

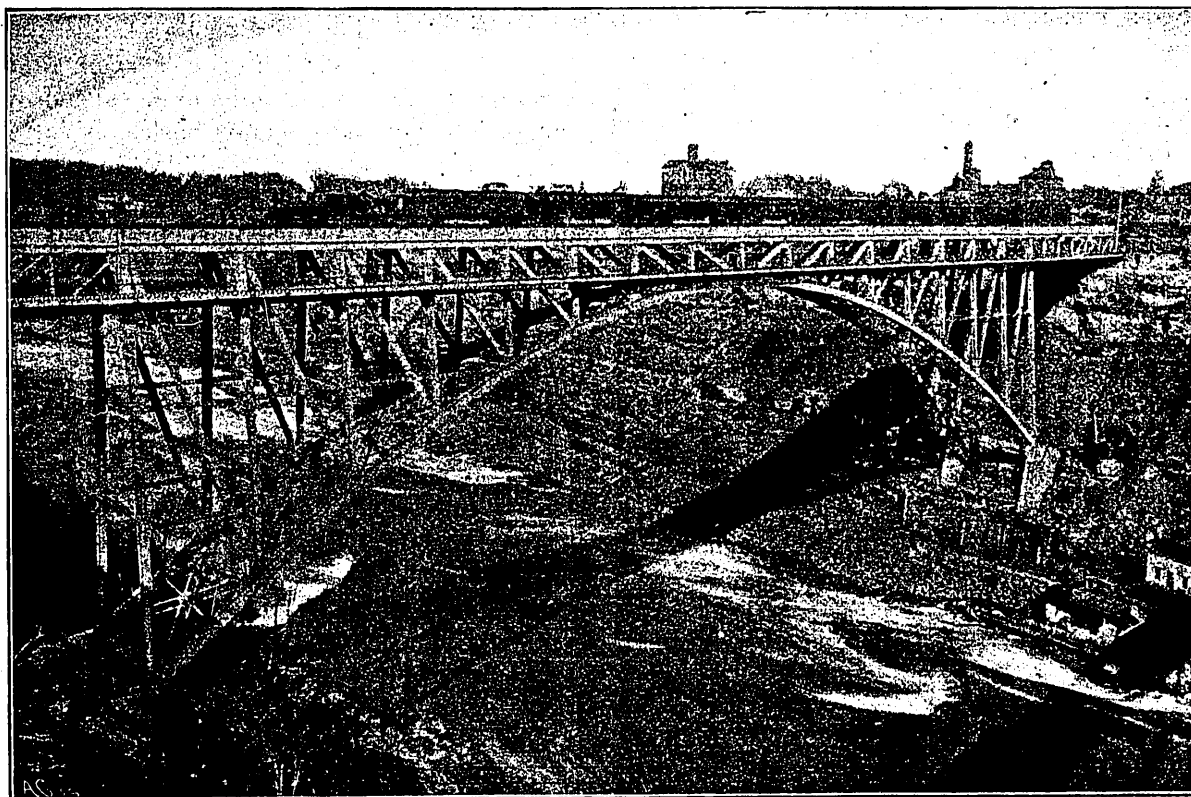
REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

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

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

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral



Vista general del nuevo puente sobre el Niágara. (Véase la *Revista extranjera*.)

NUEVAS INVESTIGACIONES SOBRE LOS MORTEROS HIDRÁULICOS ⁽¹⁾

(Conclusión.)

En fin, se puede emplear una materia fina que, aunque incapaz de endurecerse sola, ejerza sobre ciertos elementos del cemento una acción química favorable al endurecimiento del mortero, lo que se expresa diciendo que esta materia tiene un poder puzolánico más ó menos desarrollado. Se advierte que sucede esto cuando las resistencias encontradas sobrepasan á las que resultarían de la fórmula

$$P = K \left(\frac{c}{1 - (m + s)} \right)^2$$

cuando se reemplaza K por el coeficiente deducido de morteros exclusivamente formados del mismo cemento y de arenas seguramente inertes (2). En este caso, se puede

considerar la mezcla de cemento y la materia puzolánica como un nuevo cemento cuyo volumen elemental es $c + m$ y el coeficiente de resistencia Kz , variando este último, según una ley desconocida, con la proporción

$$z = \frac{c}{c + m}$$

de cemento propiamente dicho que contiene la unidad de volumen absoluto de la mezcla. De la fórmula

$$P = Kz \left(\frac{c + m}{1 - s} \right)^2$$

se deduce, después de los ensayos de rotura, los valores de Kz que corresponden á los diversos valores posibles de z .

