

CAPITULO II

Materiales que se emplean en las obras de fábrica

- § I FÁBRICAS DE PIEDRA. — Sillería. — Sillarejo. — Ejecución de las sillerías. — Mamposterías en general, en seco, ordinarias, careadas y concertadas.—Ejecución de las mismas.
- § II FÁBRICAS DE LADRILLO Y MIXTAS.
- § III MORTEROS.—Aglomerantes (cal grasa, cal hidráulica, cementos naturales, cemento de escoria, cemento portland, Sand cement, cemento fundido).— Arenas.— Agua.— Morteros mixtos.— Dosificaciones y resistencias.
- § IV FÁBRICAS DE HORMIGÓN.— Definición.— Recuerdos históricos.— Ventajas del hormigón. — Sus inconvenientes. — Hormigones en masa.— Hormigones ciclópeos.— Mamposterías hormigonadas. — Piedra artificial. — Elección y tamaño de la piedra. — Dosificaciones y resistencias. — Ejecución. — Apisonado.

Aunque en el último Tomo de este Curso, detallaremos los procedimientos de construcción empleados para las obras y puentes de fábrica y hormigón armado, conviene recordar y definir desde ahora y aunque sea someramente, los materiales y ejecución de las fábricas que se emplean en estas obras.

§ I — FÁBRICAS DE PIEDRA

Piedra. — El material clásico y el mejor sin duda alguna, es la piedra. Deberá preferirse la más dura y resistente, pero se

emplea la que se encuentra más a mano, salvo en algunos casos especiales, en que por razones decorativas se lleva piedra de grandes distancias.

Todas las piedras son admisibles, mientras no sean heladizas, ni se descompongan al aire o en el agua.

La piedra se emplea en fábricas de sillería, mampostería u hormigón.

Sillería. — Llámase así la fábrica compuesta por piedras labradas con mayor o menor perfección, según previos despiezos geométricos. Los Arquitectos llaman a esta fábrica *cantería*, sin duda porque los operarios que labran sus piezas son los *canteros*. Los Ingenieros la denominamos *sillería* y cada pieza se llama *sillar*.

Las dimensiones de los sillares varían mucho, según la importancia de las obras, las canteras de que se dispone, los elementos en que han de figurar.

Conviene, en lo posible, reducir las dimensiones de las hilas de 30 a 50 cm como máximo, porque así se facilite su trabajo y sobre todo su asiento en obra, sin perjuicio de la resistencia.

La tendencia actual de los Ingenieros, es suprimir, o por lo menos reducir, el empleo de la sillería de grandes dimensiones, substituyéndola por la que se llama *sillarejo*, en la que con iguales condiciones de labra, no exceden sus hiladas de 25 cm., siendo una fábrica más facil de despiezar y más barata de adquisición, labra y asiento.

Se dice que las piedras están colocadas a *soga*, cuando su mayor dimensión es paralela al paramento; a *tiñón*, cuando es normal, y *llave*, cuando atraviesa todo el grueso del macizo.

Se subdivide la sillería en *recta* y *aplantillada*, según que tenga sus paramentos normales, o que ofrezcan en algún paramento planos o superficies oblicuas o con molduras. En este último caso se debe llamar *moldurada*.

También se subdivide en *sillería fina* o *tosca y aberrugada*, según que se labre todo el paramento con bujarda fina, o que se limite la labra al cincelado de las aristas, dejando el resto del paramento con las creces de cantera.

Ejecución de la sillería y sillarejo. — En las canteras de donde se extraiga, se desbastan las piezas con arreglo a las *Memorias de cantería*, que así se llaman las relaciones de las piedras que se necesitan en la obra. Este desbaste se hace con martillo y puntero y se dejan creces de 2 a 3 cm. en cada cara.

Al pie de obra, se procede a la labra de los paramentos y juntas, estas en una extensión de 5 a 10 cm.; el resto de las piezas puede quedar sin labra.

En las obras públicas en general, la labra puede ser tosca y casi siempre produce mejor efecto la sillería aberrugada que la de labra fina. Es un contrasentido y una carencia de gusto de que adolecen algunos Ingenieros, ejecutar puentes con labra fina en terrenos quebrados o en obras de grandes dimensiones.

¡Cuánto más racional, artística y económica es la sillería aberrugada del puente de Luxemburgo (fig. 1), aunque está

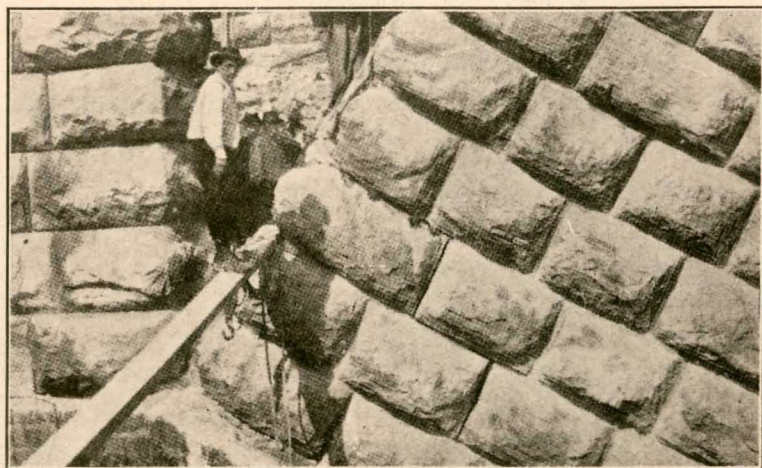


Fig. 1. — Arranque del arco del puente de Luxemburgo.

situado en una población, y la del puente de Waldlibotel (fig. 2) construido en los Alpes Austriacos, que las filigranas de labra que nos exigieron en el puente que representa la figura 3.^a

Pero aun para esta sillería basta, se precisan canteros en abundancia, y el escaso rendimiento de la mano de obra de esta clase de operarios y la resistencia que oponen las socieda-

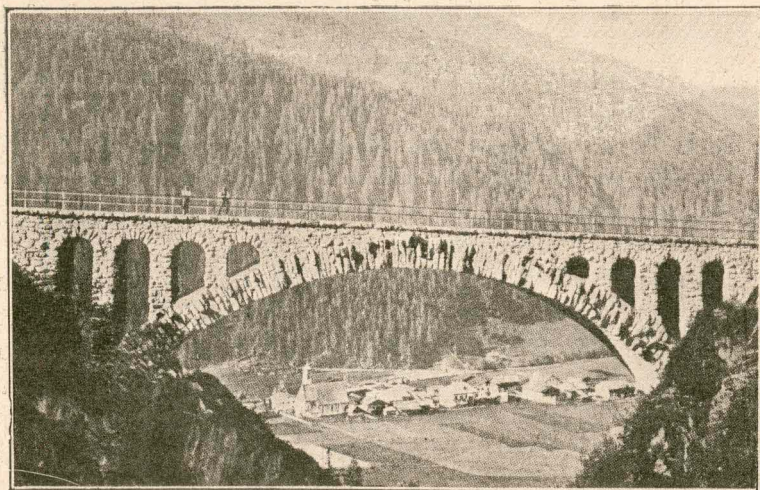


Fig. 2. — Puente de Waldlibotel (Tirol Austriaco)

des obreras a la labra mecánica, tan generalizada en el extranjero y que en España sólo ha conseguido introducirse en algunas provincias españolas,

aconseja por otra parte a los Ingenieros prescindir de la sillería, siempre que pueda substituirse.

