

# Los aglomerantes en las obras marítimas<sup>1</sup>

## VIII

### Compacidad de las mezclas

Va se ha dicho que, en general, dentro de lo que consientan las condiciones económicas, conviene sea lo más alta posible la compacidad de las mezclas. En las construcciones marítimas, a más de esa limitación, ha de tenerse en cuenta que el predominio de granos finos en la arena, incluso el polvo inerte, a la vez que reduce la compacidad, debilita la resistencia química.

Con los materiales que suelen usarse, llega la compacidad en las mezclas frescas de morteros y hormigones, respectivamente, a 0,75 y 0,85; pero con frecuencia han de considerarse en la práctica muy aceptables las de 0,70 y 0,80, y aun menos. Las máximas que cita Bolomey de 0,83 para el mortero y 0,88 para el hormigón, es de suponer sean muy excepcionales. Después de la cura la compacidad aumenta con el agua que se combina.

La máxima compacidad, en seco o después del amasado, se consigue en los morteros plásticos cuando el volumen absoluto de los granos finos es igual, próximamente, al de la mitad de los restantes, siendo tanto mayor dicho máximo cuanto más escasos son los granos medios y de mayor tamaño los grandes y, en general, cuanto más pronunciadas resultan las diferencias entre las dimensiones de las distintas categorías de granos. En el mortero de los hormigones de máxima compacidad aquella relación, en vez de 0,5, parece se acerca a 0,6.

Así, pues, para obtener un mortero plástico de la mayor compacidad posible, convendría emplear arena de grano tan grueso como permitiese la fábrica a que se destinase, desprovista de granos finos y aun medianos, con la adición de cemento en la proporción antes indicada. Con arena gruesa, de 40 por 100 de huecos, y cemento con peso específico igual a 3,1, la cantidad de Portland necesaria ha de exceder algo de 930 kilogramos por metro cúbico aparente de arena. Ese mismo mortero ofrecería, a igualdad de cemento y plasticidad, la máxima resistencia.

Un volumen absoluto de cemento puede ser sustituido por otro igual de arena de parecida finura sin que sufran alteración la compacidad del mortero u hormigón de que forme parte, ni el agua necesaria para alcanzar la misma plasticidad.

La adición, cada vez mayor, de elementos finos a un mortero u hormigón que tenga pocos o carezca de ellos, a la vez que la plasticidad, y también la resistencia y la impermeabilidad, hace aumentar la compacidad hasta llegar a un máximo en que ésta por lo menos empieza a decrecer. Desde el punto de vista de la compacidad y de la resistencia es más de temer el exceso de elementos finos en el mortero que en el hormigón, y algo análogo cabe decir de los granos medianos.

Cuanto mayor es la finura del polvo añadido, más

aumenta la plasticidad de una mezcla y también su compacidad y resistencia; pero estas últimas mejoras, cuando la dosis de aglomerante es bastante alta, pueden ser contrarrestadas, y aun con exceso, por la mayor cantidad de agua que se requiera para conservar la misma plasticidad. Por esta causa, y a la vez para evitar el peligro de fraguados rápidos y no incurrir en gastos excesivos de molienda, no parece haya de ofrecer gran interés que el polvo añadido sea de finura extremada, bastando, si no es cemento, la tenga, a lo sumo, igual a la de éste.

Los morteros más compactos y, de ordinario, los mejores morteros no son precisamente los que producen los mejores hormigones, lo que puede explicarse por la dificultad de llenar una parte de los huecos de la piedra con el mortero cuando éste no contiene elementos en cantidad y finura adecuadas.

A la mayor compacidad de la grava o piedra partida de un hormigón no corresponde generalmente la mayor compacidad de éste, ni siquiera parece que ambas cantidades guarden entre sí una relación directa; pero la mayor proporción de huecos en la piedra aumenta, naturalmente, la de mortero necesario.

Es muy interesante observar que, desde el punto de vista de la resistencia y quizá también desde el de la impermeabilidad, esa reducción de huecos en la piedra no entraña precisamente economía en la cantidad de aglomerante, puesto que la resistencia del hormigón depende sólo de la cantidad de cemento contenida en el metro cúbico y de la compacidad, función ésta a su vez de la composición granulométrica de la mezcla, en la que el aglomerante, sin alterar dicha compacidad, puede ser sustituido por arena de finura parecida.

