

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

NECESARIA PARA TODOS LOS CUERPOS FACULTATIVOS DE OBRAS PÚBLICAS, TORREROS DE FAROS, CONTRATISTAS Y CUANTOS TENGAN RELACIÓN CON AQUÉLLAS

AÑO XLIII

SERIE 6.ª

Carreteras y caminos vecinales, puentes, ferrocarriles, tranvías, canales, ríos, riegos, desecamientos, puertos, alumbrado marítimo, aplicaciones de la electricidad y abastecimiento de aguas.

TOMO II

NÚM. 26.

SE PUBLICA TODOS LOS JUEVES

Redactor-Presidente. Ilmo. Sr. D. Luis Sáinz, Inspector general de primera clase del Cuerpo de Ingenieros de Caminos.
Redactores. Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
 D. Luis Gaztelu, Profesor de la Escuela de Caminos.
 D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores. Todos los Ingenieros de Caminos.

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9.—Madrid.

SECCION DOCTRINAL

INFLUENCIA DE LA ARENA

EN LA RESISTENCIA Y COMPACIDAD DE LOS MORTEROS HIDRÁULICOS

I

Aun cuando es de todos conocida la gran influencia que ejerce la arena en la calidad del mortero, muchos constructores sólo se fijan en la mayor ó menor cantidad de sílice que contiene, siendo éste, en efecto, un factor muy principal, pero no el único que debe tenerse en cuenta para conocer el valor que pueda tener una arena determinada.

No se da, en general, bastante importancia al tamaño de los granos, ó sea á lo que se llama *composición granulométrica*. Los experimentos llevados á cabo por Mr. Feret, jefe del laboratorio de ensayo de materiales hidráulicos de Boulogne-Sur-Mer, son concluyentes. Los *Annales de Ponts et chaussées* insertaron en Julio del 92 un trabajo de Feret sobre la compacidad de los morteros hidráulicos, en que demostraba la influencia que ejercía en los mismos el tamaño de los granos de la arena. Posteriormente ha publicado un informe sobre composición granulométrica de las arenas en el *Recueil des travaux de la Commission des méthodes d'essais des matériaux de construction*, y por último, en el núm. 10 de la Revista internacional *Les matériaux de construction*, hace un resumen del primer trabajo, que creemos puede interesar á parte de los lectores de la REVISTA, por cuya razón vamos á dar á conocer los principales resultados.

1.º Si se amasan las mismas cantidades *en peso*, de modo que se formen morteros plásticos de un

mismo cemento y de arena de la misma clase, pero cuyos granos sean de diferente tamaño, haciéndolos variar desde la arena fina hasta la muy gruesa, se verán diferencias muy notables en la calidad de los morteros obtenidos, observándose que son menos compactos y resistentes los correspondientes á la arena de granos más finos y regulares.

El cuadro siguiente resume algunos de los resultados obtenidos.

RELACION DE LOS PESOS DE CEMENTO Y ARENA	1 de cemento $\times$ 3 de arena.
Peso del cemento contenido en un metro cúbico de mortero.....	De 400 á 510 kilgs.
Volumen absoluto (cemento + arena) que entra en la unidad de volumen de mortero.	De 0,580 á 0,734 »
Volumen de los huecos observados en el mortero después de seco.....	De 0,03 á 0,19 »
Resistencia á la compresión por centímetro cuadrado después de estar nueve meses en el aire y tres sumergidos en agua del mar.....	De 80 á 310 »

2.º Se observan diferencias análogas y la misma ley general, respecto á la resistencia y compacidad para los morteros dosificados en determinado peso de cemento por metro cúbico de arena. Los experimentos se han hecho con dos clases de mortero plástico, uno que contenía 250 kilogramos de cemento y otro 500 kilogramos por metro cúbico de arena de la misma clase, pero cuya composición granulométrica variaba conforme se indicó en el número anterior. Estos morteros corresponden á la dosificación en volu-

men de 1 × 6 para el primero y de 1 × 3 para el segundo. Los principales resultados se resumen en el cuadro siguiente:

