

## Coloquio

### Sr. Mañá

Yo no me hubiese atrevido a hacer esta intervención si uno de los ponentes no hubiese dicho que estábamos aquí para comunicarnos nuestras experiencias.

Resulta que ha ocurrido en Barcelona un suceso importante, porque causó cinco víctimas, que actualmente está en el Juzgado de Instrucción, por supuesto, y que tuvo mucho que ver con unas piezas pretensadas hace unos diez años, hechas con cementos aluminosos. La estructura estaba constituida por unos pilares acartelados que soportaban encima de ella unas vigas; unas jácenas maestras pretensadas, a partir de unos hilos adherentes, de alambres adherentes. Este edificio estaba preparado para ser sobreelevado y, por supuesto, tenía unos pilares que terminaban con unos hierros de espera para que, en su día, pudiera ser llevada a cabo esta sobreelevación. Aquí arriba había, de momento, una cubierta soportada por unos tabicones, de ladrillo hueco.

Se empezó a realizar las obras de sobreelevación: primero se suprimió esta cubierta; se sobreelevaron estos pilares y se empezaron a disponer unas jácenas para ir siguiendo este edificio.

La modificación de las condiciones de carga sobre estas jácenas motivó la rotura (el fallo) de uno de los apoyos, con fallo también, de la cartela (esta con una luz aproximada de unos 6 m), cayendo sobre la viga inferior; esta viga inferior, sometida al efecto dinámico de toda la carga que se le había venido encima, cedió asimismo y ocasionó la muerte de cuatro o cinco personas que había aquí abajo.

Analizada esta vigueta, vimos inmediatamente que, a pesar de su buen aspecto exterior, pasados 1,5 ó 2 cm de revestimiento, dentro cambiaban totalmente en tipo las características de aquel hormigón, siendo un hormigón de unos tonos marrones y con una resistencia mucho más baja, no soportando el rascado simple con uña. Sacamos unas probetas de aquí. La resistencia de este hormigón, sobre todo en los apoyos, seguramente porque había estado sometido a ciclos alternativos de sequedad y humedad pues coincidían los apoyos con las lima hoyas de la cubierta, no superaban los 90 kp/cm<sup>2</sup>. Claro, frente a esto inmediatamente pensamos en lo que se había producido: era un escurrimiento en los alambres adherentes, estando desprovistas las cabezas de esfuerzos normales que pudieran equilibrar los cortantes produciéndose la caída.

Esta caída no se había producido antes porque el sistema de cubierta muy posiblemente lo que hacía era sujetar a la viga, en lugar de cargarla como era presumible, y en parte, porque la redistribución de esta carga (de los derrubios, procedentes del desmonte de esta cubierta) motivaron, no sabemos como fue, dicha caída.

**Sr. Sánchez Pirez**

Posiblemente el caso que nos acaba de explicar este señor sea uno de los que nosotros tratamos de poner de manifiesto en estas jornadas, como venimos haciendo, de manera particular, con quien nos consulta, de un empleo inadecuado, no ya del cemento, sino de la construcción de las vigas, porque lo que sí es evidente es que hace muchos años se está empleando el cemento aluminoso en pretensados y si fuera una norma general el que ocurriera, no sólo no tendríamos que revisar sino que ya nos encontraríamos con la mitad de los edificios derribados. Afortunadamente no todos los fabricantes de viguetas, en este caso concreto que Vd. está hablando, obran como en el caso extremo que yo les he contado de las “patadas al molde” y de las “telas de gallinero”; hay muchos que lo han hecho tomando todas las precauciones y no ha ocurrido nada. Esto es lo que podemos explicar. Nosotros, partimos de la base de que lo utilizamos en nuestras propias construcciones.