A igualdad de las demás condiciones, para obtener hormigones de la mayor compacidad posible se requiere:

1.º, que los elementos más pequeños de la piedra tengan dimensiones 2,5 veces, por lo menos, mayores que las correspondientes a los más grandes de la arena. Si se emplean para formar los hormigones los tipos de ésta, *A*, *B* y *C*, antes indicados, el menor tamaño de los elementos de la piedra habrá de ser superior a 20, 12,5 y 8 milímetros, respectivamente, para cada uno de dichos tipos; 2.º, que la relación del volumen aparente del mortero al de los huecos de la piedra que se emplee varíe entre 1,30 y 1,40, con término medio, bastante general, según parece, igual a 1,35.

Independientemente de la proporción de mortero, la compacidad del hormigón dependerá de la relación de elementos finos, incluso aglomerante, a medianos y gruesos contenidos en la arena, pues ella influye directamente en que el mortero pueda llenar más o menos completamente los huecos de la piedra. Se observará que si aquella relación es adecuada, es decir, si la compacidad del hormigón no difiere mucho de la máxima, como primera aproximación podrá admitirse que la cantidad de sus huecos, aparte los que pueda tener el mortero en sí, será muy pequeña, y en tal caso, llamando *V* al volumen de vacíos de un metro cúbico aparente de piedra, resultará, con

<sup>1</sup> Véase el número anterior, pág. 93.

pequeño error, que en uno de hormigón entrarán  $\frac{1}{1 + 0,35 \times V}$  metros cúbicos de piedra y  $\frac{1,35 \times V}{1 + 0,35 \times V}$  metros cúbicos de mortero, referidas ambas cantidades a los volúmenes aparentes. Para valores de  $V$  comprendidos entre 0,38 y 0,48, que suelen considerarse los extremos correspondientes a la piedra, las cantidades de ésta que entren en un metro cúbico de hormigón variarán entre 0,88 y 0,86 metros cúbicos, y las de mortero entre 0,45 y 0,55 metros cúbicos, resultando que la relación de mortero a piedra estará comprendida entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{2}{3}$ , muy aproximadamente.

La primera de las condiciones arriba indicadas parece obedecer a una ley general, según la que la composición granulométrica de los áridos que produce la más elevada compacidad posible de las mezclas, se obtiene clasificando los granos en categorías de dimensiones crecientes y estableciendo una discontinuidad sensible, o salto, entre las dimensiones correspondientes a las categorías inmediatas. Son de gran importancia para proyectar las mezclas esta observación y las dos condiciones enunciadas.

Nótese, de paso, que el cumplimiento de la primera de éstas generalmente dará lugar a la producción de un sobrante de piedras de tamaño pequeño que no tendrá aplicación en el hormigón que lo motive; pero que acaso podrá utilizarse en otro de características distintas.

Aceptando las dos condiciones indicadas, resultará, de ordinario, que la compacidad podrá elevarse hasta cierto límite aumentando la proporción de elementos finos, sobre todo si se emplean arenas naturales, como no se trate de mezclas en que, por las resistencias elevadas que deban ofrecer, sea también relativamente grande la proporción de aglomerante que reclamen. En cambio, la misma compacidad disminuirá, de ordinario, con el aumento relativo de granos gruesos y medianos de la arena; éstos, sobre todo, frecuentemente resultan a tal fin excesivos. De todas suertes, puede admitirse que la compacidad es función de la relación

$$\frac{\text{elementos finos (incluso aglomerante)}}{\text{elementos medianos y gruesos}}$$

la cual suele tener un máximo que en el hormigón corresponde, aproximadamente, según parece, a la fracción 0,6 y en el mortero a la 0,5.

#### Permeabilidad de morteros y hormigones

Las leyes que rigen la permeabilidad en morteros y hormigones no son tan conocidas aún como las referentes a su plasticidad, compacidad y resistencia.

En cuanto a morteros, la permeabilidad crece a medida que disminuye la proporción de cemento, y a igualdad de ésta aumenta mucho con la de granos finos. Férret admitía, además, que el mínimo de permeabilidad se produce cuando son iguales, próximamente, el volumen absoluto de granos gruesos y finos, siendo pequeña la proporción de los medios.

