

determinada, y se ha visto que la mitad aproximadamente se produce durante el primer mes, decreciendo gradualmente hasta anularse en un período que oscila entre doce y dieciocho meses. Los homigones muy ricos producen elevada retracción de fraguado, causa por la cual se ha abandonado el camino, que se seguía hasta hace poco tiempo, de procurar evitar las grietas aumentando la resistencia a la tracción por enriquecimiento de las mezclas.

A nuestro entender, se eliminan en gran parte las grietas debidas a la retracción de fraguado siguiendo el mismo camino de aumentar la resistencia a la tracción, pero actuando sobre la composición granulométrica y cuidando de emplear la menor cantidad de agua posible en las mezclas, evitando al mismo tiempo que el hormigón fragüe demasiado de prisa por los métodos de cura corrientemente usados. Pudiéramos presentar algunos ejemplos de los excelentes resultados que se obtienen por este procedimiento; pero el mal no se elimina en absoluto, y junto a extensiones de consideración completamente sanas se producen grietas de importancia. El mal debe residir en que la rugosidad del terreno impide a la losa de hormigón que se mueva con cierta libertad, y sería de desear que se hiciesen ensayos en obra del procedimiento que en el laboratorio da lugar a concebir bastantes esperanzas, y que consiste en enlucir el terreno, antes de apoyar en él la losa, con una capa delgada de betún asfáltico.

Se reduciría así notablemente el número de juntas en los pavimentos de hormigón, ventaja muy apreciable, ya que las juntas constituyen sitios débiles. La supresión de las juntas parece, hoy por hoy, imposible, pues dividen el pavimento en zonas poco extensas y sus movimientos quedan así más localizados.

Las contracciones debidas a descensos en la temperatura originan también tensiones en el hormigón y son causa de grietas. En los primeros tiempos, después de ejecutado un pavimento, cuando se considera ya libre de las grietas de retracción de fraguado, es sumamente desagradable comprobar la aparición de grietas debidas a la contracción. Estas no suelen ser muy numerosas, pero, en cambio, son bastante grandes, sobre todo si las juntas de construcción están muy espaciadas. De aquí que muchos ingenieros prefieran multiplicar las juntas de construcción, y esto era muy racional mientras no se había encontrado el medio eficaz de rellenar las grietas; pero después de que se saben preparar mezclas asfálticas que cumplen muy bien este cometido el temor es ya excesivo.

Parece, a primera vista, que el remedio completo

contra toda clase de grietas sería la colocación de una armadura en todos los pavimentos de hormigón. Con esta idea se construyen con armadura en la parte inferior, con armadura en la parte superior y con armadura en ambas. Se ve, por consiguiente, que no se tiene idea precisa del papel que representa la armadura.

Desde luego, hay quien sostiene que, sea cualquiera la colocación de la armadura, se evitan las grietas grandes, y sólo se producen grietas capilares, aunque en número muy considerable. Admitiendo que esto fuera así, cuestión, por otra parte, muy discutida, hay lugar a preguntarse si no será mucho más perjudicial la producción de muchas grietas capilares que la de pocas de mayor importancia. En efecto, apenas se presenta el impacto, la destrucción sobreviene rápidamente cuando la losa está dividida en numerosos trozos, que sólo tienen la armadura para hacerlos solidarios, a menos de que ésta absorba íntegramente los esfuerzos. Se llegaría así a costes tan elevados para la armadura, que resultarían prohibitivos.

Aun sin tener en cuenta el impacto, el cálculo de las armaduras es sumamente incierto. La resistencia a la flexión no puede calcularse como para las vigas, pues los puntos de apoyo no están bien determinados y cambian con los movimientos del terreno. Teóricamente se considera que la losa se apoya en todos sus puntos y que estos apoyos son elásticos; pero la realidad es que con el tiempo el terreno cede y se separa en bastantes sitios de la losa; salvo en los bordes, pueden aparecer tensiones máximas positivas o negativas en cualquier punto, y estas tensiones no se desarrollan según líneas paralelas, sino que se dispersan en todos sentidos alrededor del punto de aplicación de la carga.

