

El contacto de las obras con el terreno^(*)

Por C. DUELO TOPETE

Doctor Ingeniero C. C. P.
Vocal del Comité Nacional Español de Grandes Presas

El conocimiento del terreno es fundamental en todo tipo de obras de infraestructura. En el artículo se comenta la incidencia de dicho conocimiento en el proyecto y construcción de obras públicas, con experiencias recientes, así como la necesidad de que los estudios geotécnicos se realicen con anterioridad a la contratación de dichas obras.

Normalmente, las mayores dificultades y sorpresas en la ejecución de las obras se encuentran en su contacto con el terreno. Esto es debido a que la tecnología de la investigación de los terrenos está bastante más retrasada que la del cálculo y ejecución de las estructuras. Por eso es conocido el dicho de que «obra cimentada es obra terminada».

La investigación del terreno, partiendo del análisis geológico —sobre el que volveremos más adelante—, dispone actualmente de diversos procedimientos, como son: los sondeos mecánicos con o sin obtención de testigo; los registros geofísicos de los propios sondeos; la prospección sísmica o eléctrica, que nos proporciona datos sobre parámetros característicos de las distintas capas cuya interpretación es fundamentalmente cualitativa, incluso cuando se han establecido correlaciones con sondeos mecánicos próximos.

Asimismo, se pueden hacer calicatas, pozos o galerías de reconocimiento, entrando en el terreno y realizando *in situ* diferentes tipos de pruebas y ensayos para determinar sus características en diversos puntos.

Tanto los testigos procedentes de los sondeos mecánicos como las muestras obtenidas de las galerías o pozos se pueden ensayar en la

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de octubre de 1983.

laboratorio para obtener las características químicas y mecánicas de estos materiales.

Naturalmente, antes y durante estas investigaciones se debe realizar un estudio geológico de la zona y de sus accidentes, tanto en superficie como en profundidad, observando los posibles pozos, galerías o calicatas y estudiando los datos de los sondeos sísmicos o eléctricos.

Con todo ello podemos llegar a tener un conocimiento bastante amplio de la naturaleza, formación, características y, posiblemente, de los principales accidentes del terreno, tales como plegamientos, fallas y zonas más o menos resistentes, pero evidentemente no lo conocemos palmo a palmo, como podemos decir de las estructuras si están correctamente proyectadas y ejecutadas.

Es claro que en obras importantes es imprescindible realizar todas estas investigaciones con la mayor amplitud posible, ya que ello nos puede evitar importantes sorpresas, y de esta forma contar con todos los factores detectados a la hora de redactar el proyecto de la obra.

En muchas ocasiones ocurre que estas investigaciones o no se hacen o se hacen de una forma muy somera, por diversos motivos, y otras contienen errores de interpretación por no haberse realizado con el cuidado y la tecnología adecuada. En cualquier caso, el estudio serio del terreno es condición necesaria, aunque no

siempre suficiente para prever el comportamiento del contacto suelo-estructura.

Como complemento a cuanto hemos indicado hasta ahora podemos decir, sobre diversos tipos de obras, a título de ejemplo:

Los túneles son, evidentemente, las obras que tienen un mayor contacto con el terreno, y de ahí que son las que pueden presentar el mayor número de sorpresas e inconvenientes en su construcción. Por ello, necesitan la mayor atención en cuanto a la investigación del terreno por el que van a discurrir. Sin embargo, en aquellos túneles de cierta longitud y cobertura, donde no se pueden realizar sondeos mecánicos o galerías por ser muy contosos, estos reconocimientos son difíciles de hacer.

En estos casos hay que conformarse con algunos sondeos, el estudio geológico de superficie, los sondeos sísmicos y eléctricos y quizá con alguna galería lateral, que luego puede servir de ataque para la construcción. Esto es mucho más que nada, pero, evidentemente, seguimos sin conocer el terreno palmo a palmo.

Aun cuando se pueda hacer una galería piloto de reconocimiento (siempre situada donde no produzca decompresiones que luego puedan producir inconvenientes) y realizar todos los ensayos antes indicados, podemos tener una idea de la naturaleza y características generales del terreno pero, en muchas ocasiones, no sabemos su comportamiento al pasar de una luz de metro y medio, que pueda tener la galería, a los ocho o diez que pueda tener la sección definitiva. Es decir, no es posible prever las toneladas de cerchas y *lagging* que pueda necesitar para su sostenimiento con la última sección, y, naturalmente, menos si no contamos con la galería ni con un amplio reconocimiento externo.

