

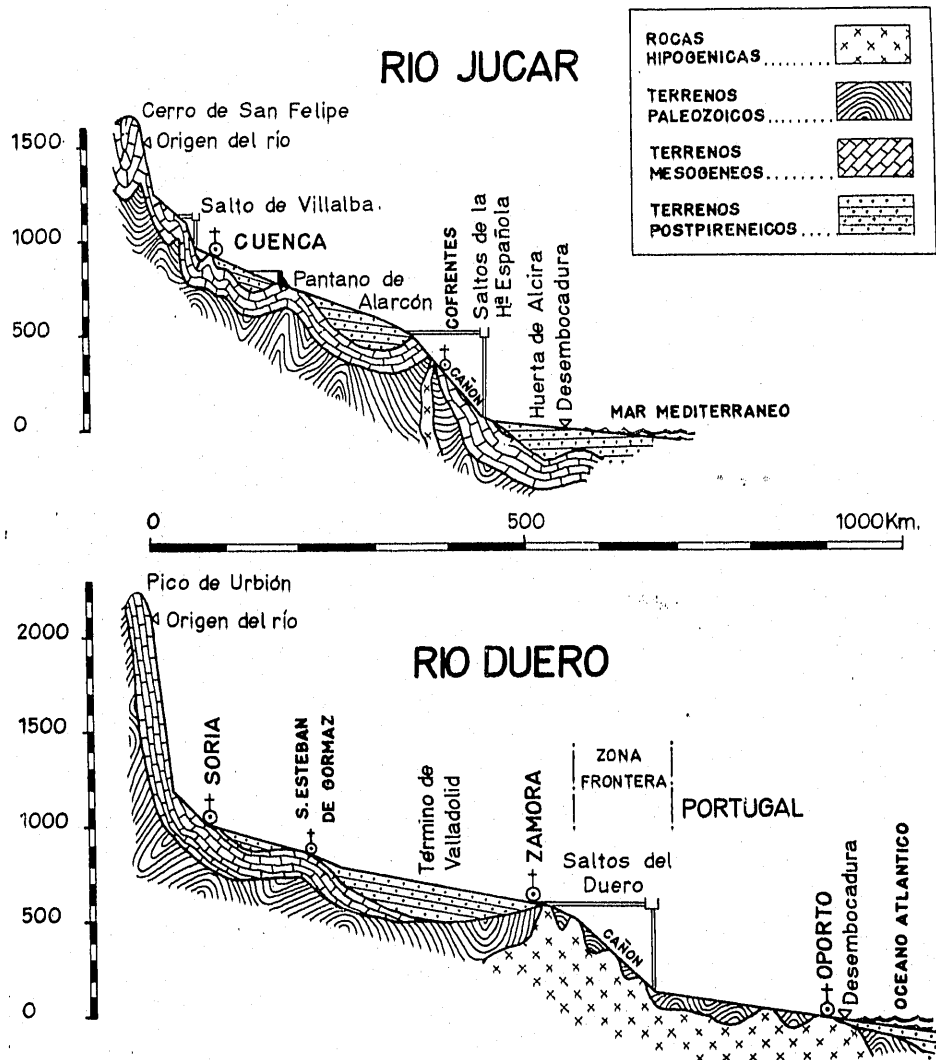
Determinantes geológicas de las grandes presas españolas

Por CLEMENTE SAENZ GARGIA
 Profesor de Geología de la Escuela de Caminos.

Mucho es lo que se ha escrito sobre la relación de las características de las grandes presas de embalse y las particulares geológicas de su emplazamiento, tanto en lo que corresponde a la situación de aquéllas dentro del marco tectónico de un país, como en lo referente a su tipo y estructuras. Mandan, en el primer aspecto, la eficiencia funcional y el destino

de la obra: abastecimiento, riego, producción de energía. En el segundo, las condiciones de resistencia e impermeabilidad del terreno.

