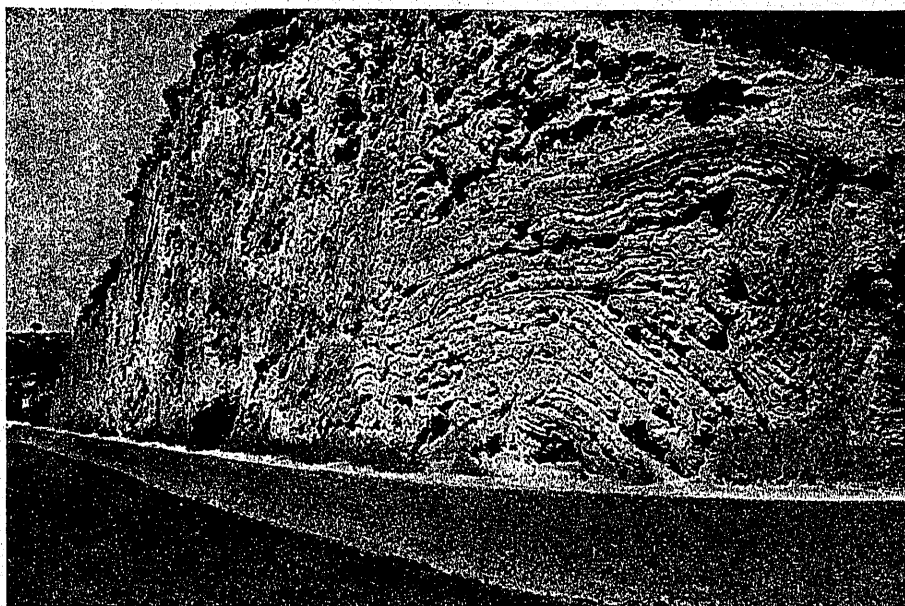
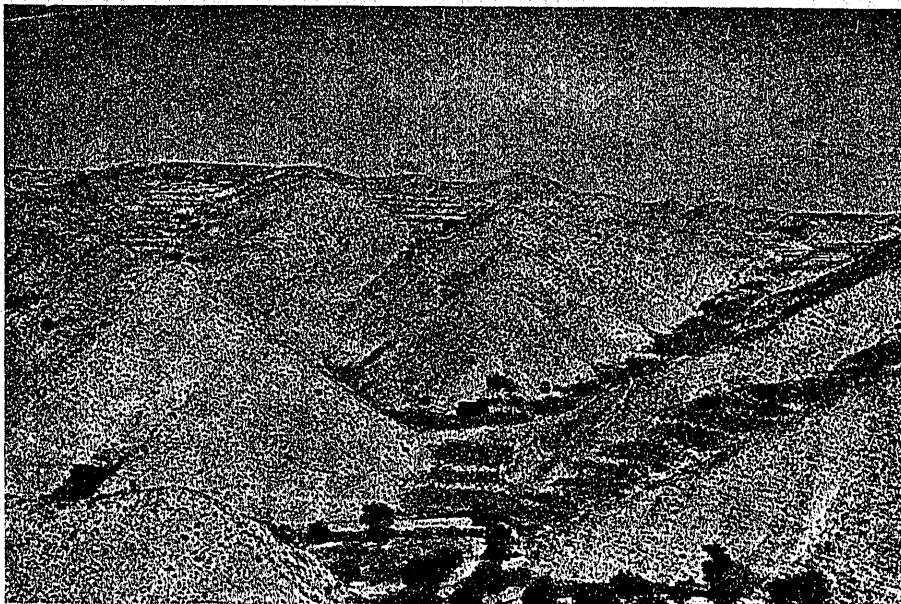


Foto 9. — Detalle de los yesos basales plegados.

Foto 10. — Trinchera en los yesos plegados, kilómetro 24. En los tramos análogos, prácticamente no hay averías.



Cuaternario.

Vamos a dividir el estudio de estos depósitos más recientes en dos apartados. Consideraremos primero las terrazas de los ríos, y en segundo lugar los conos

mas al canal, de los mapas geológicos de las provincias de Huesca y Lérida.

