

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

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

Redactor-Presidente.... Excmo. Sr. D. Eduardo López Navarro, Inspector general del Cuerpo.
Redactores..... Los Sras. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
 D. Antonio Sonier, Profesor de la Escuela de Caminos.
 D. Enrique Latre, Ingeniero de Caminos (Sección de Información).
 D. Manuel 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.

CALES Y CEMENTOS PAVIN DE LAFARGE

SUS PROPIEDADES, SUS VENTAJAS Y APLICACIONES

(Continuación).

Influencia de la calidad de la arena.—El cuadro que damos presenta las resistencias al aplastamiento en mortero plastoso (no batido), en cubos de 25 cm.² de superficie, confeccionados con dosis diferentes con dos arenas de playas alejadas apenas 20 kilómetros.

La más mala de estas arenas es empleada corrientemente en la construcción y es considerada como buena.

Del cuadro núm. 5 se puede deducir:

1.º Que con dosis iguales se puede tener con dos arenas distintas resistencias muy diferentes

2.º Que la elección de una buena arena puede permitir que se disminuya la dosis,

3.º Que la elección de una buena arena puede permitir, conservando las mismas dosis y las mismas resistencias, sustituir por cal hidráulica el cemento (compárese el mortero de la arena B y 300 kilogramos de cal con el mortero de arena A y 350 kilogramos de cemento) (1).

No es, pues, dudoso que el primer cuidado de un constructor, Ingeniero ó contratista debe ser buscar una arena de excelente calidad.

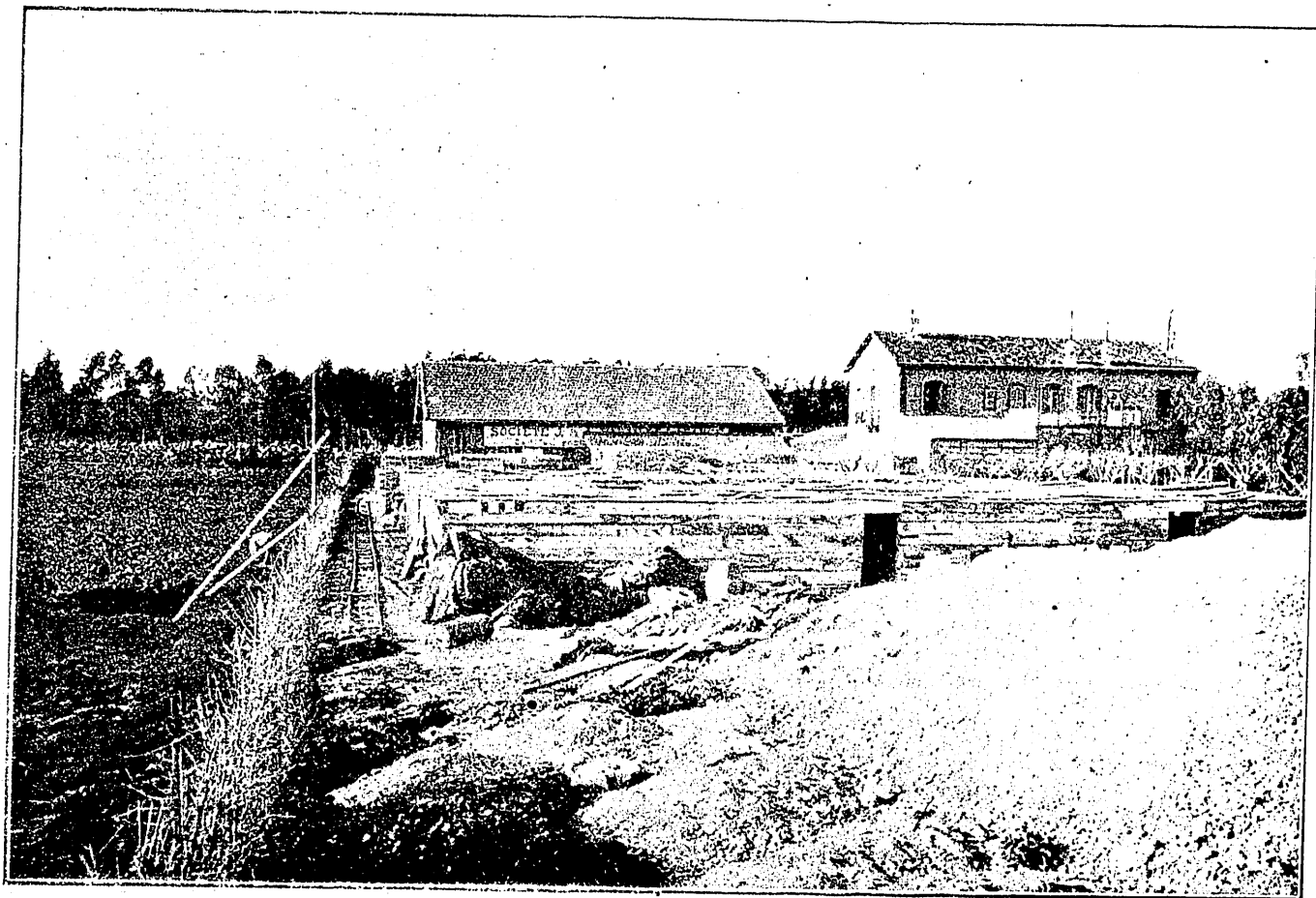
En la mezcla de la pasta y de la arena es preciso añadir la cantidad de agua mínima que permita amasar el mortero.