Hay tratados enteros y monografías acerca de estos temas, y nosotros mismos los hemos tocado en forma general para nuestro territorio en diversos escritos, a partir de la Memoria que titulamos "Las



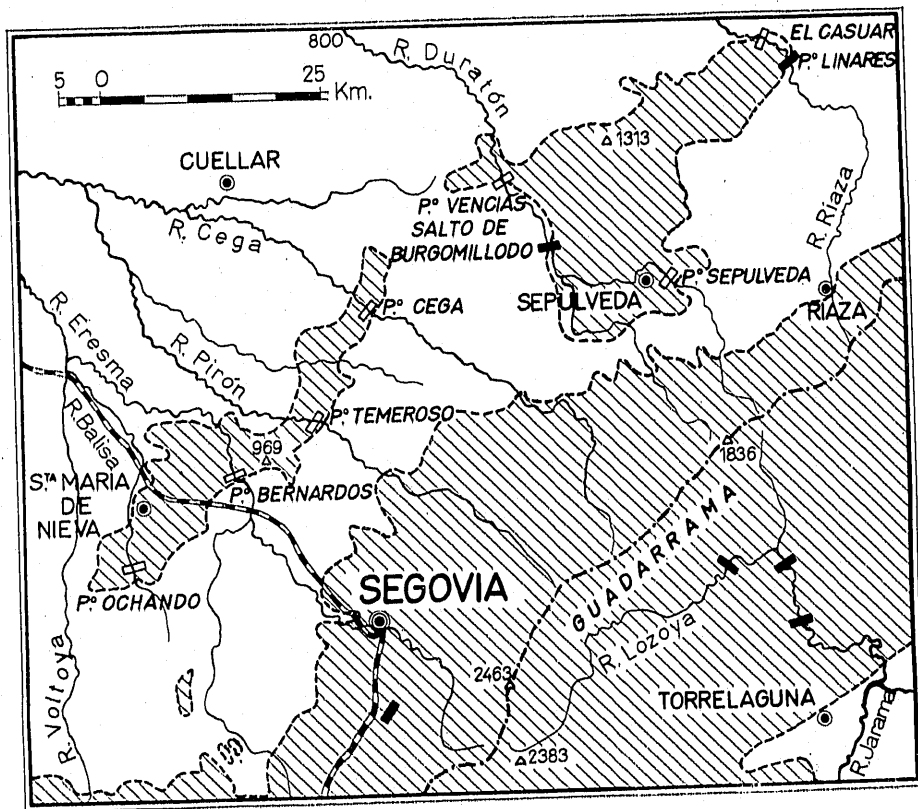
TIPOS TECTONICOS DE CUENCAS ESPAÑOLAS
 Se observan con claridad los dobles ciclos de erosión.

formaciones geológicas de España en relación con el aprovechamiento de sus ríos", aparecida en el tomo segundo de los tres que se dedicaron al Plan de Obras Hidráulicas de 1933.

Quiero recordar una vez más y muy brevemente, sin el análisis de causas que allí se exponían, cómo los ríos españoles (herederos que son en su

de ser hiperbólico simple, y pasa a ser hiperbólico doble, con un escalón intermedio, de suerte que, a las cabeceras torrenciales viene a suceder una llanura; a ésta la reactivación citada de pendiente; y, al final, el tramo, suave y alguna vez navegable, de la desembocadura.

Tales aparecen: el Duero, el Tajo, el Júcar y,



LOS MONTES SUBCARPETANOS DE SEGOVIA Y SUS POSIBILIDADES DE EMBALSE

Rayado: Terrenos antepirenaicos, según las primeras ediciones del Mapa Geológico Nacional.

mayor parte de una topografía endorréica terciaria, de lagos o de "sebjas", a la que han ofrecido, desde el comienzo del Plioceno, desagües arboriformes profundizados activamente en la Era glacial) suelen poseer dos características de que carecen otros ríos centro-europeos, que proceden de golfos o estrechos correspondientes a una paleogeografía marina.

Estas características son: la labra frecuente de cañones angostos y pendientes, transversos a las cordilleras que antaño cerraban sus cuencas, y su distintivo perfil longitudinal que, al descender de la Meseta central o de las cubetas andaluzas sufre un recrudescimiento de pendiente. El referido perfil deja

aun sin cabecera, el Guadiana, el Genil-Guadalquivir y, con características menos pronunciadas, el Ebro, el Llobregat, el Sil-Miño, etc.

