

Ingeniería del terreno (misión del consultor)

ANGEL GARCIA YAGUE, Dr. Ingeniero de Caminos

Nuestra actividad en el Servicio Geológico de Obras Públicas se limita al estudio del terreno en cuanto incide en las estructuras. Por ello a él debemos limitar nuestra exposición, aunque orientada al planteamiento de las cuestiones que pueden ser objeto de este coloquio.

Terreno como cantera

En las características del hormigón y su durabilidad interviene el árido, que afecta de forma inmediata a su capacidad resistente inicial, o a corto plazo y de modo más impreciso a su permanencia en el tiempo.

En el árido, se observan primeramente sus formas, que en el caso de graveras está ligada a los constituyentes petrográficos de la roca madre (pizarrosidad, composición mineralógica, curva granulométrica, etc.). En este caso las partículas y elementos propios no presentan, en general, una actividad que ataque al hormigón pues durante su transporte y deposición, con presencia de agua y en contacto frecuente con el aire, se han perdido las partículas inestables y permanecen las inertes y estables. Por tanto, sólo debemos considerar sus formas y curvas granulométricas.

En las rocas endógenas y metamórficas la variación de las características petroquímicas es grande. Los constituyentes mineralógicos alterables forman en el exterior a modo de una superficie de protección o coraza, que al explotar una cantera se desmonta hasta alcanzar la roca sana. Pero esta roca sana ha estado protegida del ambiente exterior y puede incluir minerales no estables, fisuras, etc., que posteriormente en el hormigón continúan su proceso de alteración iniciado al extraerla o reaccionan con el aglomerante. Es frecuente en las rocas graníticas controlar descomposiciones totales en el plazo de un mes o incluso menos, y de una escollera se pasa a tener una masa terrosa con algunos cantos angulosos, arenas gruesas y arcilla. Si este proceso se ha iniciado durante la extracción, transporte y fabricación del hormigón, es lógico continúe durante el proceso de fraguado y aún posteriormente, por lo que la durabilidad del hormigón a largo plazo no parece esté asegurada.

En el árido artificial, o procedente del machaqueo, el tema es diferente. En el árido de machaqueo es más importante la propia naturaleza de la roca. La forma del árido dependerá de la estructura de la roca, de los esfuerzos tectónicos y de la historia geológica del yacimiento explotado. Unos empujes tectónicos pueden, y de hecho así sucede, orientar las partículas constituyentes de la roca y establecer una microfisuración, que se acusará a la hora del proceso de extracción y machaqueo y que permanecerá en los elementos constituyentes del hormigón. A través de estas microfisuras progresa cual-

quier ataque posterior del medio ambiente, que por tanto alcanza el corazón de las piezas o las armaduras, no a través de la pasta aglomerante sino a través de las fisuras de los elementos gruesos, aunque éstos de por sí permanezcan estables en el tiempo.

El ataque exige el contacto con un medio favorable, y el aglomerante cierra los huecos aislando la masa del medio ambiente; pero no puede excluirse que los fenómenos de hidrólisis iniciados en el arranque y machaqueo del árido hayan originado expansiones o hinchamientos de algunos constituyentes, y fisuras que favorecen el ataque posterior. Estos problemas son sumamente complejos y difíciles de apreciar, pues exige el conocimiento de los constituyentes de la roca, su trabazón, su proceso diagenético, la disposición de las microfisuras, etc., que pueden diagnosticarse en cada muestra, pero que es preciso extrapolar a todo el conjunto de la cantera.

En las graveras y también en las canteras existen unos elementos extraños o propios de la masa a explotar. Estos materiales, tales como materia orgánica o minerales accidentales, se presentan en pequeña proporción, pero pueden acumularse en ciertos entornos concretos y sobrepasar los límites no perjudiciales en unas amasadas. Contra este fenómeno sólo es posible establecer una vigilancia adecuada en la zona de extracción para excluir las partes no deseables. Por ejemplo, podemos citar la presencia de yeso secundario en vetas, rellenando fisuras de la roca, que por su datación estratigráfica y facies excluía la presencia de materiales evaporíticos. Es claro, que no era previsible la existencia del yeso ni tampoco dar unas reglas que permitiesen su localización, ya que la fracturación de la roca es condición necesaria, pero no suficiente, para encontrar estas vetillas de yeso. En este caso concreto se introdujo en el propio hormigón un elemento extraño, que rápidamente lo destruyó, porque el ataque del yeso era de “dentro hacia afuera”.