En los túneles urbanos, como pueden ser los del metropolitano, es claro que además de cuanto hemos dicho sobre la geología hay que conocer los «accidentes» no naturales, propios de una ciudad, tales como las cimentaciones de edificios o estructuras, los servicios de agua, gas, teléfono, electricidad, colectores, etc., que están enterrados, y que también es preciso conocer su situación y posible comportamiento ante la realización de la obra subterránea.

Con los modernos procedimientos de ejecución de los túneles es necesario contar con la mayor información posible del «comportamiento» del terreno, ya que de ello depende la forma de planificar estos medios, pues puede presuponerse, por ejemplo, que la roca se mantiene en su mayor parte sin sostenimiento y programarse una ejecución rápida, con costosos equipos, que, a la hora de la verdad, puede ocasionar paralizaciones por la aparición imprevista de accidentes que, si no se detectan previamente y se les da el tratamiento adecuado, pueden durar hasta meses, con la consiguiente repercusión económica.

La cimentación de una presa, especialmente si es de hormigón, también puede presentar importantes problemas, por lo que hemos recomendado en varias ocasiones que, en terrenos complejos, además de la campaña de sondeos mecánicos, sísmicos o eléctricos y de un detenido estudio geológico, y una vez situada la presa en primera aproximación, se realice una excavación previa con anterioridad al comienzo de la obra, e incluso con contrato independiente, a fin de extraer la tierra vegetal, el terreno movido e, incluso, una primera parte de la roca descompuesta, a fin de poder determinar las calidades de la roca y detectar sus fallas y accidentes, para, de esta forma, poder proyectar la geometría de la excavación definitiva y así tratar que esta última se realice de una sola vez y no en varias pasadas, como ha sucedido en muchas ocasiones, con grandes perjuicios económicos y de plazo, que en definitiva también lo son.

Realizar esta preexcavación también es costoso, pero lo es mucho más si en plena excavación aparecen accidentes, tipos de terreno o diaclasas que alargan el plazo programado para la excavación, retrasando el comienzo del hormigonado, con toda la instalación auxiliar montada y sus equipos humanos a la espera de que se termine de excavar. Peor aún es el caso, que en algunas ocasiones se ha dado, de comenzar a hormigonar los estribos sin conocer el terreno que existe en el cauce.

Como ejemplo de lo que puede llegar a suceder por falta de la debida información del terreno de cimentación de una presa podemos indicar que visitamos una presa bóveda, de unos