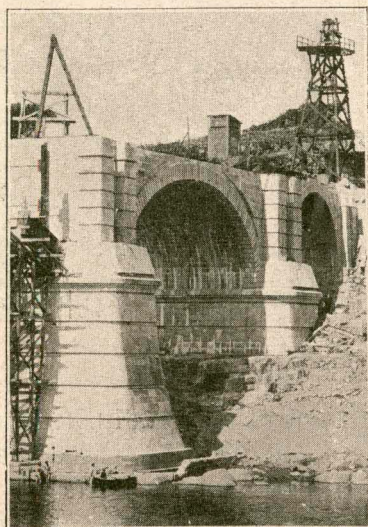


Fig. 3 — Puente de Orense

En todo caso, con los morteros de Portland que hoy se emplean, se obtienen iguales resistencias con fábricas de sillarejo, cuyas piedras son más fáciles de obtener de cantera y más manejables para su asiento, lo que permite una doble economía y satisfactorio aspecto, como se observa en la figura 4.

Pero si aun así resultara esta fábrica de coste muy ele-

vado, puede y debe substituirse con sillería artificial, que describiremos más adelante.

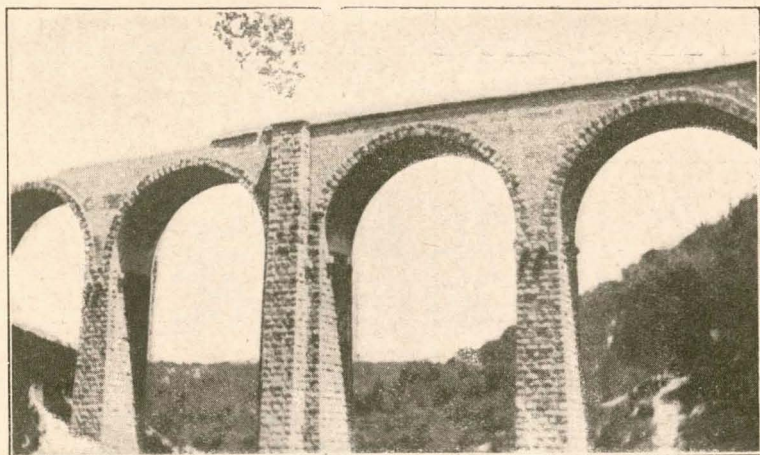


Fig. 4. — Viaducto de Arquija (Ferrocarril de Vitoria a Estella)

Mamposterías. — Llámase así las fábricas edificadas con piedras sin labrar de 20 a 50 cm. de dimensión en cualquier sentido, pero sentadas en obra por operarios llamados mamposteros. — Se dividen a su vez en las siguientes clases:

Mampostería en seco. — Cuando no se emplea mortero para aglomerar los mampuestos, sentando éstos *en seco*, pero escogiéndolos y asentándolos uno por uno para conseguir una fábrica estable.

Mampostería ordinaria. — Se sobreentendía antes que era con mortero de cal grasa. — Cuando en lugar de cal común se emplean cemento o cales hidráulicas, en todo o en parte, se llama *mampostería ordinaria hidráulica* o *semi-hidráulica*. — Para ejecutar esta fábrica, el mampostero elige las piedras y las coloca en obra, preparándolas únicamente con el martillo; utilizando los mampuestos de todas dimensiones, aunque sea en paramentos; Fig. 5.

Mampostería careada. — Para esta clase de fábrica, se eligen los mampuestos más regulares para los paramentos, de manera

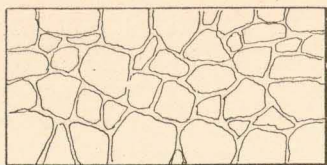


Fig. 5

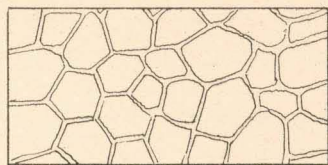


Fig. 6

Fig. 7

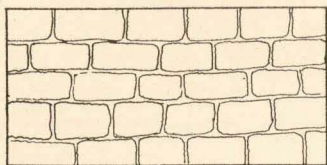
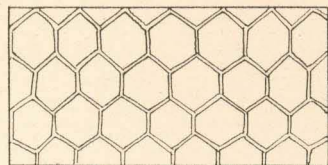


Fig. 8



a suprimir en estos las piedras de pequeña dimensión o ripios, pero este desbaste, sólo se ejecuta con martillo y trinchante, no preocupándose de dar a los mampuestos formas ni dimensiones determinadas; Figs. 6 y 6 bis.

Mamposterías concertadas.—Se desbastan los mampuestos en formas regulares y geométricas, labrándolas en toско con el picón.

Si la cantera es en bancos, la mampostería concertada puede aproximarse por su aspecto al sillarejo, *sentándose por hiladas*; pero no es necesario que las hiladas sean iguales en toda la extensión de la obra; Fig. 7.

Si la cantera produce mampuestos de forma irregular, suelen escogerse los mejores y más iguales, dándoles formas exagonales.—No debe exagerarse la regularidad de estos mampuestos, que producen, a nuestro juicio, mal efecto, pues no es racional una fábrica perfecta con hiladas de apoyo inclinadas, como se ve perfectamente en las figuras 8 y 9.

En las mamposterías, debe cui-

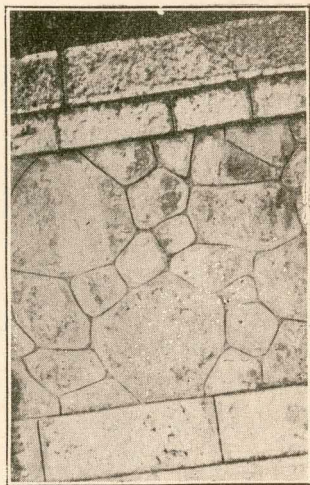


Fig. 6 bis. — Mampostería careada

darse muy especialmente de obtener macizos bien trabados y monolíticos, procurándose ejecutar por capas normales a la dirección de las presiones a que está sometida la mampostería; Fig. 10.

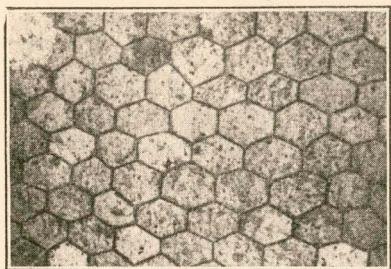


Fig. 9. — Mampostería concertada.