Con la contaminación de las canteras por elementos naturales o artificiales debe considerarse simultáneamente la contaminación del árido en el proceso de transporte y fabricación del hormigón. En las zonas yesosas españolas el árido procede de canteras que excluyen el yeso, pero con frecuencia se acopia en el terreno sin tomar precauciones, donde puede sufrir un proceso de mezcla con el yeso in situ, con el polvo que puede remover el viento y acumularse en zonas locales del árido acopiado, etc. Por último, en estas zonas el agua suele poseer un alto contenido de sulfatos y su calificación de potable es engañosa por ser relativa a la zona; en suma, un poco en el agua de amasado y otro poco en el árido contaminado sobrepasan el límite tolerable. Estos fenómenos se han comprobado en obras de gran desarrollo lineal o de poca importancia, donde los controles eran pequeños o nulos. El problema se reduce a conocer el alcance del calificativo de “poca importancia”, del que dependen los controles y análisis.

Terreno como apoyo

De dos modos puede afectar a la durabilidad del hormigón: en la primera por los asientos diferidos, que pueden originar fisuras que favorecen el ataque del ambiente agresivo; en la segunda, por la pérdida de las características resistentes del propio terreno.

En el primer caso corresponde a la Mecánica del Suelo el prever y evitar esta fisuración con un adecuado sistema de cimentación, que limite los asientos de forma más estricta. El segundo caso es dominio de la misma ciencia, aunque deba recurrirse a otros temas propios de la geología aplicada. Por ejemplo, es frecuente en los limos yesosos que recubren vaguadas encontrar una estructura muy floja, con baja densidad, donde micro-

cristales aciculares de yeso forman como una tela de araña que separa y enlaza las partículas de arcilla y limo. La construcción altera el conjunto y con frecuencia modifica la situación del nivel freático y sus gradientes; el agua disuelve estas agujas de yeso y se produce el asiento e incluso el hundimiento brusco del terreno, que si no destruye la estructura sí puede fisurarla, con posterior ataque químico al hormigón. No hace mucho he comprobado este fenómeno en unas conducciones hidráulicas, que introducían en el terreno cargas inferiores a las que suponía la excavación efectuada.

Terreno como ambiente

El terreno considerado en su conjunto, con sus componentes, y con el aire y agua que rellena sus poros, también puede constituir un agente agresivo para el hormigón, con dos aspectos: físico y químico.

En el fenómeno físico incluimos entre otros los fenómenos eléctricos, motivados por los potenciales espontáneos, que pueden alcanzar varios mV por metro y que originan unas corrientes parásitas que se propagan por el hormigón y sus armaduras destruyéndole. Buen ejemplo se puede encontrar en las conducciones enterradas de la zona gaditana, que han motivado múltiples problemas. No sólo por los potenciales en el terreno surge un ataque constante al hormigón sino también por derivaciones de las instalaciones eléctricas en las propias estructuras, que marchan hacia la cimentación, polarizadas en especial por las armaduras. En cualquier caso es necesario que en el terreno exista agua, es decir, que su resistividad sea baja, y es tanto más peligroso el fenómeno cuanto más sales disueltas se encuentren en el agua, que bajan su resistividad.

También podemos incluir en el ataque físico los empujes que se originan en el paso de la anhidrita al yeso, pero es fenómeno poco frecuente en España, por serlo la anhidrita. No obstante lo cual, personalmente la hemos localizado con sondeos mecánicos, dos km antes de la unión del Manzanares con el Jarama, a unos 60 m de profundidad, y bajo los acarreo del Ebro en la zona de Casetas, junto a Zaragoza, es decir que, aunque no muy frecuente, sí se localiza en nuestro país.

En el ataque químico incluimos el ligado a los sulfatos del terreno, que con el agua destruyen los cimientos. Lo mismo podíamos decir de otras sales minerales, pero en España el yeso constituye el principal problema y es lo que más preocupa. Sin embargo se olvida con frecuencia que para producir el ataque en el hormigón de la cimentación es preciso la existencia previa de: 1.º) yeso en el terreno o sulfatos en el agua; 2.º) agua, como elemento de transporte del agente agresivo y como caldo necesario para el desarrollo de la capacidad agresiva del yeso; y 3.º) circulación de agua, que a su vez exige unos gradientes y un mínimo de permeabilidad del terreno. Es decir, el yeso masivo puede constituir un buen terreno de cimentación si se garantiza la ausencia del agua. Un terreno yesoso, con agua, pero con gradientes nulos, que no permiten una circulación del agente, tampoco constituye un problema ni peligro.