Para proyectar, pues, con un mediano coeficiente de seguridad es preciso prever armaduras muy importantes, y si además se tiene en cuenta el impacto, resultan disposiciones que están muy lejos de las adoptadas corrientemente. Se llega, pues, a la conclusión de que las armaduras que hoy se colocan son ineficaces desde todos los puntos de vista, salvo en el caso de que los terrenos de apoyo asienten mucho, pues entonces las losas sin armadura estarían en muy malas condiciones.

Como resumen, puede decirse que se pueden eliminar muchas de las grietas que se producen en los pavimentos; pero que, por ahora, no es posible aspirar a evitarlas en absoluto. Afortunadamente, con una conservación esmerada no constituyen grave inconveniente las escasas grietas que no sabemos evitar que se produzcan.

Manuel AGUILAR
Ingeniero de Caminos

Ensayo de aglomerados y de sus componentes por medio de tubos¹

Ejemplo del estudio mecánico

Tomemos para este ejemplo el primero sometido a rotura de los tubos de hormigón, o sea el VI-5

¹ Véase el número anterior, página 545.

marzo. Ficha núm. 6 (de las de "estudio mecánico"), la cual voy a explicar con el detalle que creo necesario para la más fácil y exacta comprensión definitiva del modo de hacer el estudio o análisis particular del trabajo interior de cada pieza; sin per-

juicio de transcribir seguidamente, como muestra de las fichas de esta serie, la escueta copia literal de la misma que nos ocupa.

Comienza ella (como todas las de su serie) con la nota de las cantidades de componentes que han entrado en la pieza, calculadas del modo explicado en el artículo precedente, con los datos registrados en la correspondiente ficha de fabricación. De estas notas resulta que en este tubo el volumen macizo de la arena, más el de la pasta de cemento, o sea el volumen macizo del mortero, son 73,087 litros, y el de la grava, 42,869 litros, siendo la suma de ambos un poco superior al volumen sólido de la pieza, lo cual demuestra que la materia de ésta satisface la esencial condición de no contener huecos: es "archicompacta", según la expresión que ya he dicho tener adoptada como más propia.

La relación entre ambos volúmenes macizos (del mortero y de la grava), o sea la relación entre las áreas ocupadas por cada una de estas materias en la sección diametral del tubo, es de 15,34 mortero: 9,00 grava. De modo que en cada 24,34 cm² de dicha sección hay 15,34 cm² de mortero y 9,00 cm² de piedra. Ruego se pase por alto la incorrección de este sencillo modo de expresarme.

El tubo fué sometido a esfuerzo hasta rotura el 20 de marzo, habiéndose registrado en la ficha de rotura correspondiente la presión hidráulica interior de 6,50 kg:cm², como acusada por el manómetro en el momento extremo. La tensión consiguiente, repartida en la semi-sección diametral, fué:

$$T_r = \frac{6,50 \times \text{diámetro} \times \text{longitud del tubo}}{2} =$$

$$= 6,50 \times \frac{44 \times 100}{2} = 14\,300 \text{ kg}$$

Y, por tanto, el esfuerzo medio unitario de rotura,

$$r = \frac{14\,300}{\text{espesor} \times \text{longitud de la pared}} = \frac{14\,300}{7 \times 100} =$$