Cualesquiera que sean el cemento, la materia fina y la arena gruesa que se elija, es fácil estudiar gráficamente las variaciones de las diferentes cualidades de todos los morteros que se pueden obtener haciendo variar las proporciones de estos tres elementos. Basta aplicar el método

(1) Véase el número anterior.

(2) Así parece haber sido el caso de la arena M' en los ensayos que da á conocer la figura 8.

expuesto anteriormente, representando cada mezcla por un punto de un triángulo en el que los tres vértices C, M, S, corresponden, respectivamente, al cemento, á la materia fina y á la arena, de tal manera, que este punto sea el centro de gravedad del sistema obtenido, cargando los tres vértices de pesos proporcionales á los de los tres elementos correspondientes que entran en la mezcla.

Así se halla que, en tanto que el cemento y la materia adicionada son casi de la misma finura y exigen para amasarlos proporciones de agua poco diferentes, el diagrama que da la compacidad $c + m + s$ de cada mortero plástico en estado reciente tiene sus líneas de nivel casi rectilíneas y paralelas al lado CM del triángulo, estando el lugar geométrico de los puntos de contacto de las tangentes más ó menos lejano de este lado, según la composición granulométrica de la arena empleada. Por el contrario, el diagrama de las resistencias presenta, por lo general, curvas de nivel más complicadas. Comparando estos dos diagramas y, si hay lugar á ello, el de las composiciones con agua del mar, á lo que vienen á ser los precios del metro cúbico de mortero, se tiene el medio de determinar la composición que debe adoptarse.

Las figuras 19 y 20, que son un ejemplo de este siste-

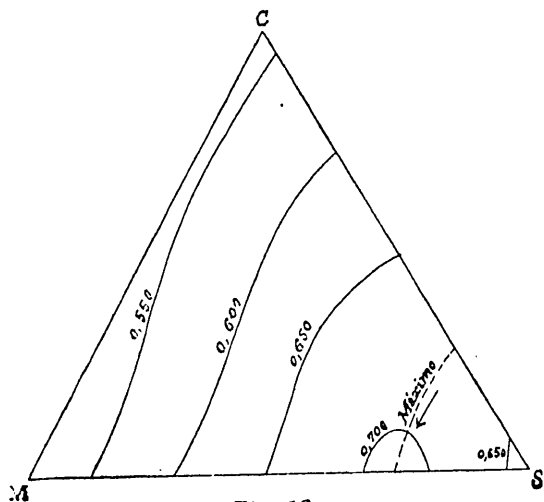


Fig. 19.

Compacidades ($c + m + s$).

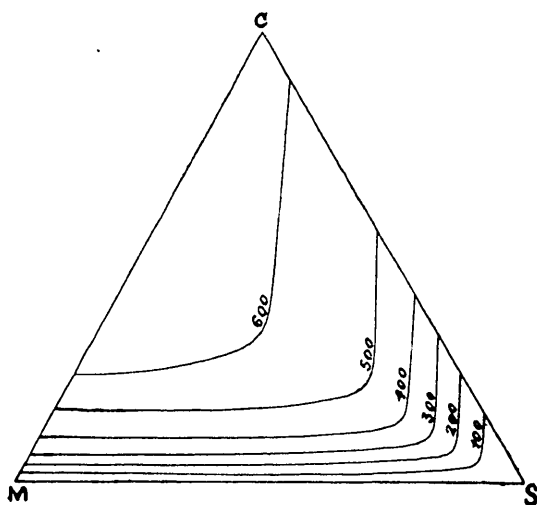


Fig. 20.

Resistencias á la compresión por centímetro cuadrado después de un año de conservación en agua dulce.

ma de representación, corresponden á todos los morteros que pudieron hacerse con cemento portland (C), escoria granulada de los altos hornos (M) y arena de Saint-Malo (S).

En la fabricación en grande escala del mortero es difícil obtener en la obra una mezcla bastante homogénea de las dos sustancias que se trata de unir con la arena.

Es preciso que el cemento y la materia adicional hayan sido, ante todo, molidos juntos á fin de formar una mezcla perfectamente íntima, que no haya más, en el momento de servirse de ella, que asociarla á la arena como se haría con un cemento cualquiera.

