

LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL

PARA EL

ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

POR

D. J. EUGENIO RIBERA

Ingeniero de Caminas, Canales y Puertos (1).

INFLUENCIA DE LA ARENA EN LOS MORTEROS

Proposición de Mr. Seligman en el Congreso de Stokolmo. — Razonamiento con que la apoyó. — Criterio erróneo de los autores sobre la calidad de la arena. — Superioridad de las redondas a las poliédricas y de las gruesas a las finas. — De como puede influir más la arena que la cal ó cemento en la resistencia de un mortero. — Reglas prácticas para elección de arenas. — Mezcla volumétrica preferible. — Exclusión de las arenas finas. — Explicaciones plausibles con que creo justificar algunas anomalías.

En la sesión del tercer día del Congreso de Stokolmo y en la Sección, 2.^a «Piedras naturales, artificiales y materiales conglomerados» el Ingeniero austriaco Mr. Seligman presentó y defendió una proposición, solicitando que la *Asociación internacional* se ocupara de estudiar y discutir de un modo preciso las condiciones que en cada clase de morteros debía exigirse a las arenas.

El Presidente de la Sección, Mr. Guerard, habiendo contestado personalmente a Mr. Seligman que creía excusada la discusión sobre este tema, por cuanto cada Ingeniero podía, según los casos y circunstancias locales, escoger y señalar las condiciones más convenientes, pedí yo la palabra para defender la tesis sostenida por mi colega Mr. Seligman, y resumiré aquí lo que tuve la honra de manifestar a la Sección

«Es cierto que los últimos estudios hechos por algunos especialistas, y en particular los de nuestro colega M. R. Feret (2) han demostrado con experiencias concluyentes la influencia decisiva que pueden tener las arenas sobre los morteros que forman; también es verdad que muchos Ingenieros han reconocido que podían emplearse, no sólo sin dificultad, sino con éxito, arenas gruesas y redondas sin cribar; pero no es menos cierto que estos trabajos y opiniones son poco conocidos, y no han entrado a formar doctrina, ni se citan en la mayor parte de los tratados de construcción que sirven de libros de texto en nuestras Escuelas.

«Sin ir más lejos en la obra *Materiales de construcción* del distinguido Ingeniero D. Manuel Pardo (pág. 93), que es el libro más completo que se ha escrito en español, ó inspirado en los tratadistas franceses más clásicos, se señala como arena preferible la de mina a la de río, y ésta a la de mar; se prescribe que deben tener las arenas *grano igual*; y, por último, se manifiesta que dan más adherencia las arenas de *grano áspero y anguloso* a las de granos lisos y redondos.

«Debaure, en su *Tratado de ejecución de trabajos* (pág. 191), aconseja análogas condiciones, y con estas ideas se han educado la inmensa mayoría de los constructores, muchos de los que, dedicados a la práctica de su profesión, no están al corriente de los ensayos y estudios que se prosiguen sobre este particular por Ingenieros y sabios que aisladamente han reconocido como inexactas en gran parte las opiniones generales que se tienen sobre la influencia y calidad de las arenas en los morteros.

(1) Véase el número anterior.

(2) M. R. Feret, Jefe del Laboratorio de puentes y calzadas, de Boulogne sur Mer, con quien he trabado personal amistad, es el autor de la segunda parte de la *Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur*, de la Bibliothèque Lechaix, y ha publicado además varios estudios sobre *Essays de arenas* y *La constitución íntima de los morteros hidráulicos*. Este último estudio ha sido traducido por nuestro compañero D. Fernando G. Arenal, y publicado en los números de Septiembre y Octubre en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

A. MORALES AMORES.



denominado «El Risco», agua arriba de Manzanares el Real, de 181 metros de altura; otro en la «Presa de Garra», de 77; y el tercero, de 93 metros, en el «Puente de Marmota». Sin entrar en detalles de cálculos, por no molestar más la atención de los lectores de la REVISTA, haré constar que, teniendo presente el caudal del estiaje en cada salto y el aumento que produzcan los pantanos superiormente situados, el aprovechamiento mínimo en el primer salto será de 300 litros por 1", en el segundo de 320, y en el tercero de 1.270; de suerte que la fuerza mínima que podrá obtenerse será de 724 caballos de vapor en el primer salto, 323 en el segundo y 1.575 en el tercero. En total, 2.627 caballos.