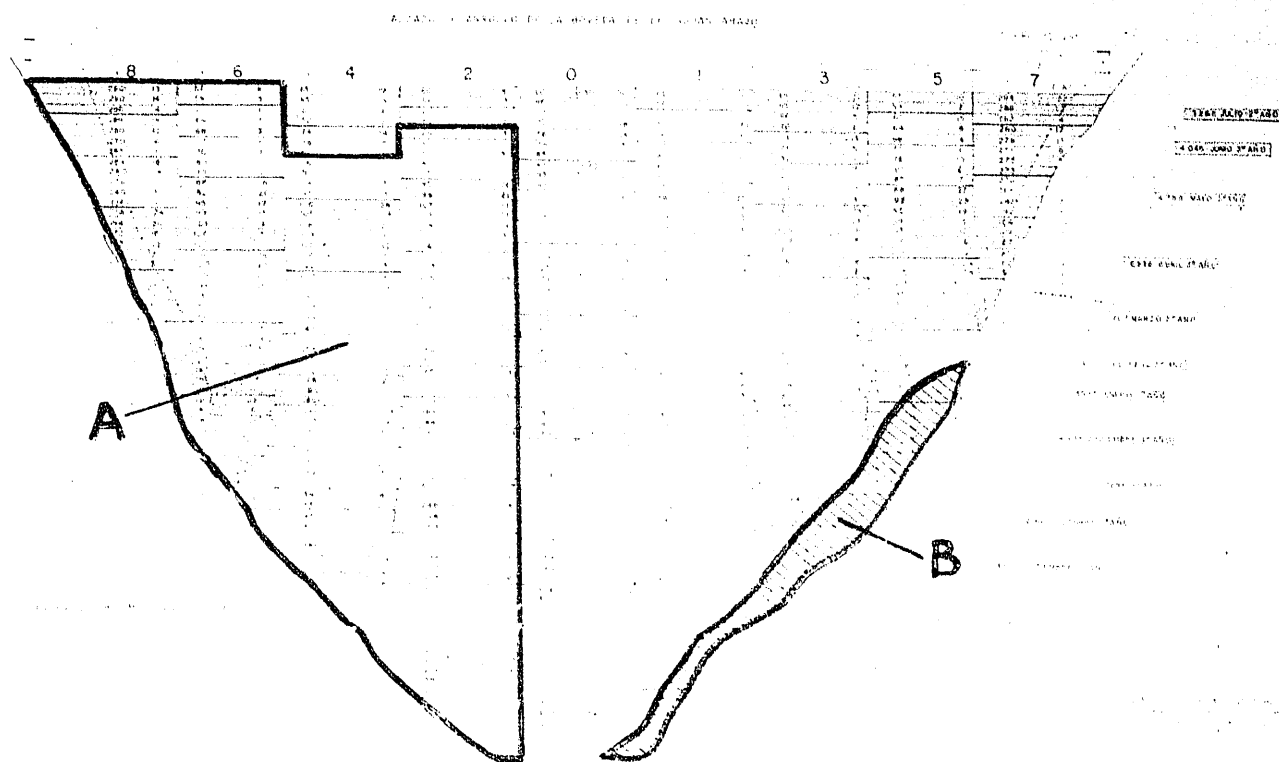


Figura esquemática 1

A: Parte hormigonada. B: Zona en excavación.

100 metros de altura, en un país europeo, en la que estaba media presa prácticamente hormigonada hasta coronación y la otra mitad sin cimentar, debido a haber aparecido una serie de accidentes imprevistos que hacían que parte del cauce y la ladera correspondiente se encontraran en plena excavación.

Con independencia de los intentos que se vienen realizando para el hormigonado continuo (*), que aún creemos está lejos de imponerse, la técnica generalizada en la ejecución de las presas de hormigón, con las características del cemento del que hasta la fecha disponemos, es la del hormigonado por bloques formados por juntas transversales y, a veces, también longitudinales, cuando las dimensiones de los bloques resultantes pueden producir grietas por calor de fraguado, retracción y temperaturas diferenciales.

(*) Ultimamente se ha realizado en Oregón la presa de Willow Creek, de 52 metros de altura, con un procedimiento continuo (Rollcrete).

Por otra parte, el problema de la eliminación del calor del fraguado obliga, también, a que el hormigonado de cada bloque se haga por tongadas de hasta tres metros de altura en una jornada y, además, que se dejen pasar entre dos y tres días, como mínimo, para reanudar el hormigonado en el mismo bloque.

Si el plan de hormigonado estaba correctamente previsto (según expusimos en el artículo «Plan de hormigonado de presa», en la *Revista de Obras Públicas* correspondiente al Congreso de Grandes Presas de Edimburgo), resulta aproximadamente que la duración del hormigonado de la presa debe de ser de $n(1 + d)$ días, siendo n el número de tongadas del bloque más alto y d el número de días que hay que prever entre el hormigonado de una tongada y la inferior. Por tanto, en el caso que exponemos, el tiempo de hormigonado resulta del doble del previsto, al ser el bloque contiguo prácticamente de la misma altura y tenerse que hormigonar sucesivamente y no simultáneamente.

Esto trae como consecuencia que toda la instalación de cantera de machaqueo y clasificación de áridos y de puesta en obra del hormigón (blondines, grúas, etc.), así como el correspondiente personal de funcionamiento y mantenimiento de estas instalaciones y de extendido y vibrado, han de permanecer en obra prácticamente el doble de tiempo, con el consiguiente importante encarecimiento de la obra.

Este ejemplo fue presentado por nosotros en el «IX Congreso Internacional de Grandes Presas», y puede verse expuesto con mayor amplitud en el correspondiente volumen VI (*Comptes Rendus*), en su Q. 32, página 187.

Otro caso que podemos citar como ejemplo de las sorpresas que nos puede dar el terreno de cimentación es el correspondiente al proyecto de una presa de gravedad en el que se habían realizado unos cuantos sondeos, con tan mala fortuna que parecía deducirse de ellos que todo el terreno estaba constituido por un macizo de arenisca, con sólo algunas lentejas de arcilla sin importancia, incluso se veía aflorar la arenisca claramente entre los derrubios de la cerrada.

La realidad era que el terreno estaba formado por una alternancia subvertical de arenisca y arcilla compresible, cosa que se descubrió al comenzar las excavaciones y limpiar la capa de derrubios.

Ello dio lugar a tener que cambiar el tipo de presa, sustituyendo la inicial de hormigón por otra de materiales sueltos, ya que, evidente-

mente, el terreno no admitía la adopción de una estructura rígida debido a la posibilidad de los asentamientos diferenciales que podían producir el agrietamiento de los bloques de hormigón.

Naturalmente, esto dio lugar a una paralización de las obras y al abandono de parte de las instalaciones auxiliares, ya en montaje para la primera solución, con la consiguiente repercusión económica.