PESO DE CEMENTO por metro cúbico de arena	250 kilgs.	500 kilgs
Volumen de mortero obtenido por metro cúbico de arena....	De 0,940 á 1,030	De 0,970 á 1,180
Peso del cemento contenido en un metro cúbico de mortero	243 á 266 kgs.	424 á 516 kgs.
Volumen absoluto de materias sólidas (cemento arena) que entran en el metro cúbico de mortero.....	0,570 á 0,737	0,565 á 0,728
Volumen de los huecos en el mortero después de seco.....	0,145 á 0,330	0,093 á 0,210
Resistencia á la compresión por centímetro cuadrado después de un año de inmersión en agua del mar.....	De 30 á 105 kgs.	De 75 á 260 kgs.

3.º Respecto á los efectos de descomposición observados por la acción del agua del mar son diferentes, según se consideren morteros que estén sumer-

gidos en agua tranquila ó bien que estén atravesados por una corriente de agua que se filtre por los poros del mortero.

En el primer caso la descomposición se produce primero y principalmente en los morteros hechos con arenas que solo tengan granos de grueso medio ó grandes; los últimos son más propiamente gravillas, y al mismo tiempo pobres en cemento, de modo que presenta la pasta una contextura cavernosa. Como, por otra parte, en la práctica no se da el caso de estar los morteros en estas condiciones, los resultados obtenidos no presentan interés para las aplicaciones.

En las obras hidráulicas, sobre todo en el mar, la presión del agua es variable, ya por las diferencias de nivel de la superficie, ya porque no es, en general, la misma en el paramento y en la parte posterior de las fábricas; de modo que si los morteros no son absolutamente impermeables para la presión máxima que deben soportar, se establecerán á través de ellos corrientes continuas ó alternativas, que facilitarán la renovación del agua que esté en contacto con el cemento. En este caso los experimentos demuestran de un modo concluyente que los morteros se descomponen tanto más rápidamente, cuanto mayor sea la proporción de granos finos que entre en la arena que sirvió para su confección.

El estado siguiente resume los resultados obtenidos con bloques cúbicos de 0,07 de lado, hechos con un mismo cemento y en condiciones idénticas, y sometidos, después de haberlos dejado secarse al aire durante once días, á una filtración continua de agua del mar, con la presión debida á 2 metros de carga.

Composición de los morteros en volúmenes absolutos.	PROPORCIÓN EN VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS ELEMENTOS QUE FORMAN LOS MORTEROS				Tiempo en que se presentaron las primeras grietas.	Estado de los morteros al cabo de tres años de filtración (1)
	Cemento.	Arena fina.	Arena de granos medios.	Arena de granos gruesos.		
1 de cemento por 5 de arena.....	1	5	0	0	3 días.....	Los cubos de estas cinco series se han descompuesto cayéndose en pedazos, y no queda más que un núcleo esférico.
	1	4	1	0	1 semana...	
	1	4	0	1	1 ídem.....	
	1	3	2	0	1 ídem.....	
	1	3	1	1	2 ídem.....	
	1	3	0	2	2 ídem.....	Grietas profundas.
	1	2	3	0	2 ídem.....	Ligeras grietas.
	1	2	2	1	2 ídem.....	Grietas marcadas.
	1	2	1	2	3 ídem.....	Ligeras grietas.
	1	2	0	3	»	Intacto.
	1	1	4	0	3 semanas...	Ligeras grietas.
	1	1	3	1	4 ídem.....	
	1	1	2	1	3 ídem.....	
	1	1	1	3	26 meses....	
	1	1	0	4	»	
	1	0	5	0	»	Intactos.
	1	0	4	1	»	
	1	0	3	2	»	
	1	0	2	3	»	
	1	0	1	4	»	
	1	0	0	5	»	
2 de cemento por 4 de arena.....	2	4	0	0	3 semanas...	Ligeras grietas.
	2	3	1	0	»	Intactos.
	2	3	0	1	»	
	2	2	2	0	6 semanas...	Ligeras grietas.
	2	2	1	1	»	Intacto.

(1) Al cabo de siete años y medio de filtración el estado de los morteros es igual próximamente al indicado á los tres años.