**Sr. Ovejero**

En cuanto a este aspecto, oigo que Vd. ha citado muy bien que había colección de fabricantes que usaban incorrectamente los cementos aluminosos. Yo también conozco muchos fabricantes y de mucha categoría técnica. Ahora, en ningún caso, desde hace muchos años que se usa cemento aluminoso, he conocido que el suministrador de cemento aluminoso haya negado el suministro a un señor que, en conciencia, está haciendo mal uso de él. Entonces yo pregunto si habría alguna posibilidad de solucionar este mal (aprovecho estas Jornadas para buscar todos los medios posibles de que por parte del suministrador hubiera un mínimo control sobre el uso que se hace de estos cementos aluminosos, o por lo menos al señor que en conciencia está obrando mal no suministrarle el tipo de este cemento).

**Sr. Mañá**

Vd. ha citado que no conoce ningún caso en el que el suministrador haya dicho a una persona que no utilice el cemento en la forma que lo está haciendo; le diré que nosotros sistemáticamente nos negamos a suministrar a nuevos clientes, es decir, estamos suministrando a clientes antiguos que sabemos que lo hacen con unas ciertas garantías; nosotros no podemos exigir que fuera de nuestra presencia cumplan con las instrucciones que les damos. Ahora, los nuevos clientes que vienen a solicitar directamente de nosotros suministros son visitados, así como sus instalaciones y —tiene Vd. delante a una persona que hace 4 ó 5 meses, a un importante consumidor de cemento que quería consumir directamente de nosotros, nos hemos negado a suministrarle—. Lo que no podemos evitar, puesto que el cemento está en el mercado, es que este señor lo compre y luego lo utilice de la manera que le parezca.

**Sr. Rivera**

Antes ha mencionado que no debiera haber azufre y se dijo que se iba a comentar, y no se ha comentado.

### **Sr. Sánchez Pirez**

Perdón, no se ha comentado porque lo he saltado deliberadamente, como algunas otras cosas, en razón de la recomendación que me había hecho la mesa presidencial sobre el tiempo disponible.

Esto es debido a que en los desastres ocurridos en Baviera y tantos otros en los hundimientos de techumbres de establo, se hizo un estudio exhaustivo de las condiciones y de los materiales empleados, y se llegó a la conclusión —conclusión que está aceptada por los mismos fabricantes— de que el cemento aluminoso alemán no se fabrica siguiendo las normas de fabricación que yo he citado aquí y que dimanarían de la Federación Internacional de Pretensados, es decir, mezclas de bauxita pura y caliza fundidas en reverbero, si no que el cemento aluminoso alemán se fabrica a base de escorias, procedentes de la siderurgia y, por lo tanto, contienen una cantidad bastante notable de azufre al estado de sulfuro (llega a haber hasta un 1,0 — 1,5). Se vió que este sulfuro presente en el cemento ataca a las armaduras, metálicas, y por eso la Federación Internacional de Pretensados acepta ya el uso de este cemento con esas precauciones, la primera de las cuales y más importante es que el cemento no contenga más que un máximo 0,1 %, caso que ocurre, creo que prácticamente en todos los cementos aluminosos, excepto el caso del cemento alemán, que se fabrica con escoria siderúrgica.

### **Sr. Buendía**

De la comunicación del Sr. García Yagüe he querido sacar la conclusión, o la he sacado, de que antes de emplear cementos especiales sería necesario realizar un estudio sistemático, incluso exhaustivo, de la agresividad de las aguas. Entonces, desde el punto de vista del ingeniero, yo le pregunto ¿hasta qué punto se puede arriesgar el no empleo de un cemento especial, por ejemplo en un terreno agresivo, sobre todo en obras de cimentaciones no visitables a lo largo del tiempo?