Es también primordial que los mampuestos de las diferentes hiladas de paramentos, tengan tizones desiguales, para que traben con los del macizo y asienten por igual en todo el espesor de la fábrica.

Deben rellenarse todos los huecos con mortero bastante fluido y acuñar con martillo en los huecos mayores, las piedras pequeñas llamadas ripios que puedan penetrar en ellos, siendo condición precisa, que los mampuestos y ripios no estén en contacto directo, sino por intermedio de mortero.

Por último, deben rejuntarse los paramentos descarnando las juntas y rellenándolas de nuevo con mortero fino, fuertemente comprimido. — No es lógico que estos rejuntados sobresalgan del paramento, como se hace algunas veces; las juntas deben por el contrario estar remetidas.

Cada región tiene sus operarios y sus prácticas; pero más que del aspecto exterior de las mamposterías, debe cuidarse el Ingeniero de que la ejecución de las fábricas, responda al papel que cada parte de obra debe desempeñar en la construcción, persiguiendo la trabazón y monolitismo de los macizos, que son las hipótesis admitidas en los cálculos de resistencia.

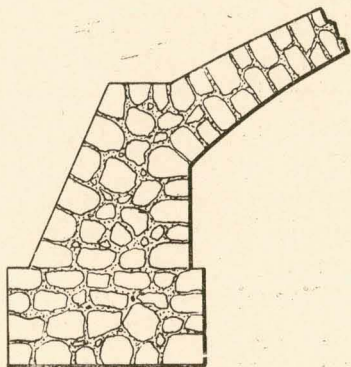


Fig. 10

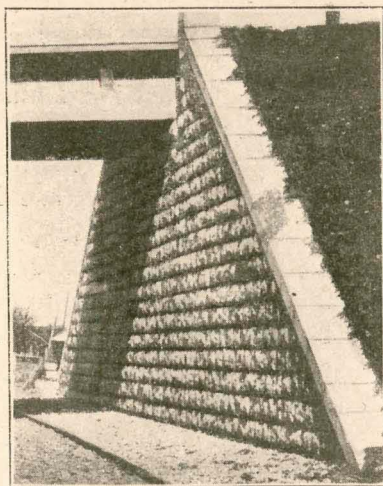


Fig. 11

También en mamposte-rías, resulta de buen efecto el aberrugado de los paramentos, como se aprecia en la figura 11.

En todo caso, la mano de obra de careo y rejuntados de paramentos, debe estar en relación con la visibilidad y la importancia de las obras en que han de ejecutarse. — No debe tratarse de igual manera la mampostería de un muro de un ferrocarril, que el tímpano de un puente de población.

§ II — FÁBRICAS DE LADRILLO Y MIXTAS

En muchas regiones españolas, es forzoso emplear ladrillo, por no existir piedra en las inmediaciones de las obras. — Hasta puede ocurrir que sea preciso fabricar el ladrillo, por no existir tejas en la localidad.

El ladrillo bien cocido, puede tener una resistencia a la compresión, de 40 kgs. por cm^2 , (1) más que suficiente para la mayor parte de las obras, pero su densidad, de 1,8, inferior a la de la piedra, de 2,2 a 3,0, obliga a aumentar los espesores en aquellos macizos, como son los muros y estribos, sometidos a empujes oblicuos, en que su peso es el factor principal de resistencia.

Ejecución. — Para la ejecución de esta fábrica, se emplean varios aparejos del ladrillo, según los países y hasta las regiones; todos son buenos, siempre que alternen los ladrillos de sogá y tizón y no coincidan las juntas verticales en dos hiladas seguidas.

(1) Los ladrillos prensados adquieren resistencias mucho mayores.—En el Laboratorio de la Escuela de Caminos se han ensayado muros de ladrillo prensado en los que se alcanzaron compresiones de más de 100 kgs. cm^2 .

También el rendimiento de los albañiles, que son los operarios que ejecutan estas fábricas, ha disminuido sensiblemente en estos últimos años (1), lo que ha hecho encarecer esta fábrica, pero hay sin embargo regiones, en que, a pesar de ello, es imprescindible su empleo.

Cuando los ladrillos son muy porosos, deben mojarse antes de su colocación, para no obligar al empleo de morteros demasiado fluidos, que se escurren al exterior.

Una vez enrasada una hilada, se extiende una capa de mortero, llamado *tendel*, de unos dos centímetros de grueso, sobre la que se asienta la nueva hilada, cuyos ladrillos deben comprimirse a mano sobre el tendel, para reducir el grueso de éste. — Después, se rellenan bien con mortero las juntas verticales, al mismo tiempo que se extiende el tendel siguiente, pues es también indispensable que no queden huecos en la fábrica.

FIG. 12

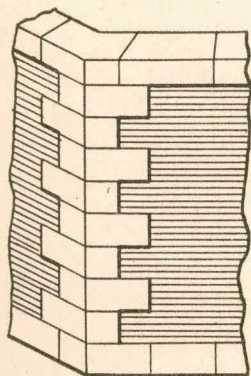
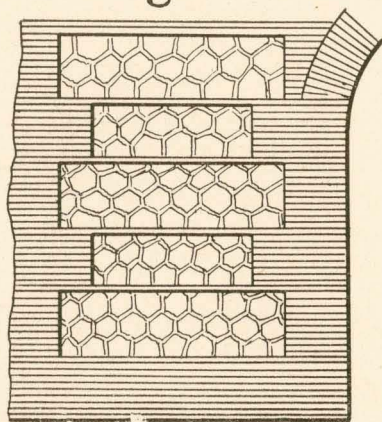


FIG. 13



Fábricas mixtas de piedra y ladrillo.—Se han empleado con alguna frecuencia en obras públicas estas fábricas mixtas, en la que los elementos de más resistencia, como son los frentes de bóvedas, ángulos e impostas, se construyen de sillería, limitándose el empleo del ladrillo al resto de los macizos; Fig. 12.

(1) Un buen oficial de albañil, con un peón, sentaba hace unos años 1.000 ladrillos diarios; hoy, el término medio no excede de 300.

Cuando se empleaban morteros de cal, estas fábricas mixtas, ofrecían el inconveniente de sus asientos desiguales, pues claro es que asentaban más los macizos de ladrillo, que los recuadros de sillería, lo que ocasionaba despegamientos de las fábricas, y muchas veces agrietamientos de los macizos. — Pero como en las obras públicas, ya casi está prescrita la cal, los asientos con los morteros hidráulicos que generalmente se emplean, son menos apreciables.

Otras veces y es muy característico del estilo español, se intercalan *verdugadas* de dos o más hiladas de ladrillo, y se ejecutan los elementos resistentes, también de ladrillo, macizando los huecos intermedios, con *cajones* de mampostería; Fig. 13.

Esta última clase de fábrica, es bastante decorativa, pero su mano de obra es cara y no parece debe aplicarse a obras públicas.

Dimensiones. — El ladrillo corriente español fabricado a mano, tiene $28 \times 14 \times 4$.