Antiguo procedimiento para determinar la dosis á emplear.—En cuanto á la dosis á emplear, se buscaba otras veces determinarla de manera que produjese un mortero lleno, es decir, en el que la parte líquida debía ocupar exactamente los vacíos de la arena.

La experiencia ha probado que cualquiera que sea el método escogido, no se llegaba jamás á tener un mortero exento de vacíos.

En efecto, aparte de que los métodos empleados para medir los va-

(1) La dosis de arena A y de 300 kilogramos de cemento no ha sido estudiada, pero se puede por comparación darse cuenta que las resistencias de la arena A, mezclada con 300 kilogramos de cemento, hubieran sido, sensiblemente, las mismas con iguales que las de la arena B unida á 300 kilogramos de cal.



FÁBRICA DE BAB EL KHADRA, CERCA DE TÚNEZ

Para la fabricación de losas de mosaico y materiales artificiales de cemento comprimido.

cios de un volumen de arena no dan más que resultados inexactos, se ha reconocido que los vacíos de una arena varían considerablemente por la influencia de causas en apariencia totalmente insignificantes.

La humedad, en particular, representa, al parecer, una parte importante. Mezclando a una arena pesada, seca, 2 por 100 de su volumen de agua, el peso de la unidad de volumen de esta arena tiene de menos en un experimento el 20 por 100 de su valor primitivo.

Estas variaciones, comprobadas en el volumen de vacíos de una are-

naturaleza y el grueso de la arena, y la proporción de los elementos cemento, arena y agua con que el mortero es compuesto (1).

El estudio de las resistencias quedaba, pues, así reducido al estudio de la variación de la compactibilidad ($c + s$) de los morteros; las resistencias debían aumentar, no solamente con la naturaleza de la arena, sino con ($c + s$). Ahora bien, esta compactibilidad varía, no solamente con la naturaleza de la arena, sino también con la naturaleza de la pasta.

CUADRO NÚM. 5.

DOSIS	200 kilogramos.	250 kilogramos.	300 kilogramos.	350 kilogramos.	400 kilogramos.	450 kilogramos.	OBSERVACIONES
<i>Mortero de arena A y de cal hidráulica de Lafarge.</i>							
1 mes.	"	5,83	6,50	7,66	"	"	A Arena de la playa de Argel.
2.....	"	9,16	11,33	11,33	"	"	
3.....	"	15,66	19,83	21,50	"	"	
<i>Mortero de arena B y de cal hidráulica de Lafarge.</i>							
1 mes.	5,40	7,40	12,33	"	"	"	B Arena de la playa de Ain-Taya.
2.....	9,75	12,16	16	"	"	"	
3.....	17,60	25	32,96	"	"	"	
<i>Mortero de arena A y cemento Portland Lafarge.</i>							
1 mes.	"	"	"	17,50	26,66	42,66	
2.....	"	"	"	29,83	37	62,75	
3.....	"	"	"	41,33	48 66	80,83	
<i>Mortero de arena B y cemento Portland Lafarge</i>							
1 mes.	"	"	32,66	40,33	49,83	"	
2.....	"	"	38,66	52,83	72,83	"	
3.....	"	"	57,33	66,33	98,83	"	

na, han conducido a pensar que, con mayor razón, la separación de los granos debía cambiar por el hecho de la introducción del cemento y del amasado del mortero, y que todo método de dosificación basado sobre la medida previa de los vacíos, debía ser desechado.