No toda esta fuerza es debida a los pantanos, porque siempre podría aprovecharse en los saltos el caudal ordinario del río, pero como me estoy refiriendo a la fuerza mínima y he partido en los cálculos del supuesto deducido de los aforos practicados de que el estiaje del Manzanares es de 150 litros en el primer salto y de 100 en los dos restantes, sólo podrían obtenerse 533 caballos de vapor y, por consiguiente, los pantanos producen un aumento de fuerza representada por 2.039 caballos.

En resumen, las ventajas que producirá la construcción de tres pantanos y una presa subálvea en el río Manzanares, serán las siguientes: regularizar y normalizar su corriente, evitando ó aminorando al menos los daños que causan los desbordamientos y las inundaciones; aumentar en todo tiempo su caudal ordinario y muy considerablemente en las épocas de sequía y de escasez, por cuyo medio se desempeñará satisfactoriamente el servicio de limpieza en baños y lavaderos; se evitarán ó atenuarán los gérmenes del paludismo y se arrastrarán los productos del alcantarillado, impidiendo las emanaciones deletéreas que ponen en peligro la salud pública de la corte y que hacen insalubre y hasta inhabitable la zona Sur de la capital, y el resto del curso del río hasta su desembocadura; se mejoran y amplían los riegos de Manzanares el Real; se podrán convertir en terrenos de regadío de primera clase más de 2.000 hectáreas de seco, y, por último, se aumentará la potencia de los saltos de agua proyectados en 2 039 caballos, aumento que representará en la capital una fuerza efectiva de más de 1.200 caballos de vapor, después de descontar las pérdidas que resaltan en la práctica por aplicación de la fuerza y por el transporte de la energía eléctrica.

Y no se crea, sin embargo, que tan importante éxito exija sacrificios muy extraordinarios. ¡Cuántas empresas más costosas y de menor interés se proyectan y se realizan! En Madrid mismo hay proyectada una carretera de circunvalación que enlace en el extrarradio las de primer orden que parten de Madrid. ¿Hay términos de comparación entre los escasos beneficios que esta carretera puede reportar y los que seguramente retirarían de las obras hidráulicas del Manzanares el Estado, la agricultura, la industria y el vecindario de Madrid?

Pues bien, con el coste que han de originar aquéllas, no sólo hay suficiente, sino sobrado para la ejecución de éstas, y sus resultados, como he dicho, son incomparables.

Hay más: estas obras pueden estudiarse y emprenderse independientemente del plan general de pantanos que pudiera tratarse de llevar a cabo, puesto que su índole especial, por lo que afecta a la higiene de la capital de España, exige que se amplíen en cuanto sea posible para lograr ese objeto en el más alto grado de perfección que permitan las condiciones y circunstancias de la corriente y del cauce del río, siendo sensible que no se hayan realizado antes estas obras.

¡Parece increíble que el río Manzanares tenga que despedir al siglo XIX en los mismos ropajes en que lo recibió al nacer!

»Yo mismo hubiera seguido en la misma ignorancia, si numerosas experiencias efectuadas en las obras del puerto del Musel no me hubieran llamado la atención sobre resultados que al principio creía extraños y en contradicción con las ideas mamadas en libros y escuelas. Penetrado de la idea de que las arenas poliédricas eran mejores que las redondas, porque *se les supone* mayor adherencia, ¡cuál sería mi asombro al ver que la sección de fractura de muchas briquetas de ensayo, presentaba granos redondos partidos por el medio, demostrando así la extraordinaria adherencia con el cemento, de las superficies lisas de los granos!

»Con el mismo cemento y en idénticas condiciones obtenía mayores resistencias empleando arenas sin cribar y redondas, que con las arenas tipos remitidas por los fabricantes de cemento (1) y no me expliqué tan anómalos resultados hasta que conocí los estudios ya citados de M. Feret, que demuestran a la sociedad la excepcional importancia que tienen las arenas en la resistencia de los morteros. Bástenos decir que de los ensayos hechos por M. Feret, queda demostrado que la resistencia de los morteros obtenidos combinando un mismo peso de cemento con arenas mineralógicamente idénticas, podían variar en la proporción de uno a tres, según las proporciones de los tamaños de los granos de arena.

»Esto por lo que se refiere al tamaño de la arena, pues también debe estudiarse la influencia que puede tener su composición mineralógica, sobre la que aún no están de acuerdo los especialistas, pues mientras M. Feret opina que las arenas calizas son las que dan morteros más resistentes, y cree que no influyen sensiblemente ni el que sean las arenas redondas ni poliédricas, ni el que contengan restos de conchas, otros Ingenieros creen que son mejores las arenas silíceas (2) y deben preferirse los granos ásperos y los desprovistos de restos de conchas (3).