### **Sr. García Yagüe**

Lo que yo he querido decir quizá no lo haya expresado perfectamente bien. He pretendido llamar la atención de que es necesario, en primer lugar, conseguir un buen hormigón, utilizar un buen árido y seguir las normas de fabricación del hormigón, y después de cumplir esta condición es cuando empieza a actuar el cemento especial; pero de cualquier forma, creo que la elección adecuada de un cemento especial para un caso concreto depende de las condiciones de ese caso porque si no, nos exponemos a elegir un cemento que va muy bien para un ataque pero que en las condiciones del caso o locales puede ser hasta perjudicial. Indudablemente el ingeniero entonces se enfrenta con el problema de que cada construcción exige una investigación especial, y nuestro ánimo se nos va por los suelos; quizá no sea esa la intención que yo llevo, porque desgraciadamente, o mejor dicho, el ingeniero tiene que actuar en un plazo determinado y no da tiempo a hacer investigación especial de todos los elementos que puedan influir... ¡y no puede dar soluciones!

Una postura correcta es que en un sitio donde existan unas condiciones que sabemos que sean agresivas y no se tenga experiencia del empleo de un determinado cemento, se haga un análisis completo del agua —que no es tan caro— y se recurra a lo publicado o se haga una consulta al especialista... me parece que eso sí puede estar en nuestras manos y esa es la intención que yo tenía.

#### **Sr. Siste**

He contrastado en muchísimos casos de agresividad, de terrenos o de aguas, que un buen hormigón hecho con un cemento portland normal, ha resistido siempre mucho mejor que un mal hormigón hecho con un cemento especial.

#### **Sr. Buendía**

Como conclusión, de todo lo que aquí se ha hablado esta mañana, y posiblemente sea objeto de la última charla del Sr. García de Paredes, se redacte una especie de recomendaciones o “modus operandi” para el futuro; pero una cosa que yo quería citar, aunque sólo fuese de pasada, es el tema de: supuesto hecho el estudio, si el técnico de un subsuelo recibe un tipo de hormigón con el conglomerante más adecuado, si luego, en la estructura que va a ir encima empleamos un tipo distinto de hormigón ¿no estaremos creando ahí una diferencia de tensiones?, eléctricas o de cualquier otro tipo; ¿no estaremos favoreciendo una corrosión de armaduras en esa unión de dos tipos de cementos, en esos dos tipos de hormigón, perdón? Es una duda que tengo.

#### **Sr. García Yagüe**

Esta duda que le surge a Vd. es cierta; más que duda puede ser una verdad axiomática. Es necesario tomar las precauciones debidas para utilizar en el caso que se vea preciso, hacer mezclas de distintos conglomerantes, que la compatibilidad en el uso de estos conglomerantes sea clara y efectiva; no es posible, y está demostrado, utilizar un cemento aluminoso y a continuación tratar de empalmar con un cemento del tipo portland; estoy poniendo unos casos extremos.

En otros tipos de cementos con características específicas para determinadas agresividades, como pueden ser cementos puzolánicos o los cementos siderúrgicos, en los que en definitiva la composición de ese conglomerante es una puzolana en unos casos, una escoria con un clínker de cemento portland, en otros la posibilidad de utilizar otro cemento tipo portland puro, que no fuera puzolánico o siderúrgico, es más amplia, y consecuentemente, puede salvarse en determinadas circunstancias una obra de difícil ejecución por este ataque agresivo en los cimientos que después no se va a dar en la construcción aérea, pero es necesario hacer un estudio previo para poder mezclar distintos tipos de cemento y no crear una nueva agresividad además de las que la obra se puede ver sometida.

#### **Sr. Calleja**

Sres. poco a poco veo que me están Vdes. machacando mi ponencia de mañana, pero por otra parte me alegro porque esto demuestra la importancia que tiene, aunque no siempre se le da, al problema de la corrosión de las armaduras. Aquí se ha citado, con mucho

acierto, la posibilidad de qué cambios de materiales, cambio de dosificaciones en definitiva, alteraciones en las condiciones de proyecto en el hormigón, puedan tener respecto de la corrosión de armaduras. Yo a esto responderé muy brevemente y creo que muy claramente:

“Toda heterogeneidad en una obra, sea de los materiales que intervienen en ella, sea de las condiciones ambientales, es, por principio y por definición, asiento de corrosión, casi segura y tanto más rápida e intensa cuanto mayor es el grado de heterogeneidad que se produzca”.