Consecuencia inmediata: la factibilidad, por desgracia en muchos casos virtual, de embalsar los ríos caudalosos a la salida de la primera llanura, y de establecer grandes saltos de agua en el escalón.

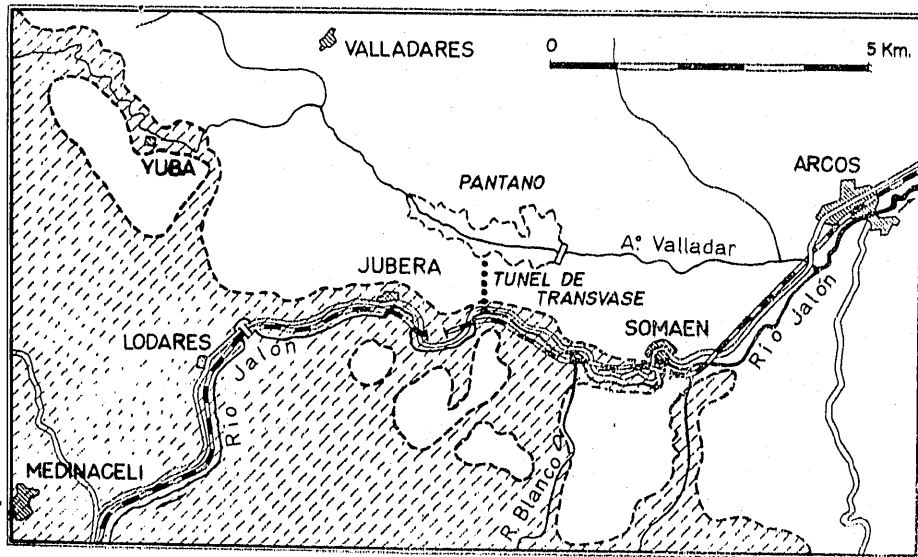
Por lo demás, y refiriéndonos ya a afluentes, dentro de cada cabecera fluvial, abundan otros cañones a obstruir mediante presas y posibilidades de todos los tipos, sin excluir, en las altas montañas, las debidas a un glaciario cuaternario que hoy ha dejado de existir, y que permite explotar las lagunas que nos dejó, mediante recrecimiento y

vaciado, y aun reconstruir las desaparecidas, reproduciendo con fábrica o escollera las morrenas frontales o los viejos cerros roqueros aserrados hoy por los torrentes.

Un método que frecuentemente hemos seguido para buscar, sobre un mapa geológico-hidrográfico de garantía, los emplazamientos de las buenas ubicaciones de presas ha sido el de simplificar el referido mapa unificando en una tinta los abigarrados colorines con que se representan los terrenos anteriores al Oligoceno (antepirenaicos) y en otra los posteriores al Eoceno (postpirenaicos). En general

caso ofrecido por la única posibilidad que hay de regular la cabecera del Jalón, anulada toda otra solución aparente por la presencia del ferrocarril y de la carretera de Madrid a Zaragoza en decurso por las roquedas del Triás inferior, y lograda en el proyecto mediante un transvase directo del río en túnel a un pequeño embalse del afluente arroyo Valladar, embalse que está todavía por construir, y cuya ubicación más baja se intuye a través de una geología miocena.

De la mano con este ejemplo, nos viene el hablar de las muchas oportunidades que pueden ofre-



IDEAS DIRECTRICES DEL PROYECTADO PANTANO DEL VALLADAR
Rayado: Terrenos antepirenaicos. En blanco, los posteriores.

son los primeros "pétreos", con valles angostos y pendientes, y los segundos son "térreos", con valles abiertos y suaves de perfil; cuando un río pasa de estos segundos a los primeros hay, en general, "cerrada" y "vaso", siquiera la geografía humana pueda ser un obstáculo a su aprovechamiento efectivo.