De los experimentos resumidos en el cuadro anterior resulta, que aun morteros muy ricos en cemento, en que éste entra en proporción de un medio ó sea próximamente 800 kilogramos de cemento por metro cúbico de arena; cuando ésta es fina, se han empezado á descomponer á las pocas semanas, mientras morteros confeccionados con una parte de cemento y cinco de arena de granos medios ó gruesos, se conservan sin alteración después de haber estado sometidos á la presión de agua de dos metros de altura, durante más de siete años, á pesar de que el peso de cemento no es más que de 325 kilogramos por metro cúbico de arena. Estas mismas conclusiones están confirmadas por otros muchos experimentos que sería largo enumerar.

4.º Puede también hacerse palmaria la superioridad de los morteros de arena gruesa sobre los de arena fina, aunque los últimos sean más ricos en cemento que los primeros, determinando las resistencias

de morteros plásticos, dosificados en proporción creciente, con arena de granos de diferente grueso, y deduciendo por interpolación la dosificación que corresponde para obtener una resistencia determinada. En el cuadro siguiente se consignan los resultados obtenidos de este modo, y al mismo tiempo se ha calculado el precio á que resultará el metro cúbico de cada clase de mortero.

Los datos que han servido de base son los siguientes:

	Arena fina.	Gruesa.
Peso del metro cúbico de arena, determinado con 50 litros.....	1.460 k.	1.670 k.
Precio supuesto al metro cúbico de arena al pie de obra. Pesetas.	1,50	10,00
Precio supuesto á la tonelada de cemento al pie de obra. Pesetas.		60,00

Resistencia á la compresión por centímetro cuadrado después de cinco meses de inmersión en agua del mar.....	Kgs.	25	50	75	100	150	200	250	300	350	485
Peso del cemento que hubiera sido preciso mezclar con un metro cúbico de arena para obtener las resistencias correspondientes.....	Arena fina.... K.	231	403	544	670	950	1345	1900	2645	4030	Cemento puro.
	Arena gruesa. K.	120	182	251	320	437	980	725	980	1635	
Volumen de arena que entra en un metro cúbico de mortero.....	Arena fina.... m. ³	0,980	0,900	0,839	0,800	0,714	0,624	0,527	0,432	0,321	0
	Arena gruesa. m. ³	1,050	1,040	1,025	1,010	0,965	0,920	0,857	0,773	0,602	
Peso del cemento que entra en un metro cúbico de mortero.....	Arena fina.... K.	226	362	457	535	679	838	1000	1142	1293	1722
	Arena gruesa. K.	126	189	257	321	422	513	620	756	985	
Precio total del cemento y de la arena que entran en un metro cúbico de mortero.....	Arena fina.... Pts.	15,03	23,07	28,68	33,30	41,81	51,22	60,79	69,17	78,06	103,32
	Arena gruesa. Pts.	18,06	21,74	25,67	29,36	34,97	39,98	45,77	53,09	65,12	

Los resultados insertos en el cuadro anterior demuestran que el peso del cemento que es necesario mezclar con la arena fina, es más de doble, del que hace falta con la arena gruesa, para obtener igual resistencia. También se ve por los números inscritos en las dos últimas líneas, que para la misma resistencia siempre es mayor el precio total de arena y cemento cuando se emplea la fina, y eso que en los datos que han servido de base para este cálculo, la arena fina se cotizó á 1,56 pesetas y la gruesa á 10,00 pesetas, y aun así el empleo de esta última resulta más económico, ofreciendo además los morteros mayores garantías de seguridad respecto á la resistencia á la descomposición por efecto de las sales contenidas en el agua del mar.

De lo expuesto se deduce claramente que cuando no haya en la proximidad de las obras más que arenas finas, debe á toda costa tratarse de explorar los yacimientos ó playas lejanas, aunque el metro cúbico resulte á un precio mucho más elevado, en la seguridad de que su empleo será más ventajoso, bajo todos conceptos.