El llamado *cerámico*, fabricado mecánicamente, suele tener $25 \times 12 \times 5,5$ y hay tendencia a emplearlos de mayores dimensiones, lo que disminuye algún tanto la mano de obra.

Entran en un metro cúbico de fábrica, de 400 a 500 ladrillos, según sus dimensiones y el grueso de juntas.

§ III — MORTEROS (1)

Llamamos mortero, a la mezcla íntima y húmeda de arena y un aglomerante: cal o cemento.

AGLOMERANTES

Cal grasa. — La cal grasa, producto de la cocción de los carbonatos de cal puros, no suele ya emplearse en obras públicas.

(1) Nos limitaremos aquí a resumir las observaciones de carácter práctico, que la experiencia nos aconseja, pues el estudio completo de los morteros, ha sido objeto de libros especiales muy documentados entre los que citaremos los siguientes:

Candlot — Chaux, ciments et mortiers — 1903.

Feret — Etude expérimentale du ciment armé — 1906.

The Engineering Standards Committee — Specification for Portland cement — 1907.

Morrisson and Brody — Concrete and reinforced concrete — 1920.

Aun suponiendo que fragüe completamente, es decir, que llegue a carbonatarse toda la cal, lo que exige a veces años, cuando los macizos son gruesos, la resistencia a la compresión que alcanzan no suele exceder de 15 kgs. por cm^2 .

Por otra parte, para obtener un mortero plástico y eficaz, hay que mezclar de 300 a 400 kgs. de cal apagada por metro cúbico de arena (la dosificación corriente es en volumen de 1×3).

Pues bien, con morteros pobres de portland de 150^k de cemento por metro cúbico de arena, se obtienen fácilmente resistencias de 20 kgs. por cm^2 a los 7 días y de 35 kgs. al año.

Tienen, pues, más resistencia que los morteros de cal; se consigue una mayor seguridad en el fraguado, menos asientos, más monolitismo de las fábricas, y por último, resultan casi siempre más económicas.

En efecto, aunque el precio de la cal, sea generalmente poco más de la mitad que el del portland, como hay que dosificar el mortero con más de doble peso, la economía de la cal es sólo aparente.

Téngase además presente, que los gastos de transporte, son factores comunes de cualquier aglomerante; por lo tanto, a mayor dosificación, mayor gasto de transporte.

Por todo ello, aun para muros y pequeñas obras de fábrica, aconsejamos el empleo del portland, de preferencia a la cal grasa.

Cales hidráulicas. — Si hubiese en la región cales hidráulicas de historia conocida, podrán emplearse con las dosificaciones que la práctica de la localidad aconseje, pero que no deberá ser menor para obras de fábrica, de 250 kgs. por metro cúbico de arena.

Cementos naturales. — Se fabrican buenos cementos naturales, sobre todo en Zumaya y Cataluña, más baratos que el portland, que tienen justificada reputación, por lo que pueden emplearse sin inconveniente alguno en obras de fábrica; pero debe procederse con cautela en su elección, pues unas veces porque su fabricación ha sido deficiente y otras porque en los almacenes se han *pasado*, como se dice vulgarmente, cuando

quedan inertes por haber absorbido humedad, el caso es que se encuentran muchos cementos naturales, que no endurecen en los morteros.

Pero aun seguros de su fabricación y almacenaje, no deben emplearse morteros de cemento natural con dosificaciones inferiores a 250 kgs. por metro cúbico de arena, forzándose las dosificaciones cuando las fábricas han de estar sometidas a fuertes presiones o en contacto con el agua.

Cementos de escoria. — Son los fabricados con las escorias puzolánicas de altos hornos, mezcladas con cal grasa apagada.

Dan buenas resistencias, que a veces alcanzan a las de los portland.

Cuando haya seguridad en su buena fabricación y sobre todo en la constante composición básica de la escoria, pueden emplearse en los morteros.

Cementos portland. — Es el aglomerante por excelencia, por la perfección y regularidad con que hoy se produce, merced a las instalaciones modernas, adoptadas por todos los fabricantes.

Las marcas nacionales de cemento portland: Tudela-Veguín, Rezola, Asland, Cangrejo, León, Iberia, Sansón, Hispania, etc., consiguen resistencias tan elevadas en el Laboratorio y en las obras, como los mejores del extranjero (1).

Con ellos se han ejecutado miles de obras, muchas de ellas atrevidas, y son contadísimos los casos en que no han dado excelente resultado.

No debemos ocultar que en estos últimos años, se ha observado sin embargo que en algunos puertos, ciertos cementos portland, que en las pruebas cumplieron las condiciones exigidas, han sufrido descomposiciones alarmantes.

La cuestión preocupa seriamente a los Ingenieros y químicos (2) y ha dado lugar a estudios y experimentos, sin que hasta la fecha se haya conseguido unanimidad de opiniones técnicas sobre estos fenómenos.

(1) Se están estableciendo otras nuevas e importantes fábricas en Bilbao, Valencia, Granada, Málaga, Villafranca del Bierzo, etc.

(2) *Revista de Obras Públicas* 15 de Febrero de 1924.—Sobre las nuevas teorías de los cementos silíceos y aluminosos, por D. Eduardo de Castro

No podemos, pues, adelantar juicio definitivo, pero desde luego, por lo que se refiere a la inmensa mayoría de las obras de fábrica, no influenciadas por las aguas del mar, no parece que los cementos portland sufran la menor descomposición.

Deberán sin embargo los Ingenieros, seguir con interés esta cuestión, que ha de dilucidarse seguramente en breve plazo.

Las condiciones que debe tener el cemento portland, se detallan en el Pliego oficial de condiciones vigente, aprobado con fecha 27 de Mayo de 1919, que se incluye como Apéndice n.º 1 de este libro (1).

No por ser conocidas las fábricas, debe dejar el Ingeniero de hacer ensayos de los cementos que en obra reciba; sobre todo, tratándose de cimientos y bóvedas, debe asegurarse de la calidad y grado de conservación del material que ha de emplearse, así como de las condiciones de almacenamiento, pues el cemento portland, aunque menos sensible que los cementos rápidos, también pierde parte o toda su resistencia, si no está a cubierto de las humedades.

Sand cement. — En los Estados Unidos y Alemania, se emplea en estos últimos años una mezcla de *Clinker* (2) de cemento portland con sílice en polvo muy finamente triturada, que pudiéramos llamar *arena-cemento*, con cuya mezcla, más económica que la del aglomerante puro, se obtienen resistencias tan elevadas como de éste.

El clinker admite, sin menoscabo sensible de su resistencia, la adición de 25 % de arena sílicea en polvo; puede aumentarse hasta 35 % la proporción de arena, en obras que no sufran grandes presiones.

Este tipo de cemento, puede ofrecer ventajas económicas y de mayor impermeabilidad, en la construcción de grandes presas, que permiten la instalación al pie de obra de fábricas de clinkers, que se mezclan con la arena, a medida de las necesidades.