Por último, tampoco están muy de acuerdo los Ingenieros, respecto á la importancia que tiene la limpieza de las arenas.

La mayor parte de los constructores cuando no encuentran arenas limpias, creen que anulan este evidente defecto forzando la cantidad de cal ó cemento; ningún contratista repara en traer á gran coste y de largas distancias el cemento bueno; pero se resiste á imponerse un largo transporte para la arena y á lavar las arenas, y, sin embargo, este cálculo es, á mi juicio, erróneo y antieconómico.

»¡Cuántas veces nos habrá ocurrido á todos rechazar arenas sucias, casi terrosas, y cuánto trabajo me ha costado convencer á los maestros canteros y mamposteros de que les tenía más cuenta traer de lejos arenas limpias, que forzar hasta la saciedad la cantidad de cal, con lo que creían remediar á la deficiencia de la arena!

»Yo creo que tiene por lo menos tanta importancia la limpieza perfecta de la arena y su composición granulométrica como la calidad de los cementos. Casi estoy por decir que en la resistencia del mortero influye más la arena que el cemento.

»Y en prueba de esta aparente paradoja, me bastará manifestar el hecho de que con una mala arena fina y sucia no se obtendrá nunca un mortero resistente, por muy bueno que sea el cemento, mientras que con una buena arena limpia y gruesa resultan excelentes morteros aunque se mezclen con cales ó cementos defectuosos.

»Si, pues, los hechos parecen demostrar la influencia decisiva de las arenas, deben considerarse éstas como materiales de

construcción, cuyo estudio merece el interés de la Asociación Internacional, y no como una materia inerte, de interés secundario, por cuya razón opino que la proposición de Mr. Seligman, no es sólo de gran oportunidad ó importancia, sino que entra de lleno en el programa de los problemas que debe estudiar y resolver la Asociación para que cesen las diferencias de criterio que subsisten entre los constructores y se formulen reglas precisas y prácticas que permitan apreciar exactamente las condiciones de ensayo, las cualidades físicas y químicas que han de exigirse á las arenas en cada clase de obras».

A estas ó parecidas palabras se redujo mi discurso, y debo decir en honor á la verdad, que no sólo M. R. Feret que asistía á la sesión, y que era de todos los presentes el más autorizado en la sección, asintió á cuanto había manifestado, sino que las razones por mí expuestas parecieron convencer á muchos colegas, acordándose después en sesión plena que dicha proposición se sometiese al examen de la Junta directiva.

De entonces acá, hánse preocupado los Ingenieros de esta cuestión, y no hace mucho que una Comisión de Ingenieros y Arquitectos italianos, encargada de hacer los estudios y experiencias sobre los hormigones armados, ha formulado una serie de reglas generales de gran utilidad para los constructores y entre los que extraeremos los que se refieren á las arenas (1):

«La arena empleada en la fabricación de los morteros no debe contener sustancias terrosas ni ser de grano fino. La arena pulverulenta no da más que morteros de poca resistencia. La mejor arena es la compuesta de granos gruesos (dependiendo esto, sin embargo, de la aplicación de que se trata) mezclados con granos finos, pero no pulverulentos; la relación más conveniente de esta mezcla es de dos volúmenes de granos gruesos por uno de granos finos. Los morteros que produce esta arena son compactos, de gran resistencia y económicos, puesto que exigen menos cemento á igualdad de resistencia.»

Creo de utilidad añadir algunas aclaraciones á estas reglas, que resuman, por decirlo así, el estudio de las arenas ya citado que ha hecho M. Feret, y que debieran conocer todos los Ingenieros, puesto que sus resultados confirman en gran parte mis personales experiencias sobre la misma cuestión.

En primer lugar, debemos clasificar las clases de las arenas, y me parece muy recomendable la definición propuesta por M. Feret, que ha sido adoptada por la Comisión francesa de los métodos de ensayo de los materiales de construcción, y es la siguiente:

Granos gruesos: comprendidos entre 2 y 5 milímetros.

Granos medios: idem id. 0,5 y 2 idem.

Granos finos: menores de 0,5 milímetros.

Pueden establecerse hoy día las reglas siguientes, que como se ve difieren esencialmente de las que se establecen en la mayor parte de los tratados de construcción:

Los morteros más resistentes son aquellos cuyas arenas están formadas por una mezcla de granos gruesos y finos, con ausencia de granos medios, los primeros en una proporción doble que los segundos, incluyendo entre estos granos finos el peso del cemento.