IX

ADICIÓN AL CEMENTO DE MATERIAS PUZOLÁNICAS

Se sabe, por los trabajos de M. Le Chatelier, que el fraguado y endurecimiento de los cementos resultan, en gran parte, del desdoblamiento de sales de varios equivalentes de cal en sales menos básicas y en cal libre. Esta cal cristaliza en el estado de hidrato en los poros del mortero y, en parte, se encuentra disuelta cuando el mortero está sumergido, en parte reemplazado por magnesia, cuando la inmersión tiene lugar en el agua del mar, y en parte carbonatada progresivamente, sobre todo, en las mamposterías al aire.

Por otra parte, teniendo las puzolanas, por definición, la propiedad de combinarse con la cal en presencia del agua para formar compuestos capaces de adquirir una dureza más ó menos grande, todo induce á creer que la adición de materias puzolánicas á los morteros de cemento debe hacer el efecto de fijar la cal puesta en libertad por el fraguado, en nuevas combinaciones hidráulicas cuyo simultáneo desarrollo debe aumentar la compacidad y la cohesión del producto inicial.

Por lo tanto, esta tesis, aunque sostenida desde unos quince años, sobre todo, por el doctor Michaelis, del cual un trabajo que se relacionaba con esta cuestión se publicó en el mes de Junio de 1897 en la Revista *Los materiales de construcción*, está lejos todavía de ser admitida universalmente, y cuenta aún con numerosos contradictores.

Uno de los obstáculos principales ha sido, creemos nosotros, que los experimentadores que han llevado á cabo la defensa descuidaron, en general, el operar por comparación con morteros de la misma compacidad, con ó sin materias puzolánicas, de manera que ha podido objetarseles que los aumentos de resistencia hallados eran de orden puramente físico y resultan de reemplazar una parte de los huecos del mortero por las materias añadidas.

El experimento que da á conocer el cuadro H, en el cual hemos operado con materias reducidas, todas al mismo grado de finura que el cemento, muestra, por el contrario, con bastante claridad los aumentos de resistencia que resultan del empleo de diversas materias en los morteros plásticos formados de un mismo cemento portland y de una misma arena gruesa y que presente en el estado reciente la misma compacidad.

Como se ve, la resistencia ha sido frecuentemente igual ó bastante aumentada por la sustitución de la materia puzolánica á la mitad del cemento del primer mortero.

En otras experiencias hemos hecho variar las proporciones relativas de un mismo cemento y una misma puzolana y hemos medido los valores de los coeficientes K_z co-

CUADRO H

MATERIA FINA INTRODUCIDA EN EL MORTERO	COMPOSICIÓN DEL MORTERO EN PESO			Compacidad del mortero recién hecho (c + m + s).	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (KG POR CM. ²) DESPUÉS DE LA INMERSIÓN EN EL AGUA DEL MAR DURANTE	
	Cemento	Materia fina.	Arena gruesa.		cuatro semanas.	un año.
Ninguna	2	0	4	0,652	51	104
Polvo de arenisca (1)....	1	1	4	0,644	18	51
Grize (2).....	1	1	4	0,632	49	143
Irass.....	1	1	4	0,634	54	89
Escoria granulada (3).....	1	1	4	0,662	131	179

(1) Esta arenisca contiene 20 por 100 de caliza introducida cuando la molienda.

(2) Puzzolana natural de Ardennes que contiene, próximamente, 80 por 100 de sílice.

(3) Escoria granulada que sirve para la fabricación del cemento de escorias.

respondientes á estas mezclas. La fig. 21 indica las variaciones de Kz en función de z para tres grupos de materias y enseña que la energía de una mezcla por partes iguales

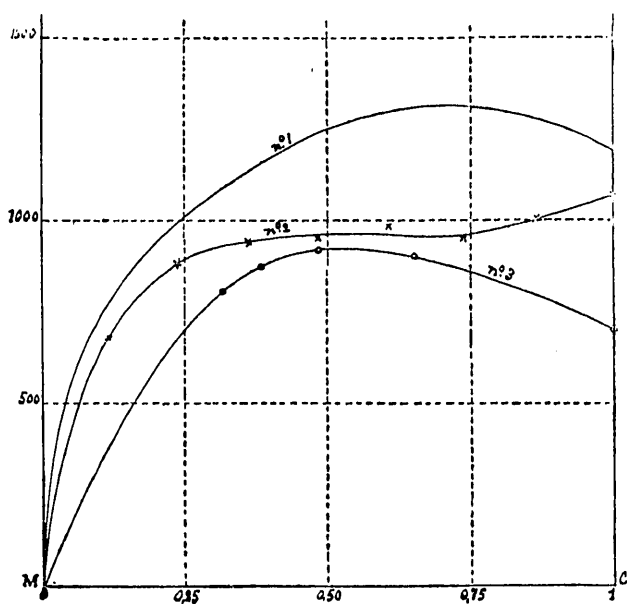


Fig. 21.