(1) Es probable que en breve se modifique algún tanto este Pliego de condiciones, que necesita ser ya modernizado.

(2) *Clinker*, es el producto semivitrificado, que se obtiene en los hornos de las fábricas de portland y que molido finamente, produce el cemento.

Cemento fundido. — Muy recientemente se ha inventado un nuevo cemento llamado *fundido*, esencialmente aluminoso, obtenido por procedimientos eléctricos, que ofrece propiedades que difieren grandemente de las de los portlands (1).

Las características de este cemento, son las siguientes:

Fraguado lento, pero endurecimiento rápido.

Resistencias bastante mayores que los portlands.

Indescomponibilidad bajo la acción de las aguas marinas o sulfatadas.

Los experimentos hechos en el Laboratorio de nuestra Escuela, comprueban estas condiciones y las resistencias considerables que con ellos se alcanzan.

Quizá este nuevo cemento resuelva la cuestión debatida de la descomposición de algunos portlands en el mar (2). En todo caso, su rapidez de endurecimiento que permite el desmoldeado o descimbramiento rápido, facilitará la ejecución de bóvedas y pisos de hormigón.

Pero su precio es aún elevado y su empleo encarece las obras.

Arenas. — Ya en la Memoria que presenté en 1899 a la Dirección de Obras Públicas (3) significué bien claramente la extraordinaria influencia de la calidad de las arenas en la resistencia de los morteros.

Entonces afirmé y no me canso de repetirlo, siempre que se me presenta ocasión, que se obtienen mejores morteros con

(1) «El cemento fundido,» por Alfonso Peña. — *Revista de Obras Públicas* de 1.º de Septiembre de 1923.

«El cemento fundido.» — *Revista de Obras Públicas* de 1.º de Noviembre de 1923, por D. Gregorio Esteban de la Reguera.

«Sobre el cemento fundido,» por D. Félix González y D. E. de Castro. — *Revista de Obras Públicas* de 1.º y 15 de Diciembre de 1923.

«Sobre las nuevas teorías de los cementos silíceos y aluminosos,» por D. E. de Castro y D. José Ferrer y Vidal. — *Revista de Obras Públicas* de 15 de Febrero de 1924 y 1.º de Mayo de 1924.

(2) Algunos Ingenieros preconizan la adición de puzolana al cemento portland y los ensayos efectuados parecen también demostrar, que con esta mezcla se evita la descomposición por el agua del mar. Algunas fábricas españolas, producen ya este nuevo cemento.

(3) Publicada en la *Revista de Obras Públicas* del año 1899 - págs. 253-265 y 270, con el título «La Asociación Internacional para el ensayo de materiales de construcción, en el Congreso de Stokolmo.» En dicha Memoria, señalé las condiciones que deberán reunir las arenas y no necesito rectificarlas al cabo de 25 años de práctica.

buenas arenas y poco o regular cemento, que con mezclas ricas de buen cemento y malas arenas.

Suele ser, pues, más económico, conseguir una arena excelente, ya sea con grandes transportes, ya por lavados o cribados, ya por fabricación mecánica, que aumentar la dosificación del cemento, que es el recurso a que vulgarmente se acude cuando la arena es deficiente.

Resumamos las condiciones que deben reunir las buenas arenas (1).

Composición física: Las mejores arenas son las silíceas, pero si no las hubiere, pueden aceptarse calizas duras, que no sean arcillosas. No deben contener materias orgánicas, ni sobre todo *sulfato de cal*.

Respecto a la presencia de la arcilla en la arena, es cuestión aún no dilucidada.

Muchos Ingenieros, sostienen que la presencia de arcilla u otras materias inertes muy pulverizadas dentro del cemento, no sólo no perjudica, sino que exalta las propiedades del aglomerante.

M. Laclotre, entre otros, ha hecho numerosos experimentos *desconcertantes* (2) que parecen demostrar, que los morteros de portland con arenas conteniendo hasta 50 % de arcilla, dan, al año de fabricados, mayores resistencias a la extensión, que los morteros fabricados con estas mismas arenas perfectamente lavadas.

Pero en cambio, los experimentos hechos en el Laboratorio de nuestra Escuela, con arenas arcillosas, acusan una reducción sensible de las resistencias a la compresión.

Por lo tanto, mientras estas contradicciones no estén dilucidadas, es prudente prescindir de arenas que contengan más del 10 % de arcilla, y aún así debe ser condición precisa, que esta arcilla esté en estado casi impalpable y *en ningún caso en grumos*.

(1) El estado científico de este importante problema, se resume muy claramente en el artículo del Ingeniero M. Feret, que con el título: «Estudios de investigación sobre la mejor composición de los morteros y hormigones hidráulicos» publica la revista *Ingeniería y Construcción* en su número de Julio de 1924.

(2) Influence de l'argile contenue dans les sables, sur la resistance des mortiers.---Annales des Ponts et Chaussées.---2.º Semestre 1916 - pág. 257.

Se emplean también con buen resultado, las *arenas granuladas*, procedentes de la inmersión brusca en agua fría de las escorias de altos hornos. Además de su ligereza, si son básicas, tienen propiedades puzolámicas, que les permite dar hidraulicidad a su mezcla con cal grasa.

Composición granulométrica: De los estudios de Feret y otros muchos Ingenieros que han perseguido este problema, la mejor composición granulométrica de las arenas es la siguiente:

Granos gruesos: (entre 2 y 5 mm.) = 50 %

Granos medios: (entre 0,5 y 2 mm.) = 15 %

Granos finos (menores de 0,05 mm.) = 35 %

que en la práctica puede transformarse en 2/3 de granos gruesos y 1/3 de granos finos.

Claro es, que las condiciones que se exigen para la arena, deben ser más o menos rigurosas, según la clase de obra y los esfuerzos a que estarán sometidos los morteros y hormigones.

No tienen la misma importancia los defectos de una arena, en macizos de relleno, en muros de escaso trabajo, en pequeñas obras, que si se trata de grandes bóvedas o tramos de hormigón armado.—En los primeros caben las tolerancias que la experiencia aconseje; en obras delicadas e importantes, deben extremarse las exigencias.

Por lo demás, no suponen éstas un gasto excesivo, cuando haya que emplear volúmenes considerables de arena.

La trituración mecánica puede entonces costar unas 4,00 ptas. por m³

El cribado en 3 categorías 2,50 » »

El lavado cuando sea necesario 3,50 » »

El aumento de gasto para obtener una buena arena, será siempre menor, que el forzar la dosificación del cemento y se consiguen mayores resistencias según veremos más adelante.

Agua. — No debe contener el agua que se emplee en morteros, sales magnésicas, ni materias orgánicas, ni sobre todo, sul-

fato de cal, que es un enemigo formidable del cemento, al que descompone rápidamente (1).

En obras de puertos puede emplearse el agua del mar, que tiene sin embargo el inconveniente de que retrasa algún tanto el fraguado del cemento y de que produce en la superficie de paramentos eflorescencias de salitre.