Es tanta mayor esta resistencia, cuanto que hay más diferencia entre las dimensiones de los granos gruesos y finos.

Los morteros hechos exclusivamente con granos finos, como son las arenas de dunas y de muchas playas, presentan resistencias muy pequeñas y deben evitarse. Si no pudiere excederse de cierto precio de coste, será preferible reducir la dosis de cemento y traer arenas gruesas de donde las hubiere y hasta fabricarlas por medios mecánicos.

No sólo no hay inconveniente, sino que conviene dejar en las arenas los granillos ó piedras que puedan contener, pues co-

(1) La arena normal que prescribe para los ensayos de cemento el pliego de condiciones del puerto del Musel, es la comprendida entre los tamices de 64 á 141 mallas por centímetro cuadrado, que se mezcla con los cementos en proporciones de 1 á 3 en peso.

Para los ensayos de recepción se emplean arenas poliédricas, procedentes de cuarcitas machacadas; pero se obtienen siempre mayores resistencias con las arenas redondas de la playa del Arbeyal, más gruesas y desiguales, pues se clasifican entre los tamices de 16 á 64 mallas por cm^2 .

(2) *Le béton et son emploi*, par Armand Matriels, pág. 39.

(3) Nuestro compañero D. Fernando García Arenal, es también de esta opinión. (REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.—8 de Septiembre de 1938.)

(1) En la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de 29 de Septiembre, 6 y 13 de Octubre, han resumido estas reglas bajo el epígrafe de «Propiedades de los cementos morteros».

ellas y con iguales proporciones de cemento por metro cúbico se obtienen morteros más ricos.

Es de tal importancia la composición granulométrica de las arenas, que morteros con buena mezcla y 300 k de cemento por m.³, ofrecen cerca de tres veces más resistencia que otros morteros hechos con arenas finas, aunque limpias y 600 k de cemento.

Se obtienen los morteros más compactos, y por ende más resistentes, con granos redondeados, á igualdad de composición granulométrica.

No influye de manera muy sensible en la resistencia de los morteros, las condiciones químicas de las arenas, siendo casi indiferente que sean calizas ó silíceas. Sin embargo, suelen aumentarse las resistencias empleando granos de ladrillos, tejas y algunas escorias de alto horno.

No convienen las arenas blandas, ni porosas. En cuanto á los restos de conchas, sólo son perjudiciales cuando contienen huecos y cavidades en los que pudiera quedar aire ó agua libre, porque se reduciría así la compacidad del mortero.

Pueden sorprender á muchos, algunas de las conclusiones que acabamos de formular, y no habiendo encontrado en los libros y artículos recientes, explicación clara y satisfactoria, y preocupado en buscarla, creo poder, si no justificar, por lo menos aclarar la cuestión con el siguiente razonamiento:

La riqueza de un mortero y su precio, se determina generalmente por el peso de cemento que ha de llevar un volumen determinado de arena, y así es como se fijan en los pliegos de condiciones la proporción de las mezclas, pues el cemento se vende por peso y en cambio en las obras es más fácil medir la arena por volúmenes.

Pero como estos volúmenes de arena varían muy sensiblemente, con las dimensiones y forma en las medidas, el modo de verter la arena, su grado de humedad (1), tratándose de ensayos de laboratorio, cuyos resultados han de sufrir comparación ó servir de tipo, es preciso operar sobre cantidades precisas. Hay, pues, que pesar la arena.

Ahora bien; una arena de granos redondos tiene más densidad que las arenas poliédricas de aristas vivas, pues que éstas se compenetran con menos facilidad. A su vez las arenas redondas sin cribar, pesan más que las de granos iguales, pues los granos finos van ocupando los huecos de los medios y de los gruesos. Es decir, que de todas las arenas, las redondas, de tamaños mezclados, son las que ofrecen mayor densidad y presentan como consecuencia menos huecos.

Luego, á igualdad de pesos de arena y cemento, el mortero formado por arenas redondas mezcladas tendrá un volumen *relativo* de cemento mayor, que se traduce en un grueso mayor de la capa de cemento que envuelve á los granos de arena; mayor adherencia, por lo tanto, por ser más rica la proporción de aglomerante, de donde se deduce lógicamente que han de tener estos morteros mayores resistencias en proporción á la densidad de las arenas.

Esta es la única plausible explicación que puede justificar la superioridad de las arenas redondas á las poliédricas, y de las mezclas de varios tamaños de arena sobre las de grueso uniforme.