Por todo esto, ya hemos dicho antes que recomendamos la limpieza del terreno de la cerrada previamente a la licitación de la obra y a la redacción definitiva del proyecto.

Cosa similar expuso el ingeniero italiano Claudio Marcello, en el «VII Congreso Internacional de Grandes Presas» (volumen III, Q. 26, página 79), cuando se encontró con una geología similar a la que acabamos de describir, en la presa del Pozillo, y que, además, «por no disponer cerca de cantidades suficientes de materiales aptos para la construcción de una presa de tierra o de escollera», la proyectó con bloques sueltos de hormigón, «cuya disposición asegura una perfecta adaptabilidad a los asentamientos diferenciales de la fundación».

Naturalmente que podríamos citar un gran número de problemas presentados por la cimentación de las presas, pero creemos que el lector ya se puede dar perfectamente cuenta de la gran influencia que puede llegar a tener en el desarrollo del proyecto, la construcción y la explotación de estas obras.

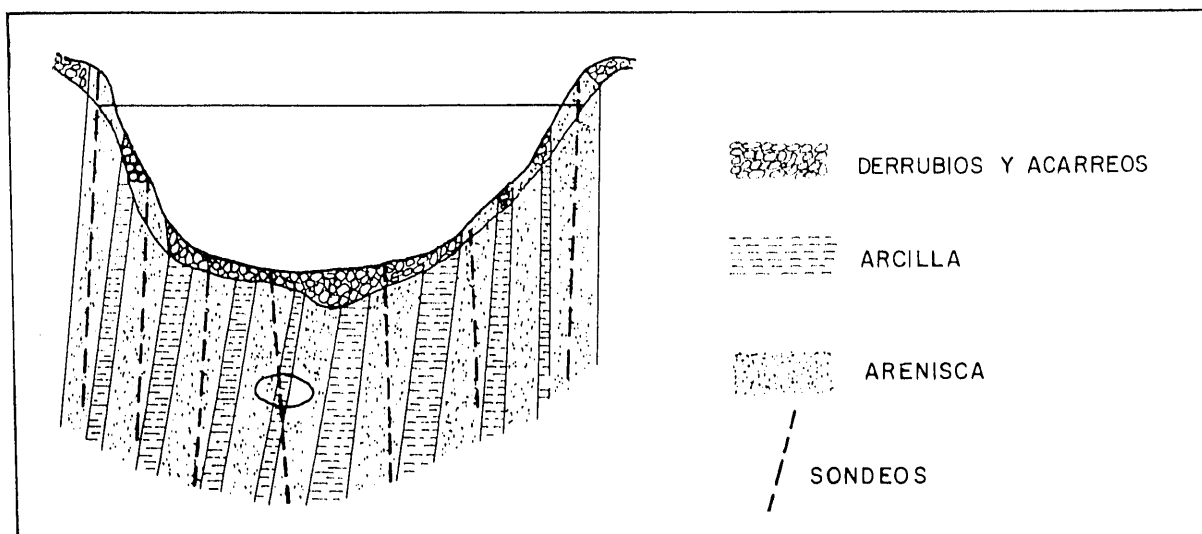


Figura esquemática 2

EL CONTACTO DE LAS OBRAS CON EL TERRENO

Los dragados son realmente excavaciones submarinas y, por tanto, están en completo contacto con el terreno, con el inconveniente adicional de que tienen una importante cantidad de agua encima.

A todos los problemas indicados anteriormente que pueden producirse en los trabajos de investigación del terreno, en este tipo de obras se añaden las dificultades propias de tener que efectuar los reconocimientos en el mar, con los inconvenientes del empleo de medios flotantes para la sustentación de las máquinas de sondeo o el empleo de plataformas autoelevables, que son costosas.

Los sondeos sísmicos y eléctricos son más fáciles de realizar, pues para ello basta instalar los equipos en una embarcación, pero no nos dan más que una indicación de que existen diferentes capas de terreno, sin llegar nunca a saber exactamente qué características tienen.

Cuando se emplea el primero de estos procedimientos, se pueden sacar conclusiones erróneas, pues una roca de cierta entidad puede aparecer como arena debido al movimiento de la embarcación sobre la que está la sonda.

Todos estos trabajos de investigación son, por tanto, aún más caros que los análogos que pudieran efectuarse en tierra, siendo, por otra parte, de aplicación cuanto venimos diciendo en cuanto a su suficiencia.