Sin embargo, en las estructuras importantes normalmente se perturba al terreno en una gran extensión y a sus gradientes hidráulicos, cambiando el sentido y circulación natural del agua subterránea. Por otra parte, la propia estructura puede conducir agua, que en pequeñas fugas pase al terreno por caminos no previstos y con fuertes gradientes en su infiltración hasta alcanzar el nivel freático base, y por último, la estructura, aún no conduciendo agua, puede alojar conducciones de su propio servicio donde se produzcan fugas, o sistemas de recogida del agua de lluvia o de riego en los jardines inmediatos que

la circunden, estableciendo una circulación artificial, no prevista en el proyecto, que motive un ataque al hormigón de los cimientos, en el que siempre, y como elemental medida de precaución, debe conseguirse una gran compacidad e impermeabilidad.

El yeso en España

En el año 1962 se celebró en este mismo Centro el “I Coloquio Internacional sobre las Obras Públicas en Terrenos Yesíferos”, organizado por el Servicio Geológico de Obras Públicas. Los participantes extranjeros y españoles presentaron una serie de comunicaciones, que, en lo que nos afecta, aclaró bastante la importancia de los terrenos yesíferos en España.

El yeso no es más que una roca evaporítica, formada en medios donde existe un predominio de la evaporación, que termina por desecar las aguas acumuladas en cuencas y recintos sin salida al exterior. Es consecuencia de unas condiciones topográficas y ambientales y, por tanto, se puede presentar en cualquier época geológica, siempre que los depósitos sean de tipo continental. Pero además puede proceder de la disolución del yeso de rocas próximas y acumulación en fisuras de otros materiales que previamente no los poseían: son los yesos de segunda formación. En España se encuentra el yeso en la facies Keuper, en el Wealdense, en el Ludense, y en el Mioceno continental, pero también existen en el Cuaternario y se está formando en las lagunas donde la evaporación consume el agua de aporte superficial, sin que en ella exista un emisario o desagüe. También se forma en las zonas de riego intenso, donde la evapotranspiración es importante y no se ha dispuesto de un sistema drenante de las tierras regadas. Además se encuentra como secundario en prácticamente todos los terrenos, siempre que no muy lejos exista yeso. Por ejemplo se encuentra en las calizas y margas del Cenomanense junto a Entrepeñas, en el Mioceno Marino, en el Levante español, en el Pérmico asturiano, etc.

Si contabilizamos sólo la superficie donde se encuentra yeso de primera formación, nos encontramos que en España cerca del 10 % del territorio tiene yeso y que más de 11 provincias tienen más del 10 % de su superficie. Junto al yeso se encuentran otras sales; por ejemplo: en Madrid cloruro sódico en vetas, como localizó A. del Aguila en 1962; anhidrita, que ya hemos citado y que también puede recogerse junto a Aranjuez en la carretera nacional N-IV, etc. Es lógico, por tanto, que se piense fundamentalmente en el yeso, como agente agresivo del suelo, pero no deben olvidarse otras sales, menos frecuentes pero igualmente peligrosas.

Misión del Consultor

Por la ordenación del Coloquio, y en nuestra misión de exponer problemas que pudieran interesar para las futuras Jornadas, parece que debiéramos hablar de cuál es la misión del Ingeniero Consultor. Creo que no soy el más adecuado para abordar la problemática

ca que el tema plantea. Sólo me atreveré a decir que en nuestro trabajo habitual en el Servicio Geológico de Obras Públicas, la misión es mucho más simple de lo que parece deducirse para el que no la conozca. Nos reducimos a conocer los problemas que nuestros compañeros encuentran en las obras y son ellos precisamente los que llegan a conocer a fondo las consecuencias del caso concreto y darle soluciones. Posteriormente esas experiencias ajenas se incorporan al conocimiento personal y se transmiten a quienes abordan otros casos, ofreciéndoles en concreto las posibilidades de solución que obran en nuestro archivo mental, al que incorporamos los resultados del trabajo del investigador, con quien forzosamente hemos de mantener el más estrecho contacto.

Si la postura es correcta podría deducirse que, para este caso, el consultor se reduce a facilitar la experiencia propia y ajena de los casos que ha estudiado personalmente o no, y que marcha detrás del investigador recogiendo sus conclusiones y en cierta forma delante al proponerle casos cuya explicación no encuentra. Es decir, actúa como enlace entre el proyectista, constructor e investigador, perdiendo la profundidad de los detalles a cambio de mayor extensión del campo que aborda.