### **Intervención**

Antes se habló de que hoy día tenemos medios suficientes para poder luchar contra cualquier agente exterior que nos perjudique; por ejemplo, los yesos; pero en canales, me parece a mí, que lo que hay que hacer es evitarlos, a menos que se haya descubierto últimamente algo nuevo, porque no es ya el ataque al hormigón —ya puede ser aluminoso, sea lo que quiera—, son los hundimientos que se van produciendo y contra esto yo no he encontrado nunca remedio posible.

### **Sr. García Yagüe**

He tenido oportunidad de visitar, y estamos haciendo unos trabajos, un canal en la zona de Huesca, donde se producen estos hundimientos. A tal extremo, de que el terreno —aparentemente noble— está formado por unos depósitos muy influidos por el viento, de tipo limoso, de baja compacidad y a tal extremo de que, simplemente el poner encima las acequias de hormigón, han motivado asiento, prácticamente del orden de 1 m, en el canal principal sin entrar en carga también se han producido hundimientos de esa categoría; pero eso no está ligado al yeso, está ligado a un terreno de baja compacidad, y mi duda es que, si al hacer un canal que va embutido y donde se ha tenido que excavar mi pregunta es ¿cómo no se localizó este fenómeno durante la construcción?

Si llegamos a la conclusión de que un canal o una obra no se pueden hacer sin un buen estudio del terreno y sin una adecuada vigilancia por el que deba controlarla o llamar —en un caso de anomalía— al que se dedique a este tema, no tengo más remedio que decir que sí, que eso es obligado, pero que no justifica el huir de un terreno porque la obra tiene que construirse y cubrir una finalidad; costará más o menos, pero al final se construye y resiste la obra.

### **Intervención**

El canal, durante la construcción no se hundía, lo que pasó fue que siempre hay alguna fuga de agua y el yeso que está debajo (mezclado con caliza, porque caliza y yeso todo va junto) produce disoluciones y unas cavernas que aumentaban de tamaño a veces eran tan grandes como esta sala; como consecuencia todo el canal (que tenía una gran sección) se hundía, se llevaba por delante tierras, carreteras, lo que fuera, y producía unos destrozos terribles; ha sido necesario —digamos— abandonarlo, porque estaban 10 km así y, posiblemente, no había que haber hecho la obra.

**Sr. García Yagüe**

Hay varias soluciones, mejor dicho. En primer lugar entramos en un tema bastante conocido y que el que quiera profundizar basta con leerse las actas del “Primer Congreso de Obras Públicas en Terrenos Yesíferos” que cité durante mi intervención. Esto va ligado al fenómeno que hablaba de los asientos de la producción de huecos en terrenos yesíferos.

Soluciones las hay: hay la solución de entrada, que se ha aplicado bastante en el Ebro, que es donde se acusan más estos fenómenos, porque esto suele producirse en las vaguadas, en los terrenos de depósitos de limos yesosos de baja compacidad. Entonces, se han tomado dos soluciones —que lo saben de sobra— y son: 1.<sup>a</sup> llevar el canal sobre pilotes —que cuesta más— es decir que está puentado, y la 2.<sup>a</sup>, que también está dando buenos resultados, es aceptar a cambio de un menor coste de construcción, o de proyecto de ejecución de la obra, un mal endémico que se mantiene con unas no muy costosas, pero, en fin, continuas reparaciones.

Es decir, el inicio de esa caverna, de ese hueco, es un inicio por fuga de agua; hay medios técnicos para poder controlar, no midiendo en el canal, sino en el propio terreno, cuando se produce esa fuga de agua, y hay medios técnicos para impermeabilizar en el trasdós del revestimiento, que está dando bastantes resultados en la inyección continua bien realizada, de arcilla, cemento entre el terreno y el canal, pero hay que elegir, o un mayor coste de primera instalación, o un coste de conservación; lo que no se puede hacer es coger el menor coste en la construcción y, sin embargo, no querer poner después el coste de mantenimiento, el coste de conservación.