Con un detalle mayor el método puede aplicarse dibujando mapas petrográficos o estratigráficos más concretos, separando, por ejemplo, las margas arcillosas del Lías superior de las "librerías" calcáreas del Lías inferior, los tramos calco-margosos del Supracretácico de las arcosas del Albiense, etc.

Por este procedimiento hemos podido llegar a descubrir, en época en que el Mapa topográfico nacional andaba todavía muy atrasado, algunos embalses de interés, entre los que recordamos el pantano de Mansilla, en la provincia de Logroño, y lugar en donde el río Najerilla transcurre desde el Keuper al Silúrico. Es también particularmente instructivo el

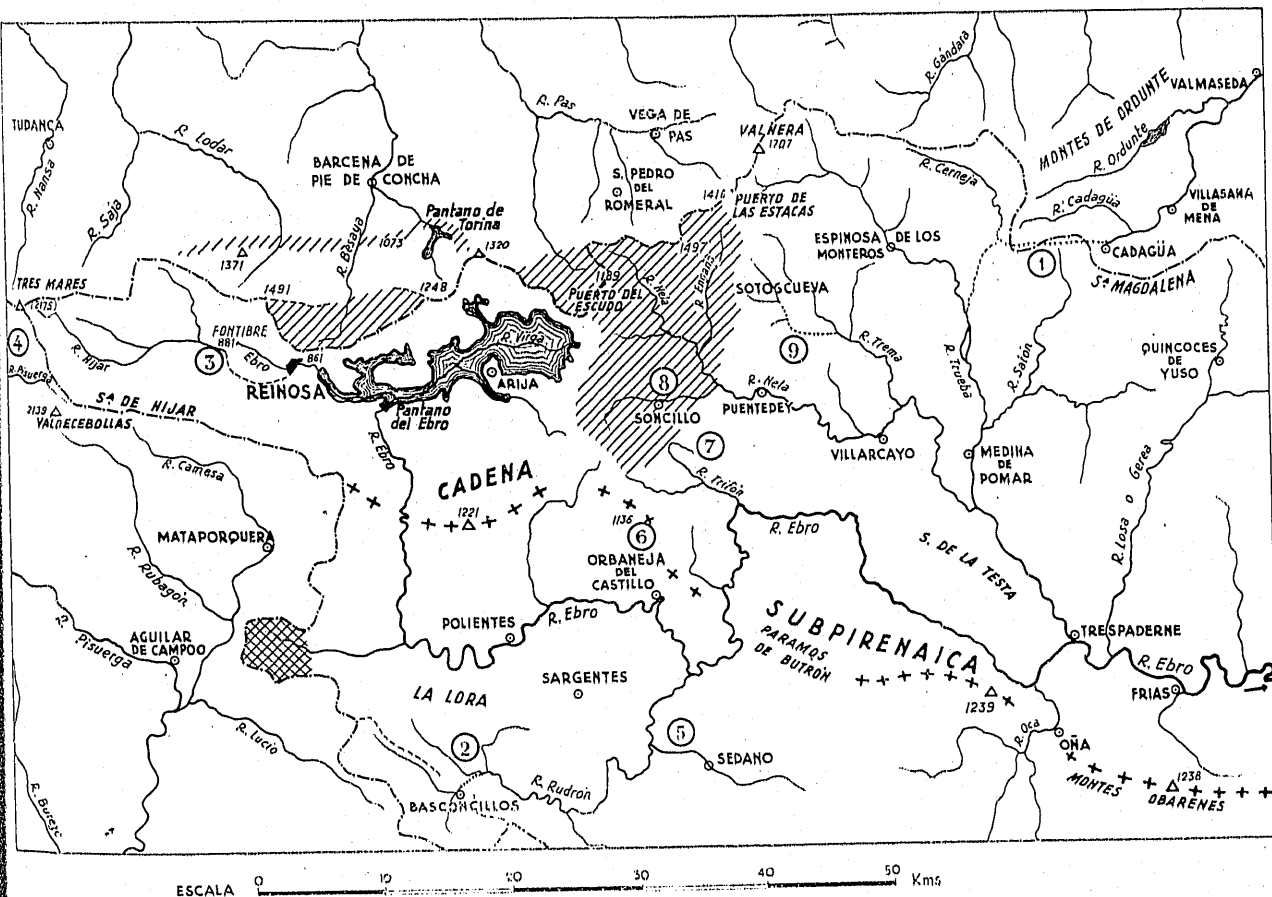
cernos los embalses laterales, en valles diferentes y más secos de los que han de proporcionar el agua. La cartografía geológica, en defecto de la topográfica, es capaz de descubrirlos, como acabamos de ver.