$$= 20,42 \text{ kg:cm}^2$$

Conocido r , y visto que en la fractura no aparecieron piedras rotas, y que el mortero del mismo tipo e igual edad, moldeado sin piedra, ofreció el mismo día (según la ficha de roturas del 20 marzo) 23,57 kg:cm² (y no era verosímil resistiera menos a los 15 días, según conocidos datos de laboratorio relativos al mismo cemento), era indudable que quien había fallado había sido la adherencia entre la grava y el mortero, habiéndose producido la rotura por el consiguiente acrecimiento del esfuerzo en la parte de sección diametral ocupada por el mortero. Si en una extensión parcial de dicha sección, de 24,34 cm², según se ha indicado, hay 9,00 cm² que se han inhibido porque, fallada la adherencia, deja de participar en el servicio de resistencia la piedra, es evidente que los 15,34 cm² de mortero han tenido que resistir desde el mismo momento, si el fallo o inhibición ha ocurrido a los 20,40 kg de esfuerzo unitario general, $24,34 \times 20,42$ kg; o sea a razón de 32,40 kg, siendo natural la rotura en medio del repentino salto del esfuerzo hacia esta intensidad.

En relación con el caso que nos ocupa, la ficha número 1, correspondiente al tubo I-3 marzo, de mortero "mínimo" y grava Peña Castillo (el cual ofreció, a los 32 días, 23,57 kg:cm² de resistencia unitaria general, presentando poco menos del 50 por 100 de piedras rotas en la fractura), hizo ver la resistencia límite de una mitad, aproximadamente, de la grava, que son los mismos 23,57 kg:cm², y patentizó el crecimiento de la adherencia con la edad del conglomerado, ya que, teniendo que ser menor la del mortero "mínimo" que la del "mediano" (entre cada uno de ellos y la grava, se entiende), la de éste ha sido 20,42 kg:cm² a los 15 días, y la de aquél, 23,57 kg:cm², si no más, a los 32 días.

La rotura de otros tubos de idéntico hormigón a edades mayores (a 90 días y a 210 días, por ejemplo) se creyó que serviría para descubrirnos la resistencia de la grava Peña Castillo que en él entra, y a esto tendía la última nota que se lee en la ficha.

Veamos lo que nos ha dicho el tubo IV-4 marzo, roto a los 213 días de edad. (Ficha núm. 3.)

Las áreas del mortero y de la grava en la sección diametral de este tubo (o sea S_e y S_a), calculadas del modo ya repetidamente explicado, eran proporcionales a 15,37 y 9,00. Había, pues, en cada 24,37 cm² de dicha sección, 15,37 cm² ocupados por el mortero y 9,00 cm² ocupados por la piedra. Y el esfuerzo unitario general de la sección en el momento de la rotura (deducido también, como se ha indicado antes, de la presión acusada por el manómetro en el mismo momento y registrada en la ficha de roturas del día 3 de octubre, que fué $p = 8,250$ kg:cm²) fué $r = 25,93$ kg:cm². Y resultó en la fractura un 50 por 100 de piedras rotas: muy pocas más que en otro tubo de igual hormigón (el V-4 marzo, ficha núm. 4), roto a los 90 días de edad, a la tensión media general de 23,57 kg:cm².

Este último resultado o hecho parcial demuestra que: o el mortero del tubo IV-4 marzo, que nos ocupa ahora, ha resistido hasta 41,11 kg:cm², o la adherencia ha resistido hasta 31,80 kg:cm². En efecto: al esfuerzo unitario r del momento de la rotura, de 25,93 kg, corresponde una tensión, en los 24,37 cm² de sección diametral, de 631,9141 kilogramos, que, aplicada toda a los 15,37 cm² del mortero (como ha de haber ocurrido si antes de alcanzar r los 25,93 kg ha fallado la adherencia), hace los 41,11 kg:cm² indicados; y si la adherencia no ha fallado antes del momento de la rotura, gracias a ella la piedra que ha resultado no rota (4,50 cm²) y el mortero (o sean, en suma, 19,87 cm², que resultan de restar a los 24,37 los 4,50 de la piedra inhibida antes de los 25,93 kg de esfuerzo medio general) han llegado a sufrir en ese momento los 631,9141 kg, o sea a razón de 31,80 kg:cm².