$$\text{Abscisa} = z = \frac{c}{c+m}$$

$$\text{Ordenada} = Kz = \frac{P}{(1-z)^2}$$

Curva n° 1: Cemento portland y escoria B. Ensayo después de 4 semanas en agua dulce. - Curva n° 2: Otro cemento portland y escoria A. Ensayos después de 12 semanas en agua dulce. - Curva n° 3: Cemento portland de mala calidad y escoria A. Ensayos después de 12 semanas en agua dulce.

(en volúmenes absolutos) de cemento portland y escoria granulada reducida á polvo fino, ha sido, generalmente, por lo menos igual á la del cemento puro.

El efecto de las materias puzolánicas añadidas en polvo fino no se manifiesta solamente por aumentos de resistencia; en razón de su afinidad para la cal, estas materias neutralizan la cal libre ó las sales fuertemente calizas que los cementos pueden contener y que dan lugar á las dilataciones, cuyos peligros son bastante conocidos. De la misma manera, todo induce á creer que las combinaciones que forman con la cal puesta en libertad durante el fraguado resisten mejor que esta cal á la acción descomponente del agua del mar y, en todo caso, contribuyen á tapar progresivamente los poros del mortero, haciendo más difícil el acceso de este agente tan temible.

Esto es, además, lo que resulta de experimentos que se hacen actualmente, en los cuales hallamos la mejor consistencia de los morteros adicionados de materias puzolánicas.

En nuestros ensayos, ciertas escorias de altos hornos convenientemente granuladas, tales como se las emplea en la fabricación del cemento de escorias, han manifestado generalmente, bajo el punto de vista del aumento de las resistencias á la rotura, un poder puzolánico claramente superior á la mayor parte de las puzzolanas naturales. Pero, en lo que atañe la resistencia química á la acción prolongada del agua del mar, se puede preguntar si no sería preferible en vez de emplear estas escorias, siempre muy ricas en alúmina, puzzolanas más silíceas, aun cuando debería resultar de su empleo un endurecimiento inicial relativamente lento del mortero.

FERNANDO G. ARENAL.

PUERTO DE VALENCIA

ENSAYOS DE RECEPCIÓN DE LOS MATERIALES HIDRÁULICOS.

MODELO DE REGISTRO

El pliego de condiciones facultativas que rige para la construcción de las obras de ensanche y mejora de este puerto, prescribe que toda partida de cal ó cemento (1) será examinada por el Ingeniero al llegar al almacén de las obras, prohibiéndose la entrada en él de todo saco ó barril que haya estado expuesto á la humedad y cuyo contenido no sea enteramente pulverulento en todas sus partes.

Después se someterá la parte admitida á una serie de ensayos, para apreciar las distintas cualidades físicas del material y su composición química.

Nada hemos de decir acerca de la naturaleza de los mismos, ni de su importancia en obras de esta índole, por ser ambos extremos sobradamente conocidos de los Ingenieros.

El resultado de ellos se consignará en un libro-registro que se ha formado teniendo presentes las conclusiones de la Comisión de los métodos de ensayos de los materiales de construcción, y que se ajusta al modelo siguiente.

No es, seguramente, un registro modelo; susceptible es de mejora. Desde luego, faltan en él los ensayos relativos á la flexión, porosidad, permeabilidad y adherencia de los productos hidráulicos, que sólo se emplean para investigaciones especiales y requieren aparatos muy costosos. Pero, precisamente, el objeto que nos proponemos al darle publicidad, es proporcionar á nuestros compañeros un punto de partida para sucesivas modificaciones.

Más adelante tendremos ocasión de consignar los resultados de los ensayos verificados en estas obras, y entonces describiremos la manera de ejecutarlos, así como los aparatos que se emplean.

Presentamos á continuación las cabezas de las páginas del registro. Son cuatro distintas.

(1) La cal hidráulica será de Teil (departamento del Ardeche, Francia) y el cemento de Portland.