El almacenamiento puede tener lugar como en el caso citado, o como en "González Lacasa" y en "Sotonera", mediante transvase. Directamente lo será cuando esté permitido el construir presas aguas abajo de la confluencia de "alimentador" y "depósito". Y aquí encaja el tratar del caso excepcional de los ríos o arroyos, afluentes de menor pendiente longitudinal que el río colector: Arroyo Virga en el Pantano de cabecera del Ebro; Arroyo Ebrillos en el Pantano de la Cuerda del Pozo, de la cabecera del Duero.

Si un cauce, *V*, antiguamente importante, y como tal de pendiente dulce, y al cual tributaba otro segundo, *E*, con pendiente mayor, ha sido, en las vicisitudes de la Historia de la Tierra, decapitado por un tercero, *N*, habiendo por ello quedado *V* casi

sin recursos propios, cediendo los derechos de primogenitura a E, puede, en muchos casos, darse la circunstancia de ofrecernos V lo que hemos llamado "depósito" y E la nutrición. Las iniciales E y V se refieren al ejemplo precitado del Ebro y el Virga, en el pantano alimentado por el primero, y donde

Problema más circunstanciado es el de cada embalse en particular. La forma topográfica preferente es la "fusiforme", es decir, cerrada estrecha y seguida de un valle ancho, donde suelen concurrir las buenas cualidades geológicas de resistencia en la presa (de emplazamiento rocoso), con la impermeabi-



EMBALSE DEL EBRO EN EL VASO PROPORCIONADO POR EL RIO VIRGA

La cabecera del Ebro ha sido minada en otras épocas geológicas por cuencas adyacentes más bajas (rayado sencillo) y, a su vez, ella ataca al Pisuerga (cuadrícula).

El río Virga, residuario de la primera acción, presenta un valle más ancho y menos pendiente que el colector principal y permite el almacenamiento marginal de éste, creando el gran pantano que lleva su nombre.

Los números se refieren a zonas cársicas y capturas subterráneas en caliza supracretácica, que no son del caso.

el profundo río Nela, N, representa al agente captor, que otro tiempo se apoderara, en batalla de armamento erosivo, de una gran parte de la cabecera, la que debía rendir un importante tributo por los arenales de Arija.

Vigílense, en semejante búsqueda, los collados o "puertos" marcadamente disimétricos de pendiente, como el de Cabañas-Santelices (entre Soncillo y El Escudo) en el ejemplo citado.

* * *

lidad en un vaso (térreo o margoso) de cola larga.