Respecto a la proporción de agua que debe emplearse en los morteros, varía de 0,20 a 0,40 del peso del cemento, según las clases de arenas y cementos y sobre todo según la temperatura del ambiente.

Los morteros deben tener el agua necesaria para el fraguados para conseguir una consistencia *plástica*, que puede llamarse así, cuando oprimido en la mano, se puede formar con él una bola, que sólo resude ligeramente y que, abandonada, conserve bien su forma.

Un exceso de agua, retrasa el fraguado y endurecimiento, pero *no influye sensiblemente en su resistencia final*.

Morteros mixtos. — Mientras el cemento portland, por su elevado precio, se consideraba como artículo de lujo, estuvieron de moda los morteros mixtos de cal grasa y cemento, en los que la cal contribuía sobre todo a dar untuosidad a la mezcla y a reducir la permeabilidad del mortero pobre en cemento.

Pero hoy, que el precio del portland ha disminuido sensiblemente, no tienen ya cuenta esos morteros mixtos, cuyas resistencias son bastante inferiores a las de los morteros de cemento de igual coste.

Dosificaciones y resistencias. — Deben variarse, con arreglo a la misión que en cada parte de obra desempeñen los morteros y la clase de arenas y aglomerantes que se empleen.

Conviene tengamos idea de las resistencias a la compresión que se obtienen, según que aumente la dosificación.

Los experimentos hechos en el Laboratorio de nuestra

(1) En algunos túneles del Canal de Aragón y Cataluña, atravesando terrenos yesosos, hubo que proceder a costosas reparaciones de los revestimientos de hormigón descompuestos por las aguas selenitosas. Iguales accidentes han ocurrido en otras muchas construcciones.

Escuela, con arenas y portlands normales dan las *cifras medias* siguientes (1):

		Resistencias: Kgs. por cm ²	
		A compresión	A tensión
1 × 1 en peso	a los 28 días.....	313	39
	a los 365 días.....	400	55
1 × 3 en peso	a los 28 días.....	220	26
	a los 365 días.....	275	40
1 × 5 en peso	a los 28 días.....	128	17
	a los 365 días.....	152	21

Se ajustarán, pues, las dosificaciones, a los trabajos a que estén sometidos los elementos de obra, pero no conviene tampoco variarlas con exceso, para evitar confusiones entre los diferentes tipos de mezclas.

Como reglas prácticas para los casos corrientes, citaremos algunas de las más empleadas:

	Kgs. de portland por m ³ de arena.
En rellenos de macizos, que no estén sometidos a grandes esfuerzos.....	125
En fábricas de pequeña altura y trabajo.....	150
En cimientos ordinarios, muros, estribos, pilas y tímpanos.....	200
En bóvedas y rejuntado de paramentos.....	300
En enlucidos.....	400

Cuando se admitan cementos naturales o las arenas sean deficientes, deben aumentarse por lo menos en 50 % las dosificaciones del aglomerante.

§ IV. — FÁBRICAS DE HORMIGÓN.

Definición — Llámase *hormigón* a la fábrica compuesta por gravas o piedras machacadas, aglomeradas con mortero de cal o de cemento.

(1) En los Laboratorios, se suele dosificar en peso el cemento y la arena; en obra es más práctico y corriente, medir el cemento en peso y la arena en volumen.

Las dosificaciones en peso de 1 x 1 — 1 x 3 y 1 x 5, son equivalentes a morteros de 1600 — 533 y 320 kgs. por metro cúbico de arena.

No se emplean ya morteros de cal grasa; el aglomerante debe ser cal hidráulica o cemento, de preferencia portland.

Recuerdos históricos. — Según Plinio, las columnas del peristilo del laberinto de Egipto (3.600 años antes de J. C.) se construyeron de piedra artificial. La pirámide de Nimo, que es de hormigón, descansa sobre una bóveda de igual material.

Las ruinas del acueducto de Argos y del depósito de Esparta, evidencian que los griegos emplearon también esta fábrica.

Los Cartagineses imitaron aquellos procedimientos, pero fueron los Romanos los que, como en todas las artes constructivas, dieron al hormigón sus más variadas aplicaciones, con cuyos impercederos testigos, han sembrado España, Francia y demás países por ellos conquistados.

El *opus incertum* era una fábrica compuesta por paramentos de mampostería ordinaria en seco, entre las que se apisonaban fuertemente capas de hormigón que los consolidaban.

En el *opus reticulatum*, los paramentos se ejecutaban con mampuestos cuadrados y regulares, que recordaban las mallas de las redes, pero el relleno interior se ejecutaba siempre con hormigón y asimismo rellenaban los huecos de los muros gruesos paramentados con sillería.

Pero además ejecutaron con hormigón grandes bóvedas en edificios, acueductos y cloacas, los cimientos de sus grandes calzadas y hasta consiguieron emplearlo en hormigones submergidos y en diques y muelles de puertos.

Los morteros hidráulicos de los Romanos estaban compuestos de cal grasa y puzolana, material volcánico muy abundante en los alrededores de Nápoles; la confección de los hormigones era perfecta y gracias a ella consiguieron las compacidades y durezas de esas fábricas que perduran a través de los tiempos.

Pero así como todos los progresos formidables de la construcción latina, fueron sumergidos durante quince siglos por la invasión de los Bárbaros del Norte, las obras de hormigón desaparecieron casi en absoluto, hasta principios del siglo XIX en que el invento por Vicat, de los cementos artificiales, hizo recordar las aplicaciones que éstos permitían de aquella fábrica casi olvidada.

El propio Vicat y los Ingenieros Mary y Coignet preconizaron con entusiasmo las variadas aplicaciones del hormigón de portland, pero no consiguieron ni en Francia ni en Bélgica vencer fácilmente las tradiciones constructivas de sillería y ladrillo que allí imperaban.

En cambio, en Alemania e Inglaterra fueron aplicándose cada vez en mayor escala, y en nuestro país, los Ingenieros de Caminos, desde mediados del siglo pasado, emplearon el hormigón, no sólo en obras de cimientos y de puertos, sino en bóvedas de puentes y macizos, cuando no encontraban fácilmente otros materiales más económicos.

Pero la guerra europea de 1914 con el encarecimiento que produjo en la mano de obra, sobre todo de canteros y albañiles, ha sido el más poderoso acicate de las construcciones de hormigón, en general, cuyas ventajas se han acrecentado.

Ventajas del hormigón. — a) *Facilidad de adquisición en sus materiales:* Permite utilizar cualquier clase de piedra con tal de que no se descomponga. Iguales resistencias se consiguen con piedras machacadas, que con gravas de aluvión de 3 a 10 centímetros, como con gravillas de 1 a 3 cm.

En el hormigón no hay desperdicios ni detritus de cantera; toda la piedra sirve y se utiliza.

Pueden emplearse escorias de calderas de vapor o de altos hornos (1).