La duda o incertidumbre que esta disyuntiva constituye no ha podido ser resuelta concluyentemente en todo el ensayo, y he aquí un botón de muestra de las deficiencias a que aludí en el artículo anterior; pero se resolvería fabricando y rompiendo otros tubos con tal dosis de mortero (menor que las aquí adoptadas) que excluyera forzosamente la posibilidad de que, al fallar la adherencia o la grava, siga la pieza resistiendo sin romperse. Nos permite, sin embargo, la observación antes expresada acerca del

crecimiento de la adherencia con el tiempo, creer cierta la segunda parte de la disyuntiva, por ser muy verosímil que si la adherencia con el mortero "mínimo" fué de 23,57 kg:cm² a los 32 días, y la ficha del tubo V-4 marzo, antes citado, hace ver la probabilidad de que con el mortero "mediano" haya alcanzado a los 90 días 28,91 kg:cm², haya podido ésta llegar a los 31,80 kg:cm² a los 213 días.

Pero a una deducción terminante y segura sí se llega en la ficha del mismo tubo IV-4 marzo a que me vengo principalmente refiriendo en esta segunda parte del ejemplo de estudio: que el mortero no ha roto en él antes de los 31,80 kg:cm² puesto que, si antes de este esfuerzo hubiera roto, no se hubiera podido llegar al unitario general de 25,93 kg (dada la inhibición de un 50 por 100 de la piedra a los 23,57 kg) sin que antes se rompiera el tubo. Y tiene el interés esta deducción de confirmar un hecho observado insistentemente en todo el transcurso de estas pruebas: que el mortero, en el hormigón "archicompacto" bien elaborado, resiste más (a igual edad) que el de tipo igual e idénticos materiales moldeado sin la piedra. Fenómeno cuya racional explicación hallará el lector en la ficha núm. 5, que insertaré también al final de este artículo, como muestra de las referentes al mortero sólo, una vez que acabe de exponer lo poco que aún me resta del estudio de la grava Peña Castillo, que me está sirviendo para el ejemplo.

La rotura del tubo VI-15 marzo (ficha núm. 33), hecho con la misma grava y mortero "rico", nos ha dado el límite superior de la resistencia de la parte más fuerte o tenaz de esta grava. Veámoslo. En este tubo, por cada 9,00 cm² de grava había 22,00 cm² de mortero en la sección diametral, y el esfuerzo r o unitario general de rotura fué (según la ficha de roturas del 13 de octubre) 31,43 kg:cm², habiendo aparecido en la fractura la casi totalidad de las piedras rotas. Pero como sabíamos ya que un 50 por 100 de éstas se habría inhibido de resistir a los 23,57 kg:cm², desde ese momento y en el de la rotura el esfuerzo total se ha repartido sobre el mortero y la piedra restante (suponiendo que ni esta piedra ni la adherencia hayan fallado antes, caso en el cual habría sido el mortero sólo el que habría resistido desde cierto esfuerzo hasta el final); por tanto, el esfuerzo máximo a que dicho resto de piedra ha podido romper ha sido el correspondiente en esas condiciones al unitario general 31,43 kg, o sea

$$\frac{31,43 \times (9,00 + 22,00)}{22,00 + 9,00} = 36,76 \text{ kg:cm}^2$$

Se puede, pues, asegurar que la parte más resistente de la grava que nos ocupa rompe a este esfuerzo, si no algo antes.

Y ya me parece haber dicho lo más estrictamente indispensable para que el ejemplo elegido, en medio de todo el complejo estudio mecánico del ensayo, haya acabado de concretar y aclarar suficientemente la aplicación práctica del sistema de investigación de que se trata a quien con atención algo detenida me haya leído. Favorecería aun muchísimo al mismo fin explicativo y esclarecedor el adjuntar a lo expuesto todas las fichas citadas y aludidas y las demás que en éstas, a su vez, son citadas (pues no sólo las cua-

renta y tantas fichas que forman la pequeña colección del "estudio mecánico", sino también las de "fabricación" y las de "rotura", ofrecen, como es natural, una verdadera urdimbre complicada de necesarias recíprocas citas); pero se saldría ello de los prudentes límites de unos artículos periodísticos. Me limito, por eso, a copiar las dos muestras anunciadas, ambas de "estudio mecánico", a saber: la ficha del primer tubo probado de hormigón y la del último probado de mortero sólo; si bien suprimiendo en ellas los principales respectivos cálculos que al margen de cada ficha acostumbro yo poner siempre.