Según las investigaciones de Lea, realizadas en la Universidad de Birmingham, la permeabilidad de los hormigones es, a la vez, directamente proporcional a la cantidad total de vacíos y agua contenidos en la unidad de volumen (porosidad), al cuadrado del radio

medio de los conductos capilares por donde circula el agua, a la presión, a la temperatura y a la superficie, e inversamente proporcional a una potencia superior a la unidad del espesor de los macizos.

Según esto, la permeabilidad es función lineal de la compacidad, que decrece con el aumento de ésta.

La permeabilidad disminuye más rápidamente que aumenta la proporción de cemento, porque éste reduce a la vez la porosidad y las dimensiones de los conductos de circulación.

La permeabilidad decrece con el tiempo, en proporción al contenido de cemento; ello explica la ventaja grande de retrasar la inmersión del hormigón cuanto sea posible para aminorar los efectos de las infiltraciones.

Parece que la resistencia a la tracción tiene con la permeabilidad más íntima relación que con la resistencia a la compresión. A igualdad de piedra y arena, la permeabilidad varía en proporción inversa a la primera de aquellas resistencias.

La composición granulométrica de arena y aglomerante es el factor que determina la permeabilidad de una mezcla. La arena fina produce alta permeabilidad y pequeño decrecimiento con el tiempo, a menos de emplear un exceso de cemento.

Cabe aceptar que las conclusiones de Lea son aplicables, no sólo a los hormigones, sino también a los morteros en buena parte.

#### Análisis de una mezcla

Las indicaciones siguientes señalan la marcha general que puede seguirse para determinar las características de una mezcla.

Deben ser anotadas las duraciones de los plazos de iniciación y terminación de fraguado, lo que tendrá interés principalmente cuando se empleen mezclas de productos hidráulicos en los que aquellos plazos sean distintos y cuando se añadan polvos de puzolana o inertes de gran finura.

Si no fuesen conocidos, deben hallarse los pesos específicos de la piedra, arena y aglomerante a emplear, así como los pesos del metro cúbico aparente de los dos primeros materiales en estado completamente seco y sin comprimir. Para esto último, valiéndose de una pala o cuchara, se vierten aquéllos hasta el enrase exacto en cajas que pueden tener base de 50 centímetros en cuadro y altura de 20 centímetros para las arenas y gravillas finas y de 50 para las gravas y piedras.

De la relación en que se hallen los pesos de los volúmenes aparentes y absolutos de los materiales se deduce la proporción de vacíos de arena y piedra.

Se forma el hormigón mezclando, primero, el aglomerante y arena y luego el mortero resultante con la piedra, fijando con toda exactitud las proporciones de los materiales, traducidas al efecto en peso. Ha de emplearse y medirse la cantidad estricta de agua que la mezcla requiera para alcanzar con el batido homogeneidad comparable a la que ha de obtenerse en las obras y el grado de plasticidad que previamente se hubiese fijado, para lo cual podrá utilizarse la prueba por aplastamiento.

Con la masa así formada se llena una vasija de capacidad exactamente medible, que podrá ser de unos 50 a 100 litros para los hormigones de elementos de no gran tamaño y mayor para los demás, distribuyéndola y apretándola con una varilla en forma que

resulte con el grado de compresión análogo al que se pretenda tenga la masa al ser depositada en los moldes.

Del peso total de la mezcla contenida en la vasija se deducirá el de un litro de ella, y, conociendo las proporciones empleadas, el de cada uno de los componentes que en él entran, así como sus correspondientes volúmenes absolutos.

La suma de éstos, relativos a las cantidades de aglomerante, de arena y de piedra, será la medida de la compacidad de la mezcla. La del hormigón después de fraguado y endurecido será mayor porque vendrá aumentada con el volumen, generalmente importante, representativo del agua que haya entrado en combinación, variable con diversos factores, pero muy principalmente con la cantidad de cemento y con el tiempo. En lo que sigue, al hablar de compacidad, se hará referencia a la de la mezcla fresca, pues la del hormigón endurecido, íntimamente relacionada con ella, es menos precisa y de más delicada y larga determinación.

De estos datos se deducirán también las proporciones que integran un metro cúbico del hormigón analizado, en estado fresco, bien en peso, bien en volúmenes aparentes.