Asimismo es fácil encontrar arena y si no la hubiese de buena calidad, se obtiene por trituración mecánica de las piedras y detritus.

Por último, la reducción de precios de los buenos cementos, debida al establecimiento en todas las regiones de fábricas modernas de gran producción, y los medios de transporte de que hoy se dispone, permite la económica adquisición de un aglomerante seguro y regular.

b) *Supresión de los operarios de oficio.*—Para ejecutar el hormigón sirve cualquier bracero; el aprendizaje es inmediato.

(1) En el puente de Reading (Pensylvania E. U.).—Genie Civil de 8 Septiembre 1921— se han empleado escorias de altos hornos de una densidad de 1,10 con lo que se aligera el peso muerto de las bóvedas.

La recluta de los obreros se facilita.—Los peones sin oficio trabajan más y cobran menos que los canteros y albañiles, cuyas sociedades de resistencia entorpecen la disciplina indispensable en las obras y fomentan la reducción del rendimiento de la mano de obra.

Son, pues, las huelgas menos probables y pueden así precisarse con más seguridad la rapidez y los plazos de ejecución, circunstancia que merece tenerse muy en cuenta para la ejecución de cimientos y obras hidráulicas, a merced de las crecidas.

c) *Empleo de medios mecánicos y rapidez de ejecución.*—Para la fabricación, transporte y hasta para el apisonado de los hormigones, pueden emplearse hormigoneras, vagonetas, montacargas y apisonadoras, con lo que en obras importantes puede aumentarse casi a voluntad la rapidez de ejecución, reduciendo al mismo tiempo su coste.

d) *Monolitismo de las fábricas.*—El hormigón es la fábrica más homogénea; por la naturaleza monolítica y la supresión de juntas, reparte con uniformidad las presiones; evita los asientos desiguales de las fábricas mixtas y resiste como un bloque único a los empujes oblicuos.

Es, pues, el material que mejor se amolda a las hipótesis de cálculo, lo que permite reducir los coeficientes de seguridad y, por lo tanto, las dimensiones de las obras.

Sus inconvenientes.—a) *No es estético.*—Su tonalidad uniforme, sus paramentos no siempre regulares, le dan a veces un aspecto poco agradable. Pero puede decorarse, ya sea con molduras y ornamentación obtenidas en el propio moldeo, ya con enlucidos o revestimientos de cerámica, mármoles o piedras artificiales, imitando perfectamente a las naturales.

b) *Grietas de contracción.*—Los fríos persistentes producen, a veces, grietas en las grandes superficies, difíciles de corregir. Claro es que las demás fábricas se contraen también por las bajas temperaturas, pero las grietas se reparten entonces en todas las juntas, mientras que, como en el hormigón no hay juntas, la contracción se localiza en algunos puntos, lo que la hace más escandalosa.

Puede evitarse y se evita este defecto, disponiendo en las obras importantes las juntas de dilatación necesarias.

c) *Necesidad de moldes.*—En los alzados de las obras el hormigón exige el empleo de moldes y la colaboración de carpinteros, tan difíciles de manejar como los albañiles y canteros. Pero puede reducirse este inconveniente al mínimo con disposiciones de moldes que puedan ser manejados y hasta preparados con peones (1).

d) *Vigilancia rigurosa.*—Sobre todo, tratándose de obras delicadas como son las bóvedas y algunos cimientos, se precisa una inspección constante para asegurar la buena ejecución y apisonado de las masas, pero esta vigilancia rigurosa no reducirá sensiblemente las economías que puedan obtenerse por las ventajas enumeradas.

En resumen, los hormigones ordinarios pueden substituir en muchos casos con gran ventaja y economía a las fábricas de piedra y ladrillo.

Con hormigón en masa se han construido arcos de puentes hasta de 100 metros de luz (2).

En los 90 kilómetros en construcción del ferrocarril de Tánger a Fez (Zona española), hemos excluído en absoluto las demás fábricas.

Allí se han ejecutado todas las obras con hormigones en masa o armados, con operarios moros en su mayoría. Nos ha ido muy bien.

Los Ingenieros deben, pues, tender a emplear cada día más el hormigón, que les permite recurrir a peones y máquinas.

Clasifiquemos ahora los diferentes tipos de fábricas de hormigones corrientes, excluyendo el hormigón armado, que merece un capítulo especial, por no ser en realidad una fábrica sino, como veremos, un material híbrido, por decirlo así, que goza de las cualidades del hormigón y del hierro que, en singular pero fraternal mezcla, se compenetran y se ayudan.

(1) Se emplean ya en España unos moldes de palastro, de fabricación americana, sistema *Metaform*, que resuelven perfectamente el problema del moldeo de las paredes verticales.

(2) El puente de Villeneuve sur Lot, construído en 1914, tiene dos arcos de 96,25 metros de luz.—Gènie Civil del 30 de Junio, 6 y 13 de Agosto de 1921.

Hormigones en masa y moldeados.—Son los que se ejecutan con piedras cuya dimensión puede variar de 1 a 7 cm., con un volumen de arena, generalmente la mitad del de la piedra y una proporción de cemento que varía de 100 a 400 kgs. por metro cúbico de fábrica, según los esfuerzos a que ha de estar sometido.

Cuando se trata de llenar excavaciones y las paredes de éstas son regulares, no se precisan moldes. Fuera de cimientos es necesario contener la masa, durante su fraguado, por moldes rígidos, de madera casi siempre.

Hormigones ciclópeos.—Durante la ejecución de los hormigones pueden empotrarse en su masa grandes mampuestos o cantos rodados que, colocados a mano, reducen la proporción del hormigón y el precio consiguiente de la fábrica: Fig. 14.

Fig. 14

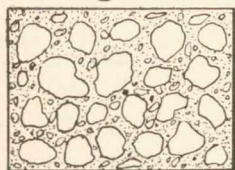


Fig. 15

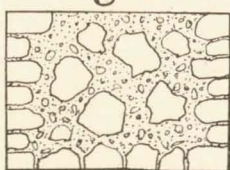
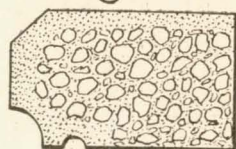


Fig. 16



Para que estos hormigones, llamados *ciclópeos*, ofrezcan iguales condiciones de resistencia que los hormigones ordinarios, sólo es necesario asegurarse que cada bloque intercalado en la masa esté perfectamente envuelto en toda su superficie por una capa de hormigón que desempeña aquí el papel de los bloques.

La colocación de los mampuestos dentro de las capas sucesivas de hormigón debe, pues, vigilarse especialmente; con operarios inteligentes pueden intercalarse así de 40 a 60 % del volumen total, lo que reduce en igual proporción el gasto del cemento necesario, que es el factor más importante del precio del hormigón.

Se emplea esta clase de hormigón en las grandes presas y debe también aplicarse a todos los macizos de las obras de fá-

brica, cuando se disponga de bloques económicos, para engarzarlos en la masa.