Si a las dificultades propias de los trabajos de dragado, por tener que emplear medios flotantes para su ejecución, añadimos el desconocimiento del terreno a excavar, las consecuencias pueden ser económicamente muy importantes, toda vez que la maquinaria empleada en ellos (dragas de rosario, gánguiles, dragas de cortador con sus equipos de tubería flotante y de tierra, dragas autoportantes, etc.) es de un coste muy elevado. Resulta, pues, fundamental aquilatar el tiempo de permanencia de dichos equipos en la obra y, para ello, es preciso conocer con la mayor exactitud posible el terreno a excavar.

En todos los trabajos de dragado, una vez determinado el tipo de draga a emplear (que naturalmente depende, entre otros factores, del tipo de terreno), y para las mismas condiciones geométricas de la excavación, anchura de las calles,

cota de dragado, espesor del tajo, etc., los rendimientos de las dragas dependen exclusivamente del tipo del material a extraer, por lo que sin un conocimiento amplio del terreno no podemos determinar el tiempo de duración del trabajo y, como consecuencia, el coste total de la obra.

El coste de extracción de los distintos materiales es inversamente proporcional de los rendimientos obtenidos, y directamente a los desgastes de los elementos móviles de las dragas, particularmente aquéllos que han de estar en contacto con el terreno. Por otra parte, se pueden encontrar terrenos imprevistos muy duros que pueden necesitar de voladuras y, posteriormente, medios de extracción tampoco previstos.

Esto se confirma por todos los estudios especializados sobre estos temas, y como ejemplo damos un cuadro confeccionado por A. D. Bates: «Soils investigations for dredging Works», *Dredging and Port Construction*, octubre de 1978, página 27, en el que se relaciona el factor de coste estimado con el tipo de material a extraer.

Factor de coste	Materiales
1	Fango
1,30 a 2,00	Arena
2,70 a 3,50	Grava de tamaño medio
2,70 a 3,50	Grava gruesa
	Arcilla dura
3,50 a 4,00	Margas
	Arcillas muy duras
6,00 a 10,00	Roca blanda
15,00 a 25,00	Roca dura

En el caso del fango o de las arenas, también influye mucho en el coste su granulometría, y en las rocas, su estructura, abrasividad, módulo elástico y resistencia a la compresión.

Es claro que sin un conocimiento adecuado de los distintos terrenos objeto del dragado es auténticamente difícil elegir el medio más idóneo y, como consecuencia, prever el valor de las obras a ejecutar, que, como decimos, puede

variar de uno a 25 si no conocemos con la correspondiente aproximación los tipos y formación del terreno, y mucho más si se nos presentan terrenos más duros, no previstos, que incluso nos pueden hacer cambiar de sistema de ejecución y hasta de tipo de draga.

También podríamos hablar de las cimentaciones de los puentes, de las centrales eléctricas, de los edificios, de los taludes, de las trincheras de las vías de comunicación, de las canteras para la obtención de áridos o de escollera de clase para los puertos, etc., y, en general, de toda aquella parte de obra que tiene contacto con el terreno.

Como resumen de cuanto hemos expuesto, se deduce la gran importancia que puede tener el conocimiento del subsuelo con el que va a estar en contacto la obra, y las grandes distorsiones que pueden producirse en el desarrollo de la planificación de su realización, caso de producirse sorpresas en la cimentación, que pueden dar como consecuencia importantes encarecimientos de los costos de ejecución.

Por todo ello, parece imprescindible que los proyectos de las obras estén apoyados con un buen conocimiento del terreno en el que la estructura se va a cimentar o va a estar en contacto, y que este conocimiento o estudio geológico sea puesto a disposición de los constructores que licitan la obra, a fin de contar con ello para

el correcto estudio de su planificación y cálculo de los costes previsibles.

También parece normal que esta información sea contractual y no sólo a título de indicación, sin responsabilidad económica para la Administración o propiedad dadas las grandes repercusiones técnico-económicas que puede tener. Estimamos que el constructor debe correr el riesgo de realizar la obra con una correcta planificación, montaje y productividad, pero no parece adecuado que tome la responsabilidad de lo que pueda surgir en un terreno complejo, desconocido o, peor aún, con una información geológica somera y posiblemente errónea, como un simple azar.

Hay que tener presente, por otro lado, que normalmente los concursos o licitaciones de cualquier tipo tienen un plazo muy corto en el que, de un lado, no hay tiempo para realizar un reconocimiento geológico adecuado y, de otro, que estos reconocimientos son caros y que no pueden ser realizados por todos los concursantes, lo que significaría, además, un gasto repetido, sin posibilidad de ser asumido por los constructores en la mayoría de los casos.

Parece lógico que este gasto se realice una sola vez, por la Administración o propiedad, y que el correspondiente estudio sea facilitado a todos los licitadores formando parte de las condiciones del contrato.