Mr. Feret demostró en su Memoria del año 92

que el mejor mortero se obtenía mezclando el cemento con arena de granos gruesos, sin que contuviese otros de tamaño medio, ni finos, en la proporción de dos volúmenes de arena por uno de cemento, la cual corresponde en peso, próximamente, á 600 gramos de cemento por kilogramo de arena. En la naturaleza no se encuentran generalmente arenas que tengan esa composición granulométrica, y por eso conviene escoger aquellas que se aproximen más á esa arena tipo.

II

Los experimentos completos para determinar el valor de una determinada clase de arena, como material de construcción, deben comprender:

1.º Composición granulométrica, naturaleza mineralógica, homogeneidad y forma de los granos.

2.º Determinación de la cantidad de cemento que debe emplearse con cada clase de arena para obtener una resistencia dada y elección de la más ventajosa.

3.º Comprobación de los ensayos de laboratorio indicados en los dos números anteriores, con pruebas hechas en las mismas obras para tener en cuenta las

diferencias que se observan, tanto por el diverso modo de operar, cuanto por las variaciones en la cantidad de agua que contiene la arena, que es un factor que influye bastante, siendo muy difícil, en la práctica, obtener perfecta uniformidad en este concepto.

El detalle de los experimentos comprendidos en el primer grupo, puede verse en la nota, ya citada, inserta en el tomo IV de los publicados por la Comisión francesa, nombrada para estudiar los métodos de ensayo de los materiales de construcción. Aquí bastará indicar que son siempre preferibles las arenas silíceas de granos angulares, gruesos y homogéneos. La clasificación de granos gruesos, medios y finos, corresponde a los obtenidos por el cernido en cedazos de plancha metálica perforada, con agujeros circulares, que tengan diámetros de 0^m,005, 0^m,002 y 0^m,0005. La arena gruesa es la que pasa por el cedazo de 5 milímetros y queda en el de 2 milímetros, la arena media, la que pasa por el cedazo de dos milímetros y queda en el de medio milímetro, y la fina la que atraviesa este último. En la práctica las cantidades que corresponden a estos gruesos se indican (5 — 2) (2 — 0^{mm},5) y (< 0^{mm},5).

Los ensayos granimétricos se suelen hacer operando con cincuenta litros de arena, bien seca, de las clases cuyo peso se quiere determinar; pero ya se ha indicado que los resultados obtenidos no pueden servir de base para clasificar los morteros, en peso de cemento, por metro cúbico de arena, porque éste en la práctica tiene un peso muy variable, según el grado de humedad y según el volumen que se considere.

No obstante, los resultados de los experimentos de laboratorio ya dan idea muy clara y aproximada de los que se obtendrán con los morteros hechos en las condiciones ordinarias de la obra, y bajo este punto de vista son siempre útiles y recomendables. Si además se repiten con mortero tomado en las obras, se hallará un coeficiente de corrección que puede considerarse bastante exacto para todas las aplicaciones.

Las pruebas deben tener proporciones varias de cemento y arena, entre las cuales estén comprendidas las que se usan en la práctica, para obtener así datos de carácter general.

La dosificación ha de hacerse siempre en peso, porque resulta más exacta que en volumen. Como está ya probado que con cuatro ó cinco tipos de mortero se obtienen todos los datos necesarios para determinar el valor de las combinaciones corrientes, bastará hacerlos con las dosis de 10, 15, 20, 25 y 30 partes, en peso, de cemento por 90, 85, 80, 75 y 70 partes, en peso, de arena, que vienen a comprender pastas que contienen entre 180 y 600 kilogramos de cemento por metro cúbico de mortero. En todos los experimentos se supone el mortero plástico sin exceso de agua; pero no puede indicarse un tanto por ciento fijo de agua para cada proporción de arena y cemento, porque la cantidad varía con el estado de humedad de la arena, y con la clase de cemento y aun dentro de la misma clase, con el grado de molido.

Los cementos de Portland requieren menos agua

que los de fraguado rápido; para los primeros, la proporción varía de 10 á 12 por 100 del peso de la arena y cemento en seco, y los segundos suelen necesitar de 15 á 18 por 100; siendo aun mayores las variaciones posibles, con el grado de molido y la mayor ó menor rapidez del fraguado. De modo que siempre convendrá hacer algún experimento previo, para determinar la cantidad de agua necesaria para obtener el mortero plástico, con el cemento y la arena que se trata de ensayar.