Ficha núm. 6

VI-5 marzo 1930

PEÑA CASTILLO

con mortero "mediano"

Volumen grava en el tubo...	79,387	litros.
--- arena seca en ídem...	69,067	---
--- pasta normal cemento ...	28,864	---
--- macizo de arena ...	44,203	---
--- macizo mortero...	73,067	---
--- macizo grava ...	42,869	---

Relación mortero a grava:

15,34 mortero: 9,00 grava.

La resistencia unitaria del hormigón de este tubo, a los 15 días, ha sido 20,42 kg:cm².
Y la del mortero correspondiente (V. ficha roturas 20 marzo), a la misma edad 23,57 kg:cm².

La observación de la superficie de fractura (casi nada de piedras rotas) hizo pensar que la rotura se determinó en la adherencia de grava y mortero; y en la ficha núm 1 se ve confirmado esto, así como que la resistencia de dicha adherencia ha aumentado, alcanzando los 23,57 kg:cm², o quizá más, a los 32 días, y que la resistencia de un 50 por 100, por lo menos, de la grava no es inferior a lo mismo.

Para determinación del límite de resistencia de esta grava se deberá romper uno de los tubos de hormigón de 4 marzo 1930 a los 90 días, y si la fractura no muestra abundancia de piedras rotas, esperar a 210 días para la rotura del otro.

Ficha núm. 5

III-4 marzo

MORTERO «MEDIANO»

(V. fichas núm. 8 y núm. 11.)

Volumen arena seca en el tubo...	105,677	litros.
--- pasta normal...	44,088	---
--- macizo arena...	67,633	---
	111,721	---

Relación entre árido y pasta:

5 pasta normal: 7,66 macizo arena.

Resistencia unitaria, a los 213 días (V. ficha roturas 3 octubre) ... 29,85 kg:cm².

Esta resistencia, a la edad de siete meses, está en perfecta armonía con la corriente o más general demostrada por los tubos de este mortero a los 15 días, que fué 23,57 kg; pero es bastante inferior a la demostrada a la misma edad por igual mortero en el hormigón (véanse fichas núm. 3, núm. 29 y núm. 31), la cual ha estado más de acuerdo con la de las galletas de 6, 25 y 50 golpes de pisón rotas en el laboratorio en 16 de octubre, o sea a los 210 días.

También en las roturas a los 15 días de edad, en aquellos tubos de hormigón en que se ha podido determinar seguramente límite inferior a la resistencia del mortero (véanse fichas núm. 21 y núm. 22), ha sido ésta superior a la máxima obtenida en los tubos de mortero sólo a igual edad, y de acuerdo con la demostrada por las galletas de igual mortero en el laboratorio (véase ficha roturas 5 abril), y aun más con las de 25 golpes de pisón que con la de 6 golpes. Y en ninguno de los demás tubos de hormigón probados a los 15 días se puede señalar el hecho contrario.

En las roturas a 90 días no se ha podido hacer comparación con la resistencia de tubos de mortero sólo, por no haberse probado ninguno de éstos; pero en las fichas núm. 28 y núm. 30) se ve también el acuerdo del mortero del hormigón con las galletas de igual mortero rotas a la misma edad (véase ficha roturas 23 junio); y no se puede considerar en contradicción con ello la ficha núm. 4, pareciendo lo más probable que en el tubo correspondiente ha roto el mortero a un esfuerzo comprendido entre 28,91 kg y 37,38 kg/cm², si no ha sido a este último.