En el Cinca, entre Barbastro y Monzón, se aprecian terrazas de 8 m. de 40 a 45 m., de 60 a 65 m. y de 100 a 115 m. Las dos primeras terrazas han sido

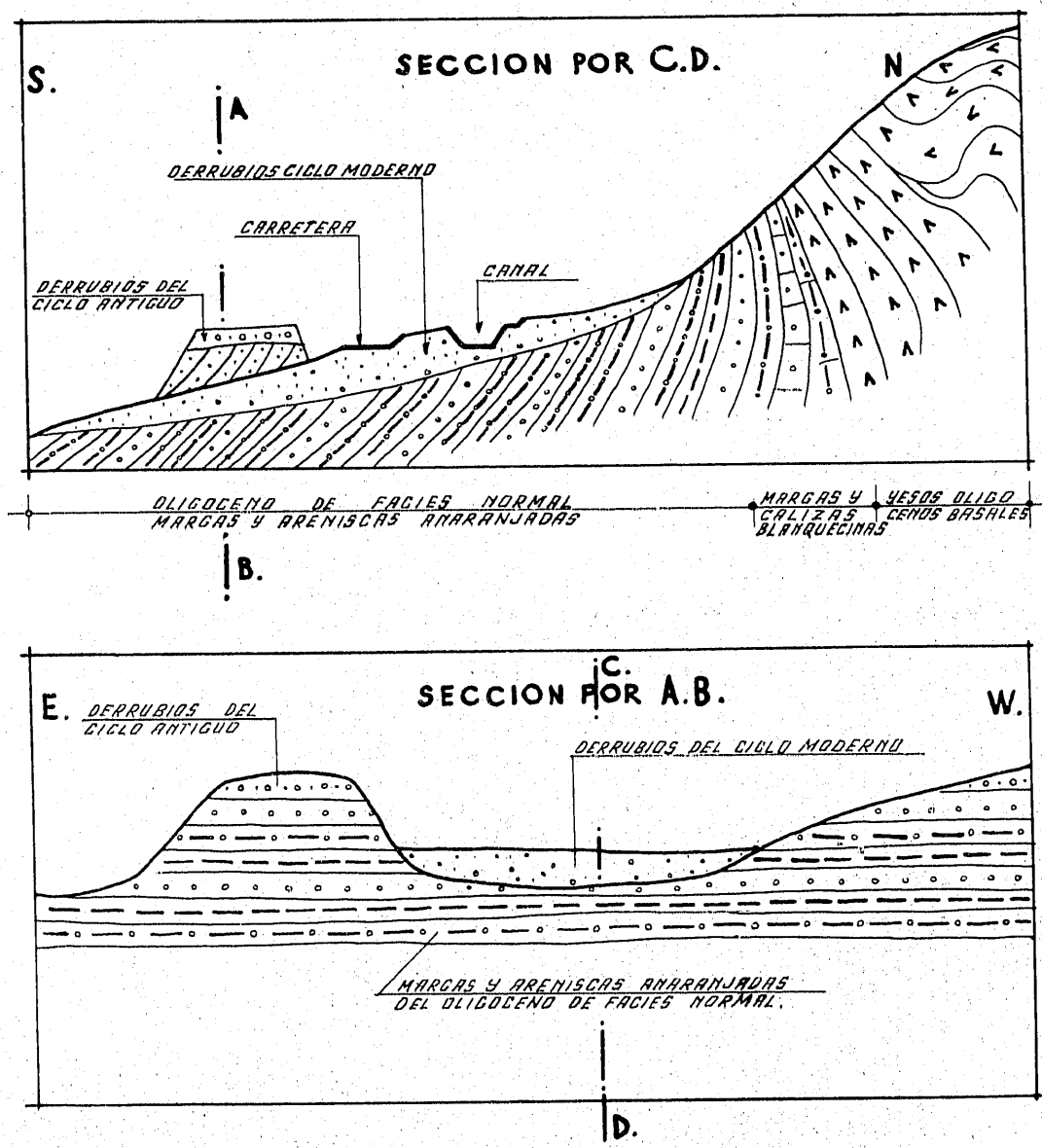


Fig. 9. — Perfiles geológicos correspondientes a la zona de los kilómetros 59-60.