Mamposerías hormigonadas. — Cuando se quiera dar mejor aspecto o mayor resistencia a los paramentos, pueden construirse éstos con mampostería, rellenando los huecos entre paramentos, con hormigón pobre, dentro del que pueden también intercalarse otros bloques.—Es el *opus incertum* de los Romanos. (Figura 15).

La elección de la clase de hormigón y su dosificación, depende de circunstancias locales, respecto al precio de piedras menudas, bloques, cemento y del destino y aspecto que ha de tener el macizo.

Sillería artificial. — Se obtiene con hormigones ejecutados dentro de moldes preparados y diferentes para cada uno de los tipos de sillar que se desea obtener.

La parte de estos sillares que ha de estar en paramentos, debe hacerse con morteros finos y ricos, en un grueso de 2 a 5 cm.; la parte de relleno, con hormigones bastos: Figura 16.

Aunque en casi todas las poblaciones hay fabricantes de piedra artificial, a los que se puede encargar el suministro de este material, en las obras públicas será preferible ejecutar al pie de obra las piezas necesarias, ya que es industria fácil de establecer.

La sillería artificial obtenida con las arenas de la localidad, suele tener un aspecto gris y monótono.—En ciertas obras en que se desea dar a los paramentos aspecto más rico, se puede imitar perfectamente cualquier clase de piedra.

Para ello basta emplear como arena del mortero de paramentos, la fabricada mecánicamente con la piedra que se quiere imitar, pero sin apurar la trituración, para obtener granos gruesos en proporción de una mitad.

Fabricada la piedra con esta arena y sentada en obra, se cincelan las aristas y se abujardan los paramentos vistos, como si se tratara de una piedra natural y de esta manera se obtiene una imitación casi perfecta, difícil a veces de reconocer.

Aunque adoptando fuertes dosificaciones de cemento, pueden conseguirse resistencias considerables para estos sillares;

donde suele ser más conveniente su aplicación, es en las partes decorativas de las obras, constituidas por muchos elementos iguales, como son los ángulos, las impostas, las albardillas de aletas.

Puede sin embargo extenderse su aplicación a las bóvedas y a todos los paramentos de la obra, como lo hemos hecho en el puente monumental de María Cristina, en San Sebastián: Figura 17 (1).



Fig. 17. — Puente de María Cristina en San Sebastián

Elección y tamaño de la piedra. — Es errónea la creencia de que se obtienen mejores hormigones con piedra machacada a un tamaño constante.

Por el contrario, las gravas de aluvión de 3 a 10 cm. y las gravillas de 1 a 3 cm. son más fáciles de trabajar y dan hormigones más compactos y más resistentes que las piedras machacadas.

Tampoco es un defecto la desigualdad en el tamaño de las

(1) En la Exposición del Imperio Británico que acaba de celebrarse en Londres, todos los edificios del Gobierno y el colosal Estadio, se han construido con sillares artificiales, sin ningún revestimiento que disimule sus materiales y fabricación.

piedras que favorece la compacidad de los hormigones, porque las más pequeñas ocupan los huecos mayores.

Respecto a la calidad de la piedra, claro es que son preferibles las más duras y las silíceas, pero salvo algunos casos especiales que exigen una determinada calidad, todas las piedras sirven para los hormigones corrientes; es precisamente una de las ventajas de esta clase de fábrica que permite el aprovechamiento de muchas piedras que no podrían tener otra aplicación.

Cuando sólo se trate de obtener masas monolíticas, como por ejemplo muros de edificios, sometidos a pequeños esfuerzos verticales, pueden emplearse cascotes de ladrillo y teja y escorias de altos hornos o de calderas.

Dosificaciones y resistencias.—Varían mucho, según los destinos y trabajo a que estarán sometidas las fábricas.

En el extranjero, es frecuente dosificar en volúmenes los tres elementos: cemento, arena y piedra.—Se adoptan desde 1—2—4 a 1—4—8 para las proporciones de los volúmenes respectivos de los tres elementos citados.

En España, donde adquirimos el cemento portland en sacos de 50 kilos, mecánicamente medidos, dosificamos en volumen la arena y la piedra, midiendo el cemento en peso, lo que es más fácil y exacto, ya que los volúmenes de los cementos son variables, según la mayor o menor compresión que sufre el polvo, al acumularse en el cajón de medida.

Las dosificaciones de cemento portland que corrientemente empleamos para un volumen de arena de 0,500 m³ y un volumen de piedra de 1,000 m³, son:

200 Kgs. para cimientos, estribos, pilas, muros y tímpanos.

300 á 400 Kgs. para bóvedas, según las luces y presiones.

400 Kgs. para caños, losas de hormigón armado y piedra artificial.

En las grandes presas, en las obras de puertos y en general en todas las construcciones que exijan considerables volúmenes de hormigón, es preciso estudiar previa y minuciosamente las dosificaciones más ventajosas del hormigón, persiguiendo las

que a igualdad de resistencia resulten más económicas y compactas. (1)

Pueden obtenerse, como dice nuestro compañero Núñez Casquete, *hormigones de igual resistencia con cantidades muy variables de cemento*, a cuyo efecto en las obras importantes, deben establecerse laboratorios que permitan efectuar todos los ensayos comparativos de muy distintas dosificaciones.

Pero en las obras corrientes, en que los volúmenes de hormigón son pequeños, pueden adoptarse las dosificaciones antes indicadas, teniendo en cuenta que a igualdad de áridos, las resistencias de los hormigones crecen en la proporción de cemento.

Con mezclas de arena normal y piedra clasificadas con el máximo aparente de compacidad, *las resistencias medias a la compresión* medidas a los tres meses, pueden calcularse como sigue: (2)

Hormigón de 100 Kgs. de cemento por m ³ de hormigón	=	100 Kgs. cm ²
» 150 » » » »	=	140 »
» 175 » » » »	=	155 »
» 200 » » » »	=	180 »
» 250 » » » »	=	185 »
» 300 » » » »	=	200 »
» 350 » » » »	=	250 »
» 400 » » » »	=	280 »

Ejecución de los hormigones. — Para obtener un buen hormigón, es preciso:

1.º Que cada grano de arena esté totalmente cubierto por una capa de cemento y cada piedra envuelta a su vez por una capa de mortero.

2.º No emplear más agua que la indispensable para el fraguado del cemento, pues el sobrante del agua no absorbida por el cemento y no incorporada por las reacciones químicas del fraguado, o se escurre durante la ejecución del hormigón, arrastrando parte del cemento, o permanece dentro de la masa hasta

(1) Debe citarse como modelo de esta clase de estudios, el realizado por el Ingeniero D. José Núñez Casquete en las obras de riegos del Alto Aragón, descritas en los números de 15 de Agosto y 1.º Septiembre 1924, de la *Revista de Obras Públicas*, que permitieron reducir el perfil de una presa, con una economía de 367 000 pesetas.

(2) Experimentos hechos en el Laboratorio de nuestra Escuela de Ingenieros.