Experiencias de M. Féret.—M. Féret, antiguo alumno de la Escuela Politécnica, Jefe del Laboratorio de Puentes y Calzadas de Boulogne-sur-Mer, se propuso estudiar de nuevo la cuestión.

De los numerosos experimentos que hizo pudo deducir conclusiones notables.

Nos parece conveniente resumir los resultados obtenidos por M. Féret, y de sacar las consecuencias prácticas que pueden entrañar.

M. Féret ha designado con las letras c , s , e , v , los volúmenes absolutos de cemento, arena, agua, vacío, contenidos en la unidad de volumen de un mortero dado, de tal manera que

$$1 = c + s + e + v.$$

Definición de la compactad.—El llama compactad (1) de un mortero, la suma de $c + s$ de los volúmenes absolutos de los elementos sólidos que entran en su unidad de volumen.

Ha estudiado las variaciones de resistencia de los morteros, en los cuales hace variar los cuatro elementos expresados.

Los morteros ensayados fueron morteros plásticos, a fin de tener un tipo más aproximado a los morteros en obra.

Las probetas fueron rotas por compresión, las resistencias al aplastamiento fueron mucho más regulares y más independientes de los defectos de confección.

Ley general de M. Féret.—Sentado esto, M. Féret desde luego encontró, que para una serie de morteros hechos con igual cemento y de arenas inertes, las resistencias a la compresión después del mismo período de conservación en condiciones idénticas, son únicamente fun-

ción de la relación de $\frac{c}{e+v}$ ó de $\frac{c}{1-(c+s)}$ cualquiera que sea la

Resulta que ha sido preciso hacer una serie de ensayos sobre las materias confeccionadas con el mismo cemento y repetirlos después, no haciendo variar más que el cemento, para comprobar que las leyes encontradas eran bien independientes de la naturaleza de la pasta.

El número de experimentos hechos ha sido, pues, considerable, y son una garantía segura de que las leyes encontradas no han podido ser deducidas con ligereza.

Definición de la composición granular de una arena.—La Comisión de unificación de métodos de ensayos ha reservado el nombre de arenas a las mezclas de granos inferiores a 5 mm.

Ha designado bajo el nombre de granos gruesos los comprendidos entre 5 y 2 mm.

También ha designado con el nombre de granos medianos los comprendidos entre 2 y 0,5 mm.

Y con el nombre de granos finos los inferiores a 0,5 mm.

Ha llamado composición granular de una arena las proporciones de diversos granos clasificados como acaba de decirse.

M. Féret ha estudiado sucesivamente la influencia sobre la compactibilidad de los morteros del agua del batido, de la arena y después de la pasta y ha llegado a los resultados siguientes:

Influencia sobre el valor de los morteros de la cantidad de agua del amasado.—1.º La cantidad de agua a emplear para formar un mortero plástico crece proporcionalmente con el peso del cemento y con la finura de la arena.

Este resultado se explica considerando que el agua necesaria para formar un mortero plástico puede suponerse dividida en dos partes, una destinada a llevar al estado de pasta pura normal el cemento empleado y la otra destinada a mojar los granos de la arena, y, por consiguiente, proporcional a su superficie.

2.º La compactibilidad de un mortero amasado con cantidades de

(1) La palabra *compacté* se encuentra en los diccionarios de Littré y de Larousse, y está definida «Estado de un cuerpo compacto.»

(1) M. Féret expresa algunas veces la ley encontrada por él bajo la fórmula $P = K \left[\frac{c}{1-(c+s)} \right]^n$ que es bastante exacta, siendo K un coeficiente variable con cada pasta y con las condiciones de conservación.

agua crecientes, varía siguiendo leyes diferentes, según la composición granular de la arena.

Con arena que contenga muchos granos finos, aquélla va constantemente en disminución.

Con las otras composiciones, ella pasa por un máximo, para una proporción de agua determinada, generalmente un poco menor que la que corresponde a la consistencia plástica.

Influencia sobre el valor de los morteros de la composición granular de la arena.—3.º Para arenas de la misma composición granular, pero de naturaleza diferente, el volumen de los vacíos es tanto menor en cuanto que los granos son más redondos.

4.º Si para una misma dosis se cambia la composición granular de la arena la compactibilidad es máxima para una mezcla que contenga una cierta proporción de granos gruesos y de granos finos, pero sin granos de tamaños intermedios.

Pasando en seguida a las resistencias, M. Férret ha podido fijar la ley siguiente, de la cual sacaremos inmediatamente conclusiones prácticas.