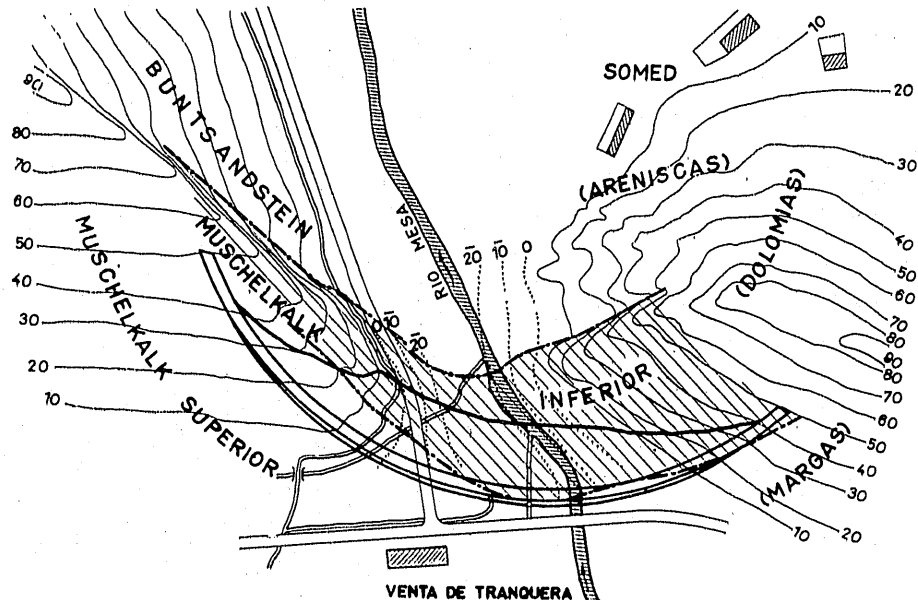
Frente a este tipo hay otro que podíamos llamar "filiforme". Se suele dar en los cañones o congostos, cuando la presa se adentra hacia abajo en ellos. En general, para almacenar un volumen interesante de agua exigen una gran elevación en el dique; tienen, en cambio, la ventaja de requerir pocas expropiaciones, y por ello eran los únicos que primitivamente se construían, antes de que las leyes actuales dieran acogida a la necesidad social de la multiplicación de las obras hidráulicas.

El descrédito de los embalses "filiformes", aparte de su escasa cubicación, ha venido principalmente de la abundancia de los cañones calizos, de vaso totalmente permeable y que son imposibles de utilizar.

Recordamos los fracasos que en nuestra patria, como "pionera" de las grandes presas, la han hecho servir de "conejo de indias" en esta diagnosis, y cómo los hidrogeólogos más famosos han acudido

no tiene lugar *in situ*, sino en la "arborización" fluvial de cabecera, dentro de España. Es de todas formas lamentable que los convenios internacionales no hayan permitido crear allí mismo un gran almacenamiento hidráulico, levantando alguna presa de 200 ó 300 metros de altura en terreno prácticamente monolítico y de mejor calidad que las ubicaciones de los grandes records que conocemos.

Insistimos de nuevo en las ventajas de los va-



TANTEO PRIMITIVO DEL PANTANO DE LA TRANQUERA

La obra cubría totalmente la zona calcárea permeable de buzamiento hacia aguas arriba. Por conveniencia de recoger nuevas aportaciones, ha sido sustituida por otra presa sita algunos kilómetros abajo.

a España para sentar en experiencia las doctrinas que acerca de la materia inscriben en sus textos. Los nombres propios de unas y de otros son bien conocidos.

La observación casera ha servido a los españoles para evitar nuevos tropiezos. Podríamos citar ejemplos como la presa del Casuar, en el río Linares (provincia de Segovia), la cual no se ha construido en el cañón calizo en que se pensaba, sino que ha sido desplazada aguas arriba varios kilómetros, consiguiendo, aun a costa de inundar el pueblo de Linares y de trasladar una joya artística entera (las pinturas románicas de Maderuelo, hoy en el Museo del Prado), un gran éxito técnico y económico.

En congostos graníticos impermeables y por circunstancias no solamente técnicas, se erigen los dos embalses de Saucelle y Aldeadávila dentro del cañón fronterizo del Duero, precedidos de las tres obras del llamado "tramo portugués". Se trata de importantísimos saltos de agua, cuya regularización

los "fusiformes", pero bien se puede prever que, una vez agotados, haya que volver a los "filiformes" en las cabeceras de nuestros ríos, lo que será facilitado en su día por el constante progreso de la técnica de las presas altas, derivada esta vez de las necesidades surgidas en las regiones alpinas.

* * *

El tipo de la obra a emplear en cada caso depende en mucho de las características geológicas de la cerrada. Como norma general (con excepciones) puede aplicarse el criterio de reconstruir en cierta manera lo que la erosión se llevó por delante al tallar el valle: en los estrechamientos (siempre relativos) de los terrenos arcillosos o friables están indicadas presas de "tierra" o de "escollera"; la "fábrica" debe reservarse para suplir a la piedra.