Este fenómeno, tan cierta y tan consecuentemente confirmado en todas las etapas de la prueba, tanto para el mortero 1:2 como para el mortero 1:1, tiene una explicación completamente satisfactoria, a saber: la fuerza viva de las percusiones del pisón (en la elaboración de los tubos) se transmite más eficazmente y con más igual o uniforme repartición hasta todas las porciones del mortero, tan pequeñas como queramos imaginarlas, cuando existen bien repartidas dentro de la masa las piedras o elementos de la grava, que actúan de precioso auxiliar de transmisión y repartición de aquella fuerza viva; y sabido es, y confirmado bien notoriamente está en las galletas de laboratorio de esta misma prueba, lo que la cuantía de este factor del apisonado o batido de la masa influye en la resistencia que ésta adquiere al fraguar y en la de todos los momentos subsiguientes de su existencia, sea por razón del calor o tem-

peraturas producidos, o sea por lo que sea. Si, a mayor abundamiento, se repasan las fichas de fabricación, se verá que, para casi todos los tubos de mortero sólo, el tiempo invertido en la elaboración es menor que el invertido en los de hormigón y, a lo sumo, para alguno que otro, igual; pero la cantidad de mortero que entra en un tubo de mortero solo es mucho mayor que la de cualquiera de los de hormigón, y es, por tanto, menor en el de mortero solo la cantidad de fuerza viva recibida por cada centímetro cúbico de mortero, a más de repartirse peor aquélla en los de mortero solo, por actuar directamente cada percusión sobre una porción relativamente grande de masa y no existir elementos sólidos y de suficiente volumen que la transmitan y repartan en el interior de la misma.

Esta misma observación nos explica la aparente paradoja de ser casi iguales las resistencias, a los 15 días, de las galletas de mortero 1:1 a las de las galletas de mortero 1:2, y aun haber superado en algo éstas a las otras, si quien mejora en calidad mecánica y poder de adherencia, por efecto de las percusiones anteriores al fraguado, es la pasta del cemento. Observemos, en efecto, que en la galleta de mezcla 1:1 hay, a igualdad de volumen o masa con la de mezcla 1:2, bastante más pasta de cemento, mientras, a igualdad de golpes de pisón, ambas reciben igual cantidad de fuerza viva, o sea mucha menos por milímetro cúbico el cemento de la mezcla 1:1 que el de la mezcla 1:2. Y si la resistencia del árido es superior a la que a la edad de que se trata puedan alcanzar el aglutinante más o menos golpeado y su adherencia, o sea, si el conjunto no ha de romper hasta que el estuerzo unitario general llegue a igualarse con la resistencia del cemento, es perfectamente natural que la galleta de mortero más rico, y aun una galleta de cemento puro, rompa antes que otra de mortero 1:2 que ha recibido igual castigo de pisón al ser fabricada.

Hay que advertir que tanto el razonamiento del último párrafo como el del que le precede se hacen sobre el supuesto racional y verosímil de que los elementos inertes del árido (arena y grava) hacen, durante el apisonado, casi el exclusivo oficio de *transmisores* y no consumidores de la fuerza viva, y que donde ésta o casi toda ella se *consume* o hace su efecto definitivo es en la pasta de cemento.

* * *

Y queda para un postrer artículo el resumen general de los resultados del ensayo.

Angel BLANC
Ingeniero de C., C. y P.

Efecto regulador de un embalse

La obtención de la curva de riada agua abajo de un embalse, en que se conoce la riada afluente y las características del vaso y aliviadero, es tema que hemos visto tratado en diversos lugares, pero en todos ellos en forma que no satisface, por la poca exactitud y escaso carácter práctico de los métodos propuestos.

Casi todos ellos son resoluciones gráficas de la ecuación diferencial $S dh = (Q - q) dt$, en la que S representa la superficie, h la altura sobre el labio del aliviadero, Q el caudal afluente que depende de t , y q el caudal vertido, que es función de h . El problema está en hallar q en función de t .