La misma mezcla, si se ha formado en cantidad suficiente, podrá utilizarse en la determinación de la carga de rotura por compresión, y, si es preciso, de la impermeabilidad.

Para practicar el ensayo de rotura, y a falta de otras, pueden seguirse las normas fijadas por la Comisión alemana<sup>1</sup> del hormigón armado, o las que establece el Pliego de condiciones de los Estados Unidos de América, relativo a la ejecución del hormigón<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Aparece un extracto en el *Manual del Ingeniero y Arquitecto*, por M. Foerster, y en otras publicaciones alemanas.

<sup>2</sup> Publicado en 1927. La parte a que se hace referencia figura también en los *Proceedings of the Am. Soc. of Civil Engineers*, octubre de 1924, y en los *Transactions* de la misma Sociedad, año 1925.

Los cubos de prueba empleados en el Laboratorio central para ensayo de materiales, anejo a la Escuela de Ingenieros de Caminos, tienen de 15 a 28 centímetros de lado, con lo cual puede adoptarse tamaño adecuado al de la piedra que se emplee. Los que prescriben las normas alemanas han de tener 30 centímetros, dimensión que aun resultaría exigua para piedras de 10 centímetros. La rotura de los cubos mayores requerirá una prensa de gran fuerza, que no siempre se encuentra, fuera de los laboratorios muy bien equipados, a los que en tal caso sería preciso remitir las probetas con la oportunidad debida, a menos que se considerase preferible recurrir al expediente de aserrar los cubos grandes formando otros que no conviene tengan menos de 7 centímetros de lado. Ha de hacerse notar que los resultados no son absolutamente comparables cuando no es el mismo el tamaño de los cubos de prueba.

Los ensayos de rotura se hacen normalmente a los veintiocho días; pero si en el aglomerante entrase la puzolana y se dispusiera de tiempo suficiente, sería preferible realizarlos a los noventa.

En este último caso convendría que el desmolde no fuese hecho hasta los tres días, sobre todo siendo algo elevada la proporción de puzolana, debiendo cuidar que las probetas se hallen siempre en atmósfera intensamente húmeda.

No existen hasta el presente normas generalmente aceptadas que marquen el procedimiento para determinar la permeabilidad; pero a más de la forma de la masa, de la superficie y de la manera de obrar sobre ella el agua, lo esencial será medir exactamente la cantidad de ésta que en la unidad de tiempo atraviese la probeta de hormigón, y claro está que la edad de éste, así como el espesor, superficie, presión y temperatura habrán de ser iguales en todas las pruebas para que los resultados sean comparables.

José NICOLÁU  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

## Estado actual de algunas cuestiones de Geofísica geológica<sup>1</sup>

### III

#### Movimientos orogénicos

Estos movimientos afectan a zonas de la corteza mucho más restringidas que los epirogénicos, constituidas por largas y, de ordinario, estrechas fajas, en las que queda muy alterada la forma primitiva. Según Stille, los movimientos epirogénicos son evolutivos, y en ellos se producen lentamente los hundimientos de unas regiones, las elevaciones de otras y aun plegamientos de gran radio, mientras que los orogénicos son de carácter revolucionario, en los que se rompe la marcha evolutiva de los epirogénicos con perturbaciones locales que producen acentuadas modificaciones en la estructuración de la región por ellos afectada.

En unos movimientos orogénicos predominan los

plegamientos de las rocas; en otros, las fracturas llamadas diaclasas. Conviene a este respecto tener presente que las rocas se comportan como materiales quebradizos, plásticos, viscosos o flúidos, no sólo según sus propios caracteres, muy distintos, por ejemplo, en los granitos, calizas, areniscas, arcillas, etcétera, sino que también varían aquellas condiciones, según las circunstancias y duración de los esfuerzos a que están sometidas. De acuerdo con lo que se ha dicho al tratar del sima, haremos presente que una roca que es quebradiza ante un esfuerzo de compresión violento y de corta duración, pasará a comportarse como plástica cuando aquél actúe de un modo progresivo y continuado durante un largo lapso de tiempo.

En virtud de lo anteriormente dicho pueden dividirse las cordilleras en dos tipos principales: las de plegamiento, que son las más frecuentes e importantes, y las formadas por macizos no plegados o cuyo plegamiento es anterior a la formación de la montaña.

<sup>1</sup> Véase el número anterior, página 95.