Dentro del último caso, la elección del tipo es cuestión en que juega, con la topografía, la resisten-

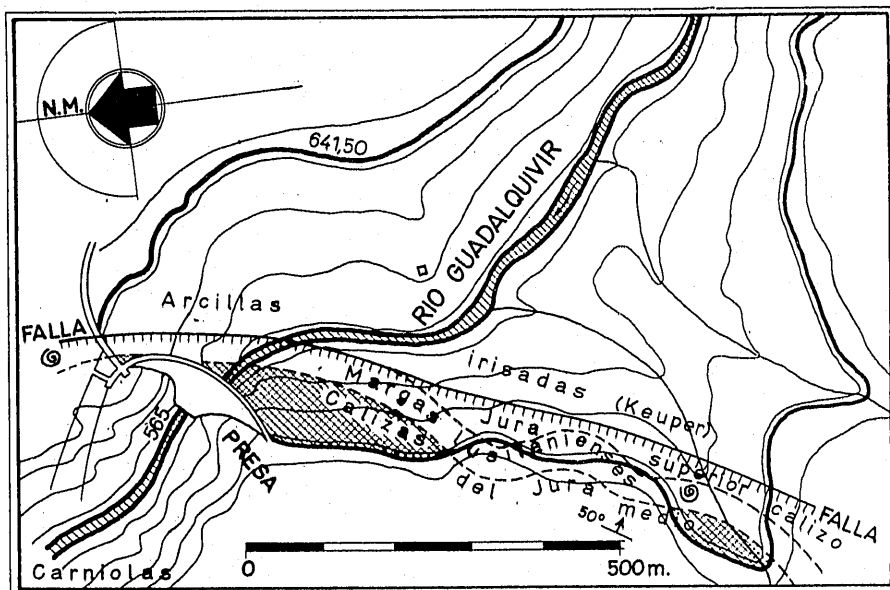
cia de la roca y en especial cuando de presas "bóvedas" se trata.

En los proyectos con perfil de gravedad, la forma en planta se relaciona con la marcha de las capas. Una restinga rocosa de buzamiento vertical y dirección normal al río, se cubre adecuadamente mediante una presa recta. Una estratificación, también transversa, pero de fuerte inclinación hacia aguas arriba, se circunscribe mejor con una planta curva.

son más reducidos y su corrección menos gravosa.

Cuando el buzamiento de las capas filtrantes tiene lugar hacia aguas abajo, pueden también presentarse frontones triangulares a calafatear o inyectar, siendo la presa inevitablemente de planta recta, para no darla curvatura inconveniente. Así ha ocurrido en el pantano de Bornos (río Guadalete), cuya obra encaja en una acantilada tolva de molasas burdigalienses.

Si los bancos o paquetes de la roca caliza de un



TRANCO DE BEAS: ENCAJE DE LA PRESA

La obra, en la embocadura del cañón, se curva para cubrir la mayor superficie de caliza. Ello no ha evitado la impermeabilización complementaria de la zona rayada.

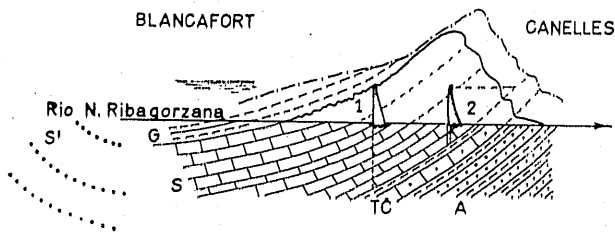
Los buzamientos "al hilo" del cauce, sobre todo los muy verticales, deben de ser atendidos con vistas a la evitación de fugas longitudinales, cuidando las inyecciones, y ser estudiada la variabilidad de los coeficientes de elasticidad a lo ancho del valle. La estratificación horizontal exige la prolongación lateral de las pantallas.