Los experimentos para ser completos han de comprender los de resistencia y compacidad. Los primeros deben hacerse determinando las cargas de rotura por tracción y por compresión, pues las pruebas de tensión, que son las más admitidas y corrientes, no dan á veces resultados aceptables, si se opera con moldes de cinco centímetros cuadrados de sección y las arenas son de granos muy gruesos.

Como en España hay muy pocos servicios que tengan aparatos para hacer pruebas de resistencia, indicaremos cómo puede determinarse el valor del mortero, bajo el punto de vista de la compacidad.

Para esto basta llenar con el mortero plástico una medida de capacidad conocida, enrasar perfectamente y pesar. No debe operarse con más de $\frac{1}{3}$ de litro, por la dificultad de llenar bien los moldes de masa homogénea y libre de aire. Del peso obtenido se deduce el de un litro, y multiplicando por 1.000 el de un metro cúbico. Siendo conocidas la composición, en peso, de los diversos morteros, es fácil determinar los pesos de cemento y arena que contendrá el metro cúbico de mortero, y dividiendo, por el peso específico del cemento y de la arena (1), se obtendrán los volúmenes absolutos de estos dos materiales, que entran en el metro cúbico de mortero. Esta suma se suele expresar por $(c + a)$ é indica el volumen real de materias sólidas que entran en un mortero dado.

Los experimentos demuestran, que aparte la resistencia, que es proporcional á la cantidad de cemento, la calidad de los morteros, tiene íntima relación con el valor de $c + a$, y en particular la permeabilidad, y por tanto la tendencia á la descomposición por efecto de las sales contenidas en el agua del mar, de modo que cuanto mayor sea la suma $c + a$, menor será la tendencia á la descomposición para cada uno de los tipos de mortero ensayados.

Como la resistencia ya hemos indicado que es proporcional al peso de cemento, se puede graduar á voluntad, sin modificar el volumen absoluto de materias sólidas, reemplazando cierta cantidad de cemento por otra igual de arena muy fina, ó viceversa.

Lo que debe evitarse es que los morteros estén compuestos de una mezcla de arena, con granos gruesos, medios y finos, puesto que siendo siempre ventajoso el empleo de arenas de grano grueso, solo puede admitirse que haya granos finos, en pequeñas dosis y en equivalencia de los de cemento, para alcanzar la proporción más conveniente entre los granos

(1) Para el cemento puede tomarse de 3,10 á 3,15 y para la arena sílica, ó con poca mezcla de caliza, de 2,60 á 2,65.

gruesos y finos de toda la materia que constituye el mortero, contando entre los últimos las partículas de cemento.

Mr. Feret formula del siguiente modo sus conclusiones respecto al particular:

1.º *Los morteros plásticos que, en unidad de volumen, contienen el mayor volumen absoluto de materia sólida ($c + a$), son aquellos en los cuales no hay grano de tamaño medio, y los granos gruesos se hallan en la proporción, próximamente, doble de los granos finos, comprendiendo en éstos los del cemento.*

2.º *Cuando se realiza esta condición, el valor de ($c + a$) es tanto mayor cuanto más sea la diferencia de tamaño entre las dos clases de granos, gruesos y finos, que entren en el mortero.*

Para comparar los morteros hechos con diversas clases de arena, y con proporciones variables de cemento, lo más cómodo es construir para cada clase de arena un diagrama, en el cual se tomen por abscisas el tanto por ciento, en peso, de cemento que entre en cada mortero, con relación á las partes, también en peso, de cemento y arena en seco; y por ordenadas: primero, el valor de $c + a$; segundo, el precio del metro cúbico de mortero; tercero, las resistencias obtenidas al cabo de un periodo igual para todos los morteros. De este modo se tendrán tres líneas para cada clase de mortero ensayado.