Los coeficientes obtenidos en los ensayos dependen, pues, según este razonamiento, de la densidad de la arena.

Ahora bien; en la práctica de las obras no se miden las proporciones de arena por pesos, sino por volúmenes, como hemos dicho, y este solo hecho podría permitir una conclusión inversa, según se deduce del siguiente razonamiento que tampoco he visto emitir por ninguno de los Ingenieros que se han ocupado de la cuestión.

Supongamos que las arenas que se emplean están completamente secas.

(1) Para una misma arena fina de duna el peso de un metro cúbico puede variar de 1.149 k. á 1.720 k., y el volumen de los huecos de 57 á 35 por 100 del volumen total.

A igualdad de volúmenes, pesarán menos las arenas poliédricas y después las redondas de grano igual.

Para un peso determinado de cemento y volúmenes iguales de arena (que es como en la práctica se mezclan los morteros), corresponderá, pues, un peso menor de arena cuando sean éstas poliédricas ó de granos redondos iguales.

Y como quiera que con la compresión que sufren los morteros y el apisonado de los hormigones, se procuran obtener mezclas compactas, es decir, sin huecos, resulta de aquí que, para volúmenes iguales de mortero ó hormigón endurecidos, la proporción de cemento deberá ser mayor con las arenas de menor densidad.

Esta conclusión no demuestra, sin embargo, que los morteros así obtenidos sean más resistentes, puesto que hemos visto que la riqueza en cemento no basta para aumentar la resistencia, tanto más, que no es posible obtener en la práctica arenas absolutamente secas.

Pero evidencia una vez más la decisiva influencia que pueden tener las arenas, sus dimensiones, el modo de medirlas, su grado de humedad, etc., en la resistencia de los morteros, y la importancia que á estos estudios deberán dar los Ingenieros.

Yo, por de pronto, me propongo hacer minuciosos ensayos comparativos que me permitan aclarar algunos puntos dudosos y que comunicaré oportunamente á mis compañeros.

Quizá en el extranjero se adelanta á mis trabajos; pero en todo caso colaboraré con mis estudios á la resolución de este interesante problema.

(Se continuará.)

REVISTA EXTRANJERA

Ventajas de los automóviles.

Entre las varias ventajas que ofrece el empleo de los automóviles, una de las más importantes es la relativa á las condiciones de salubridad de las grandes poblaciones. En efecto, la mayor parte de las basuras de las calles de los grandes centros de población provienen del empleo de caballerías en la tracción de carruajes. Las caballerías, además, contribuyen á la difusión de las inmundicias, sobre todo en los firmes de piedra machacada; con sus herraduras producen y remueven el polvo que, levantado por el viento, forma una neblina molesta y perjudicial que se observa en los lugares de mucho tránsito de carruajes.

Además de la ventaja para la salud pública y de la economía en la limpieza de las calles, el empleo de los automóviles ocasionará grandes economías en los gastos de conservación de los afirmados, puesto que la mayor parte del desgaste de los pavimentos es debida al choque de las herraduras de las bestias de tiro. Suprimidas éstas y generalizado el empleo de las llantas de caucho ó neumáticas, el desgaste de los afirmados será insignificante y quedarán además suprimidos el ruido y la tropedación tan sensibles en las calles empedradas.

Otra ventaja del automóvil, importante en las calles donde hay gran acumulación de vehiculos, es la de ocupar menor espacio que los coches tirados por caballerías. En éstos, el tiro ocupa un espacio mayor que el ocupado por el carruaje.

Resulta, pues, que en lugar de considerar los automóviles solamente como una cosa de curiosidad mecánica para gente caprichosa y adinerada, se debe tender á facilitar su propagación y empleo en vista de las incontestables ventajas que ofrecen para la salubridad, la economía de conservación y el aumento de capacidad de las calles de las grandes poblaciones.

Obras públicas municipales en Chicago.

Durante el año 1898 se ha hecho en Chicago el afirmado de 58,21 kilómetros de calles y avenidas. De los cuales, 30,25 kilómetros de entarugado de cedro, 13,72 kilómetros de asfalto, 10,50 kilómetros de piedra partida, 1 kilómetro de adoquinado de granito y 2,79 kilómetros de ladrillo. Cuenta la ciudad actualmente con 6.353 kilómetros de vías públicas, de las cuales 2.000 se encuentran en buen estado de conservación. En 1899 se afirmaron 240 kilómetros de vías nuevas.

En alcantarillado durante el verano de 1898 se han gastado 5.930.000 pesetas.