Condición del máximo de resistencia de los morteros.—1.º Las resistencias de los morteros conteniendo un mismo peso de pasta para un peso igual de arena, son las más débiles en los morteros de arena regular, y todavía lo son más según que los granos sean más finos. Aumentan cuando la arena es más compleja correspondiendo la compactibilidad máxima a las arenas en las cuales los granos medios faltan y los gruesos se encuentran casi en proporción doble de los finos, pasta comprendida.

Corolario.—La simple indicación del peso de la pasta no puede, pues, dar ninguna idea de la calidad del mortero, si no se define la composición granular de la arena.

Imposibilidad de fijar la dosis sin conocer la naturaleza de la arena. Para hacer sus experimentos M. Férret ha debido adoptar dosis al peso, las solas admitidas y que deben emplearse en un laboratorio.

Pero ha podido comprobar que el enunciado de las leyes fundamentales se aplicaba aún con bastante exactitud cuando se expresaba las dosis en pesos de la pasta por metro cúbico de arena para que se pudieran sacar conclusiones prácticas.

El primer cuidado del constructor deberá ser, pues, el de determinar la composición granular de las diversas arenas que pueda tener necesidad de emplear, cuidando de excluir las que en la composición física parezcan malas.

Arenas arcillosas y esquistas.—Entre estas últimas citaremos principalmente las arenas arcillosas ó esquistas (sobre todo si contienen tierra vegetal, fango ó materias orgánicas). Numerosos experimentos, tanto de laboratorio como de obra, nos permite poner en guardia a los constructores contra estas arenas; ellas retrasan considerablemente el fraguado, y si algunas veces, gracias a la buena calidad de la pasta de Lafarge, la dureza se realiza, hemos visto casos en que una serie entera de construcciones se ha empezado de nuevo, por haber olvidado la precaución de lavar la arena. Es, en efecto, a este último medio al que debe recurrirse cuando las circunstancias obligan a emplear una arena arcillosa.

Arenas de grano fino.—Conviene también eliminar las arenas formadas únicamente por granos finos.

Método a emplear para fijar la elección de dosis.—Para fijar la dosis que haya de adoptarse, el constructor deberá darse cuenta en seguida, muy exactamente, de los esfuerzos a que serán sometidos los morteros que emplee en obra; después, si los trabajos a efectuar son importantes, hará ensayar en un laboratorio las diversas dosis entre las cuales vacila.

A falta de esta manera de operar, deberá buscar, por sí mismo, fabricando bloques, la compactibilidad de los morteros de diversas arenas a diferentes dosis.

Investigación práctica de la compactidad.—Con este objeto determinará desde luego el peso específico de la arena que emplea, poniendo en una probeta graduada, mediada de agua, un peso determinado, 50 gramos, por ejemplo, de arena a ensayar. Después de haber extraído todo el aire con una varilla y comprobado el aumento de volumen del agua, tendrá el peso específico, dividiendo por este aumento (n c. m.³, por ejemplo), el peso de la arena 50 gm, ó sea peso específico = $\frac{50}{n}$.

Los pesos específicos de la cal y del cemento Lafarge (2,80 la cal, 2,99 el cemento) han sido dados más altos.

El operador pesará en seguida un litro de arena y mezclará perfectamente cierto número de litros (de los que por consecuencia conozca el peso) con un peso determinado de la pasta, peso que se encuentra deducido de la dosis que ensaya.

Añadiendo la cantidad más pequeña posible de agua, la batirá suficientemente para obtener un mortero plástico, y con este mortero llenará un cubo de 10 cm. de lado, prensado ligeramente con los dedos. No quedará más que pesar el mortero sobrante para poder determinar fácilmente la compactibilidad.

Sea en efecto:

K el peso de la cal por litro de arena.

p el peso de un litro de arena.

z el peso específico de la arena.

x el número de litros empleados.

q el peso del agua añadido.

r el peso del mortero restante.

M el peso del mortero amasado antes de emplearle.

$$M = p x + K x + q.$$

El peso de la arena puesta en un cubo de 10 cm. será:

$$p x \left(1 - \frac{r}{M}\right)$$

El peso de la cal puesta en el cubo será:

$$K x \left(1 - \frac{r}{M}\right)$$

Sean P y L los dos pesos así encontrados, los volúmenes correspondientes serán $\frac{P}{2}$ y $\frac{L}{2,80}$ si se trata de cal, ó $\frac{L}{2,99}$ si se trata de cemento, y como el volumen considerado es precisamente igual a un litro, bastará sumar estos dos números para obtener la compactibilidad (1).