**Sr. Jiménez Salas**

¿Alguna otra intervención?

Me queda dar las gracias a los que han intervenido, tanto a los ponentes y al Sr. de la comunicación, como los que han intervenido en el coloquio —no es cosa de hacer un resumen, ni me siento capaz de hacerlo personalmente—; pero como una impresión totalmente subjetiva —una impresión personal— más bien lo que he retenido, es algo que se ha dicho muy al principio, de que se tiene una conciencia bastante clara de la agresividad de los terrenos que contienen sulfatos sobre el cemento.

Una conciencia, por otra parte, que muchas veces se limpia con soluciones un poco triviales. Es muy frecuente que haya sulfatos en el terreno, pues vamos a utilizar un cemento especial, y si se toma un cemento especial, sin preocuparse mucho, tiene que ser especial, un poco más caro, con lo cual ya nos quedamos tranquilos de que ya hemos hecho lo posible.

A lo largo de esta sesión hemos visto cómo los cementos especiales son muchos, cada uno tiene su definición y además han de ser utilizados conscientemente.

Pero quizá no sea esa la impresión a la cual yo me quería referir; existen otras muchas causas de agresividad respecto a los hormigones, sobre las cuales, en cambio, muchas veces no pensamos: hace muy pocos años —hace tres o cuatro años— estuve visitando unas obras en Alemania y había la cimentación de un gran puente, uno de estos

grandes puentes de una autopista cerca de Nürenberg. Lo que más me extrañó, lo que más realmente salió de lo que yo había visto, es que la cimentación, una cimentación masiva —no es que fuesen pilotes ni nada de eso— estaba recubierta totalmente de chapas de plomo. Esta era una solución que habíamos pensado hacía algunos años para un caso muy extremo de corrosión en el Riotinto, que llevaba ácido sulfúrico; se estuvo hablando de proteger una cimentación, de un puente también, con chapas de plomo. A todos nos pareció que era una exageración indudable, y no se hizo. Sin embargo, en este puente alemán se protegía con chapas de plomo. ¿Era acaso que había allí cerca alguna agresividad de un tipo comparable al del ácido sulfúrico? no, eran simplemente aguas ácidas, porque eran aguas pantanosas y se suponían que eran lo suficientemente ácidas para que a lo largo del tiempo pudiesen afectar a la estructura de la cimentación de aquel puente.

No es que se pueda decidir, realmente, si esta protección fuera exagerada o no, sin embargo nos hace pensar en el cuidado que debemos tener para asegurar la durabilidad de nuestras obras.

La idea de la cantidad de agentes agresivos que están actuando sobre nuestra cimentación, creo que es lo que hoy más deberíamos retener. Eso mismo que hemos hablado, y pisando un poco más, la ponencia de mañana, de la corrosión de las armaduras. He visto casos, por lo menos dos, en los cuales había cimentaciones destruidas y en los dos casos, efectivamente, tenían sulfato; sin embargo, para mí era absolutamente claro de que la corrosión, de que el efecto que se había producido sobre la cimentación no era achacable a los sulfatos; era clarísimamente corrosión de las armaduras; las armaduras totalmente oxidadas, debido, precisamente, a que el suelo era muy salino, se había producido una gran conductividad eléctrica del hormigón y posiblemente también algún efecto químico de entrepila de los sitios altos, pero que no hubiese ocasionado probablemente ese efecto si no fuese porque la gran conductividad permitía el paso de una corriente de intensidad considerable. Claramente era una corrosión electrolítica de las armaduras.

De manera que esta idea de que no solamente se trata del problema de los sulfatos sino que hay otros muchos problemas que atacan a nuestras construcciones hidráulicas y nuestras construcciones enterradas, creo que es quizá la idea que por lo menos yo, personalmente, retengo con mayor intensidad de esta sesión.