Si se quiere formar una idea de las propiedades del mortero, con relación al precio, puede dividirse el precio á que resulte el metro cúbico, por la resistencia obtenida al cabo de veintiocho ó de noventa días. Así se puede saber el precio de cada clase de mortero, por metro cúbico y por kilogramo de resistencia. Estos precios van decreciendo á medida que se trata de morteros más ricos en cemento, y en general varían mucho según la clase de arena empleada. En los últimos experimentos publicados por monsieur Feret, que comprenden los ensayos realizados con siete muestras de arena para determinar cuál era la más ventajosa para las obras del puerto del Havre, los precios por metro cúbico y kilogramo de resistencia variaban desde 0 frs., 52 á 1 frs., 17 para el mortero de 10 de cemento por 90 de arena y 0 frs., 16 á 0 frs., 41 para el mortero de 30 de cemento por 70 de arena, vemos que en ambos la proporción del precio se aproxima á la relación de 1 á 4.

Lo dicho creemos que demuestra de un modo concluyente la gran influencia que ejerce la composición granulométrica de la arena en las propiedades del mortero y la conveniencia de hacer ensayos previos, cuando se trate de elegir la clase que debe emplearse en la confección de morteros hidráulicos.

Vigo 17 de Diciembre de 1896.

FERNANDO GARCÍA ARENAL.

EL PUERTO DE VALENCIA

III

DEFECTOS DEL PUERTO ACTUAL

El principal y más grave defecto del puerto es la escasez de fondo en la boca. La sonda máxima en ese punto, que en 1852 era de 13 metros, en 1878 de 10 metros y de 9^m,30 en 1886, es en la actualidad de 8^m,36, harto escasa y peligrosa en un lugar por donde los barcos que durante un temporal traten de tomar puerto han de pasar con el movimiento de cabeceo que la marejada les imprime.

Se han representado la playa y las curvas de 4 metros y 8 metros de profundidad, correspondientes á los años 1868 y 1892-93 en la figura 1.^a, y en ella puede verse que el avance al S. del puerto es mayor que al N. Esta diferencia se explica por el juego de las corrientes, debidas á las marejadas del primero y segundo cuadrantes. En efecto, las marejadas más frecuentes y más importantes, que son las del primer cuadrante, producen un transporte de arenas de N. á S., mientras que la marejada del SE. que domina en el verano origina un movimiento de las arenas de S. á N. El movimiento resultante es de N. á S. y en consecuencia hacia el S. debía inclinarse el delta del río Turia. Pero desaguando este río en el punto en que desagua, encuéntranse sus aluviones dentro del abrigo que los diques del puerto proporcionan, y no pueden, por lo tanto, ser empujados hacia el S.; antes bien, son en parte arrastrados hacia el N. por la revesa que en ese abrigo se forma cuando hay marejadas del primer cuadrante. En cambio cuando las arenas marchan de S. á N. nada hay que se oponga á su movimiento y el antepuerto es invadido por el aluvión marítimo fluvial. Las arenas que caminan de N. á S. se acumulan en parte en el ángulo formado por el dique de levante y la playa de Pueblo Nuevo del Mar y en la boca del puerto, donde hay tranquilidad relativa, y por consecuencia de esta detención, y en virtud del predominio de la acción de N. á S. sobre la de S. á N., debe notarse al S. del puerto, donde cesa la influencia de los diques, un retroceso de la playa, y esto es lo que se observa efectivamente en la playa llamada de Pinedo.

A los aterramientos opónese el trabajo de las dragas. Empléanse en la actualidad dos dragas-gánguiles de rosario y una pequeña Priestman. Esta se usa en la dársena para dragar al pie de los muelles, en los rincones y en general en los puntos en que no pueden hacerlo las dragas de rosario, que necesitan mucho espacio para tender sus cadenas. Y no hace falta más en la dársena donde los aterramientos son insignificantes. Las de rosario dedícanse especialmente á los dragados en el antepuerto, donde, como hemos dicho, está el peligro. Una de ellas ha de estar constantemente dragando en el delta del Turia, cortándolo paralelamente al dique de levante; la otra en la boca. En estos últimos años el dragado realizado