Resistencia que puede esperarse de una compactidad y una dosis dadas.—De los numerosos experimentos hechos resulta que se deberán eliminar todas las arenas en las que, con la dosis buscada, la compactibilidad no se eleve al menos a 0,650 en la cal y 0,700 en los cementos.

Es muy cierto que con una arena dada, las resistencias van en aumento con la dosis, aunque la compactidad siga sensiblemente la misma a partir de una dosis determinada; pero como aquélla varía naturalmente según la fuerza con que el mortero es prensado en el cubo, será preciso empezar de nuevo el experimento varias veces para cada dosis, a fin de hallar un término medio.

El cuadro núm. 6 da las resistencias que se pueden descontar al aplastamiento y en el mortero plástico sobre cubos de 5 cm. de lado con las pastas de Lafarge, de las arenas inertes y de las compactibilidades de 0,650 y 0,700 para las calces, 0,700 y 0,750 para los cementos.

Esta forma de operar y los antecedentes que acabamos de dar, permitirán al constructor elegir su arena y fijar su dosis.

Fabricación de morteros.—Tomadas estas precauciones, no queda ya en las obras más que vigilar de cerca la fabricación de los morteros.

Ventaja de la dosificación en peso por metro cúbico de arena.—Si el mortero se hace a mano, la mezcla de la arena y de la pasta deberá, desde luego, hacerse en seco de una manera concienzuda. Bien entendido que la dosis debe fijarse en peso de pasta por metro cúbico de arena; esta manera de operar, la sola normal, es facilitada por el hecho de que los productos de la Sociedad «Pavin de Lafarge» son siempre entregados en sacos de 50 kilogramos. Se hace, pues, una medida de madera que contenga un volumen determinado y a él se añade el número de sacos necesarios para obtener la dosis pedida. A la mezcla hecha en seco se debe añadir el agua, poco a poco, con una regadera de alcacho fa ó bola, por ejemplo, y obtener la consistencia plástica no con un exceso de agua, sino por la fuerza misma de la batidera.

Consistencia plástica.—La consistencia plástica está determinada por el hecho de que el mortero cogido y apretado en la mano se hace fácilmente una bola dejándola sudar el agua ligeramente, y que la misma bola puesta sobre una superficie plana conserva su forma sin aplastarse ni agrietarse.

Morteros mecánicos.—En todas las obras de alguna importancia los morteros deberán hacerse mecánicamente. La mezcla una vez hecha en seco, se pasará a una amasadera, donde se le añadirá en pequeñas cantidades el agua necesaria para su confección; entre todas las amasaderas para mortero deben preferirse las que lo baten, es decir, las hechas con muelas (ya sea muela giratoria sobre una concha fija, ó bien muela giratoria en sentido vertical solamente y concha giratoria en sentido

(1) Siendo la unidad de volumen elegida el litro, en todos los cálculos precedentes la unidad de peso deberá ser el kilo.

horizontal) á las amasaderas verticales ú horizontales, que no hacen más que mezclar.

Modo de fabricar por reducción de la cal á pasta y agregación de la arena.—Algunos Ingenieros piensan, sin embargo, que el procedimiento de fabricación más práctico aún sobre todo cuando se dispone de medios mecánicos, consiste en reducir desde luego la cal á pasta de buena consistencia, incorporando en seguida á esta pasta la cantidad de arena prevista. Se obtendrá así, al parecer, un mortero más homogéneo y, por consiguiente, más resistente.

No tenemos la experiencia de este procedimiento y no podríamos garantizar su superioridad, pero debemos hacer notar que el pliego de condiciones del puente de Bône, aprobado en 1897, impone esta forma de fabricar en su art. 48, así redactado:

«Cualquiera que sea el método de fabricación, la cal será pulverizada, desde luego, y llevada por una adición conveniente de agua, al estado de pasta dúctil y fuerte. La arena se medirá seca; después de

También la Sociedad Pavin de Lafarge, que se ha preocupado de este asunto, se ha organizado para entregar á sus clientes sus pedidos de mezclas de cal y de cemento fabricados mecánicamente.