de deyección de los barrancos procedentes de los yesos basales plegados; aunque geológicamente hablando presentan poco interés, son causa de numerosas averías en algunas zonas del canal.

a) *Las terrazas fluviales.* — Las manchas cuaternarias que aparecen en la figura 2.^a han sido tomadas, salvo algunas modificaciones, en las zonas próxi-

cartografiadas con precisión gracias a las fotografías aéreas (fotos 2 y 7) y sus límites pueden verse en las figuras 4.^a y 6.^a.

En la figura 4.^a hemos distinguido solamente entre cuaternario reciente y cuaternario antiguo, pues los depósitos que cubren el Keuper en las proximidades del barranco de Estadilla, son difíciles de correlacio-

nar con las dos terrazas inferiores del Cinca, que aparecen muy claras al Norte y Sur del diapiro, por estar a distintas alturas. Además, por la naturaleza de sus cantos, parecen algo distintas las del Cinca; probablemente se trate de depósitos laterales procedentes de las sierras mesozoicas. Un estudio cuantitativo de los componentes petrográficos de unas y otras graveras podrían aclarar el problema.

Conviene aclarar que aunque el canal, a la salida del túnel número 9, va en cuaternario, según puede verse en la figura 4.^a, en realidad esta situación sólo dura en los 150 primeros metros, pues luego va en trinchera y los depósitos cuaternarios quedan a bastante altura sobre el revestimiento del canal.

En la figura 6.^a puede verse que las dos terrazas inferiores de 8 m. y 40 a 45 m., quedan ya bastante más bajas que el canal, lo cual es lógico si tenemos en cuenta que la pendiente de los canales suele ser siempre inferior a la de los ríos. En esta figura hemos englobado los depósitos cuaternarios más altos que la terraza de 40 a 45 m., con la común denominación de terrazas altas; también, posiblemente en estos depósitos jueguen un papel importante los aportes laterales.

Quizá pudiera pensarse que desviando el trazado un poco hacia el Este se podrían haber evitado los peligrosos yesos, llevando el canal sobre la terraza de 40-45 m., pero esto supondría que el canal tendría que perder unos 60 m. de cota; además, tampoco esta terraza supone un cimiento seguro, pues en ella es frecuente la formación de los clásicos embudos de los terrenos yesíferos. En la foto núm. 2, cerca del kilómetro 30 de la carretera de Albalate a Fonç, puede verse indicado un sumidero.

b) *Los conos de deyección.* — A la salida de los barrancos que provienen del anticlinal yesífero, se suele formar un cono de deyección de unos materiales finos, que los naturales del país llaman "tierra blanca". Su composición granulométrica y química será estudiada en la parte técnica de este trabajo. De momento basta tener en cuenta que son unos materiales extraordinariamente blandos y erosionables y que han sido originados por la meteorización de los estratos yesíferos.

En realidad, estos materiales se encuentran casi exclusivamente en el fondo de los numerosos barrancos que surcan el núcleo anticlinal, pero nos referimos a los que aparecen en los conos de deyección de la vertiente Sur del ya repetidamente citado anticlinal (figura 8.^a), pues en esta zona dichos conos de deyección cubren, aunque sea cual tenue velo, el oligoceno de facies normal e impiden aprovechar las excelentes cualidades de estos materiales como base de sustentación del canal; explicándose de esta manera la aparente anomalía de las frecuentes averías en la zona de Albelda-Coll de Foix.

A pesar de la escasa resistencia a la erosión de los derrubios citados, es frecuente encontrar la tierra blanca a 15 ó 20 m. de altura sobre los tahlwegs ac-

tuales (ver fig. 9.^a), dando testimonio de un ciclo erosivo anterior al actual.

c) *Tectónica.* — Como ya hemos dicho, en toda la zona regada por el Canal de Aragón y Cataluña predominan los materiales en disposición horizontal.