Especial cuidado requiere el paso de un paquete transversal calizo sito del lado de abajo, al margoso o arcilloso de aguas arriba. Conviene procurar que la presa se apoye entonces en la roca resistente y permeable, y que se ciña lo más posible el paramento mojado a la línea de contacto, cubriendo con fábrica las demasías calcáreas o impermeabilizándolas por inyección de cemento. Este criterio se ha aplicado con pleno éxito a muchas presas españolas, mereciendo citarse en especial la del Tranco de Beas sobre el Guadalquivir, donde el tratamiento de las aletas llegó a adquirir bastante importancia. En bocinas más cerradas, como las de Barasona (río Esera) y Mediano (río Cinca), los respaldos calizos

emplazamiento se atraviesan por la corriente fluvial con cierta verticalidad y alternan con otros, que incluso pueden ser delgados, de naturaleza margosa, la impermeabilidad se hace prácticamente perfecta. Tal acontece en Escales (Noguera-Ribagorzana) y esperamos que ocurra en Jánovas (río Ara).

Creemos también dignos de señalar los casos en que la pantalla de inyecciones debe de situarse del lado de abajo para cortar la salida, y no la entrada, de las fugas de agua en el terreno. Una serie caliza muy potente que buce contra el curso, y que se halle empaquetada entre dos formaciones margosas, puede presentar, al comienzo del portillo por ella constituido, un trasdós muy extenso y carsificado. Cabe entonces que, a la salida y con apoyo de la base en el límite de la marga inferior, convenga erigir la presa, probablemente ésta de forma curva, y se presenta el problema de obstruir las diaclasas de los dos paredones en que, a derecha e izquierda, se abrirá el congosto: sendos triángulos de inyección, limitados por el yacente y por la cota de embalse.

Este es el tema de las calizas campanienses de Canelles (Noguera-Ribagorzana), y lo será muy pronto de la presa, también muy elevada, del pantano de Contreras (río Cabriel), que se está empezando a



ELECCION DEL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA DE CANELLES

Las calizas senonenses, *S*, constitutivas del congreso, tienen un alto grado de carsificación y se hallan empaquetadas entre las margas garumnenses, *G*, y las margo-calizas turónico-cenomanenses *TC*, reforzadas por las areniscas y arcillas albienses, *A*.

El emplazamiento superior 1 está respaldado por un lapiaz de mucha superficie y requeriría una pantalla profunda e ineficaz contra las fugas producidas en el flanco sinclinal *S'*. El emplazamiento inferior, con la impermeabilización de la zona 2, no posee semejantes desventajas.

construir, y que encaja en las dolomías invertidas del Dogger.

* * *

Mucho, muchísimo más podríamos seguir escribiendo acerca de estos temas a los que, en conjugación con el profesorado, venimos dedicando casi por entero nuestra ya larga vida profesional de cuarenta

años. Pero no pretendemos ahora componer un libro, sino redactar una breve nota o artículo respondiendo a un programa que nos ha sido fijado y cuya confianza agradecemos.

El autor se ve obligado a terminar, pero no quiere dejar de hacerlo sin dar a conocer la labor de equipo de un servicio estatal de que forma parte y que, hacia 1927, creara el nunca suficientemente alabado Ministro de Fomento D. Rafael Benjumea, Conde de Guadalhorce; la titulada Asesoría Geológica del Ministerio de Obras Públicas.

En España, y esto se desconoce fuera de ella y aun en ella, se han construido o proyectado en el transcurso de medio siglo varios centenares de grandes presas, en número no superado sino por los Estados Unidos. El organismo que geológicamente los ha atendido posee una acaudalada experiencia en su cometido, de la que puede afirmarse, sin temor a errar, que difícilmente habrá superación en países del planeta de mucha mayor extensión superficial.

Tal vez parezca esta afirmación una jactancia, y no la hiciéramos si de nuestra labor personal, muy pequeña dentro de la institución, se tratara, pero no podemos menos de mostrar el orgullo de pertenecer a ella, porque de orgullo nacional se trata, y bien quisiéramos que se invitase, por quien proceda y a quienes de otros países interese, a conocerla y a conocer, además y sobre todo, la inmensa, la inigualada, la increíble labor de los Ingenieros de Caminos españoles, que, en silencio y con modestia, han plasmado, con sus proyectos y sus obras, una realidad en la que una nación, naturalmente pobre, cifra halagüeña su esperanza en un porvenir muy próximo.