Mezclas de cal grasa y cemento.—Algunos Ingenieros extranjeros han pensado que era conveniente emplear por medida de economía una mezcla de cemento y de cal grasa. Resulta de los experimentos hechos en Francia con tal objeto, que la cal grasa empleada así, no obra más que como materia inerte, aumentando el número de granos finos de las arenas desprovistas de ellos; que esta adición no aumenta las resistencias de los morteros de ligeras dosis de cemento (200 á 250 kg. por metro cúbico de arena) y que ella puede asimismo disminuir la de los morteros en los que la cantidad de cemento es aún rebajada: ella no da, pues, otro resultado que el de hacer más fácil el empleo de los morteros, dándoles más plasticidad. Bien entendido, que para que estos resultados sean alcanzados, es necesario también una mezcla íntima del mortero y de una cal grasa absoluta y perfectamente apagada,

CUADRO NÚM. 6

DOSIS	- 00 kilogramos.	250 kilogramos.	300 kilogramos.	350 kilogramos.	400 kilogramos.	450 kilogramos.	OBSERVACIONES
<i>Cal de compacidad de 0,650.</i>							
1 mes.	"	5	6	7	"	"	
2.....	"	10	11	12	"	"	
3.....	"	15	20	22	"	"	
<i>Cal de compacidad de 0,700.</i>							
1 mes.	6	7	12	"	"	"	
2.....	10	12	16	"	"	"	
3.....	17	25	32	"	"	"	
<i>Cemento de compacidad de 0,700.</i>							
1 mes.	"	"	"	17	25	40	
2.....	"	"	"	29	35	60	
3.....	"	"	"	40	45	80	
<i>Cemento de compacidad de 0,750.</i>							
1 mes.	"	"	30	40	50	"	
2.....	"	"	35	50	70	"	
3.....	"	"	55	65	100	"	

medida, se rociará ligeramente si es necesario y se mezclará á la cal. El conjunto será batido hasta que la mezcla no presente ningún punto blanco ni defecto alguno de homogeneidad.»

En época en que los motores de petróleo de algunos caballos se venden á un precio aceptable y pueden hacerlos funcionar hombres poco prácticos, no se debería ya fabricar el mortero á la mano, más que en las obras de ínfima importancia.

Mortero de tres elementos.

Mezclas de cal y cemento Lafarge.—1.º Mortero bastardo.—Los morteros bastardos, es decir, formados con una mezcla de cal y de cemento, no parecen ser ventajosos más que cuando los productos son de buena calidad y de la misma naturaleza. Se obtienen siempre con ellos buenos resultados.

M. Candlot había ya en 1895, en el Congreso de Zurich, ensalzado las mezclas de cal y de cemento. Estas mezclas empiezan á emplearse en las obras para los trabajos de grande importancia (1). Sin embargo, como es muy difícil obtener en la fabricación de esta clase de morteros una mezcla íntima de la cal y del cemento, creemos preferible hacer las mezclas aparte y emplearlas en las obras como una pasta ordinaria.

Mezclas mecánicas fabricadas por la Sociedad Pavin de Lafarge.—

(1) Depósito de aguas de Brou, construido por M. Resal, Ingeniero Jefe de Lyon: dosis de la mezcla, 100 kg. cal y 100 kg. cemento por metro cúbico de arena.

punto difícil de comprobar. Los morteros bastardos de cemento y de cal grasa acarrean, pues, con ellos un éxito grave para el porvenir dimanado.

Inconvenientes del empleo de la cal grasa en mezclas.—De la mala extinción posible de la cal grasa empleada.—Dichos morteros no serán en ningún caso puestos en parangón con los hechos con una buena cal hidráulica y deben desecharse por los Ingenieros que se preocupen del buen éxito de sus trabajos.

Morteros de puzolana en agua de mar.—2.º Mortero de puzolana.—Experimentos repetidos un poco en todas partes, en la actualidad, sobre todo en el extranjero, tienden á probar que la adición de ciertas materias puzolánicas á los productos hidráulicos aumentan la resistencia de los morteros en la descomposición por el agua de mar.—El porvenir dirá lo que hay en esto; pero debemos recordar á propósito del caso que en la práctica los productos de Lafarge son indecomponibles en el mar.—Los morteros de puzolana deben hacerse naturalmente con el mayor esmero.

No podemos, sin embargo, pasar esta aplicación en silencio, porque si los primeros resultados se confirman, la cal Lafarge será llevada á reemplazar el cemento aun en más numerosos casos que antes.

Mortero de puzolana en agua dulce y al aire.—Fuera del empleo en agua de mar, los morteros de puzolana pueden recomendarse en ciertos casos en los países arcillosos, por ejemplo, donde la arena es frecuentemente mala y cara, si no es que falta por completo como en ciertos parajes de la América del Sur.

(Se continuará.)