Las cadenas pirenaicas se inician prácticamente con los movimientos de la fase orogénica denominada pirenaica y situada entre el Eoceno superior y el Oligoceno inferior, pero la surrección de esta poderosa cordillera no se efectúa en un solo impulso, sino que las convulsiones orogénicas continúan separadas por períodos de tranquilidad más o menos largos durante casi todo el Oligoceno. Es difícil precisar con detalle los momentos de estos impulsos, porque no parecen producirse simultáneamente en toda la cuenca del Ebro, ni siquiera en una zona relativamente amplia de ella. En Almela y Ríos (1947) pueden verse recopiladas las opiniones de varios autores sobre el predominio de la fase pirenaica o sálica de la provincia de Lérida.

La existencia de desplegamientos posteriores a la fase orogénica pirenaica queda evidenciada, en último término, por la presencia de conglomerados plegados e incluso cabalgados por las calizas luteceñas.

Pero no creemos que seamos nosotros las personas adecuadas para ver de sintetizar las distintas opiniones sobre este complicado problema, y mucho menos en un trabajo en el que estamos estudiando la geología fundamentalmente, como una base para tratar de esclarecer un problema técnico.

A la luz de los trabajos de los autores citados, veamos qué se puede decir de la zona que afecta al canal. Los conglomerados y yesos ligeramente inclinados del Norte de Estada, pueden deber su buzamiento a alguna débil orogenia del Oligoceno medio, puesto que antes los hemos supuesto originados a base de depósitos del Oligoceno inferior.

El diapiro triásico de Estada y Estadilla también es posterior al Oligoceno inferior, pues corta (figuras 3.^a y 4.^a) a los yesos y conglomerados basales. Quizá no sea desacertado suponer que haya sido ocasionado por la reacción de los plásticos materiales del Keuper ante la débil orogenia de que acabamos de hablar.

El anticlinal yesífero que atraviesa el canal entre los kilómetros 20 a 26, presenta un tipo de plegamiento que hace pensar inmediatamente en la tectónica salífera. Los yesos basales afloran en una faja de muchos kilómetros de longitud y hasta cuatro de anchura, cerca de Barbastro. En el núcleo del anticlinal los pliegues son innumerables, y aunque sus direcciones conservan una tendencia general E.-O., sus buzamientos son extraordinariamente variables. (Ver fotografías números 8, 9 y 10.) Solamente en su contacto con el oligoceno de facies normal, que se hace a través de unos bancos de margas calizas blancuecinas, presenta una disposición menos caótica. De todas formas, en algunos puntos, como en Tamarite,

los yesos cabalgan el oligoceno de facies normal. En las zonas por nosotros recorridas se comprueba la asimetría del anticlinal, de la que hablan los autores de la Memoria provincial de Huesca (fig. 7.^a); es decir, que mientras que en el flanco N. del núcleo yesífero las areniscas y margas prácticamente verticales pasan casi inmediatamente a ser horizontales, en el Sur van disminuyendo su buzamiento de una manera más lenta. Por ésta y otra serie de razones que pueden verse en las páginas 195 y 196, suponen Alastrue, Almela y Ríos (1957) que este accidente no obedece a una tectónica análoga a la que produce los

plegamientos en los conglomerados marginales, sino a una tectónica de tipo salino provocada en nuestro caso fundamentalmente por el peso de los estratos suprayacentes a los yesos y por la plasticidad de estas materias y, sobre todo, de las sales ludienses o del Keuper, que suponen inmediatamente Jebajo.

En realidad, el núcleo yesífero de este anticlinal es fácil que continúe moviéndose a semejanza de lo que sucede en las estructuras análogas cortadas por el Segre, en Lérida, cuyas terrazas, deformadas por los movimientos de los yesos, han sido estudiadas por Solé (1955).

(Continuará.)