

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 Sres. 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).
Colaboradores..... D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
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

Fábrica de Lafarge. — 1.º Cal de Lafarge.

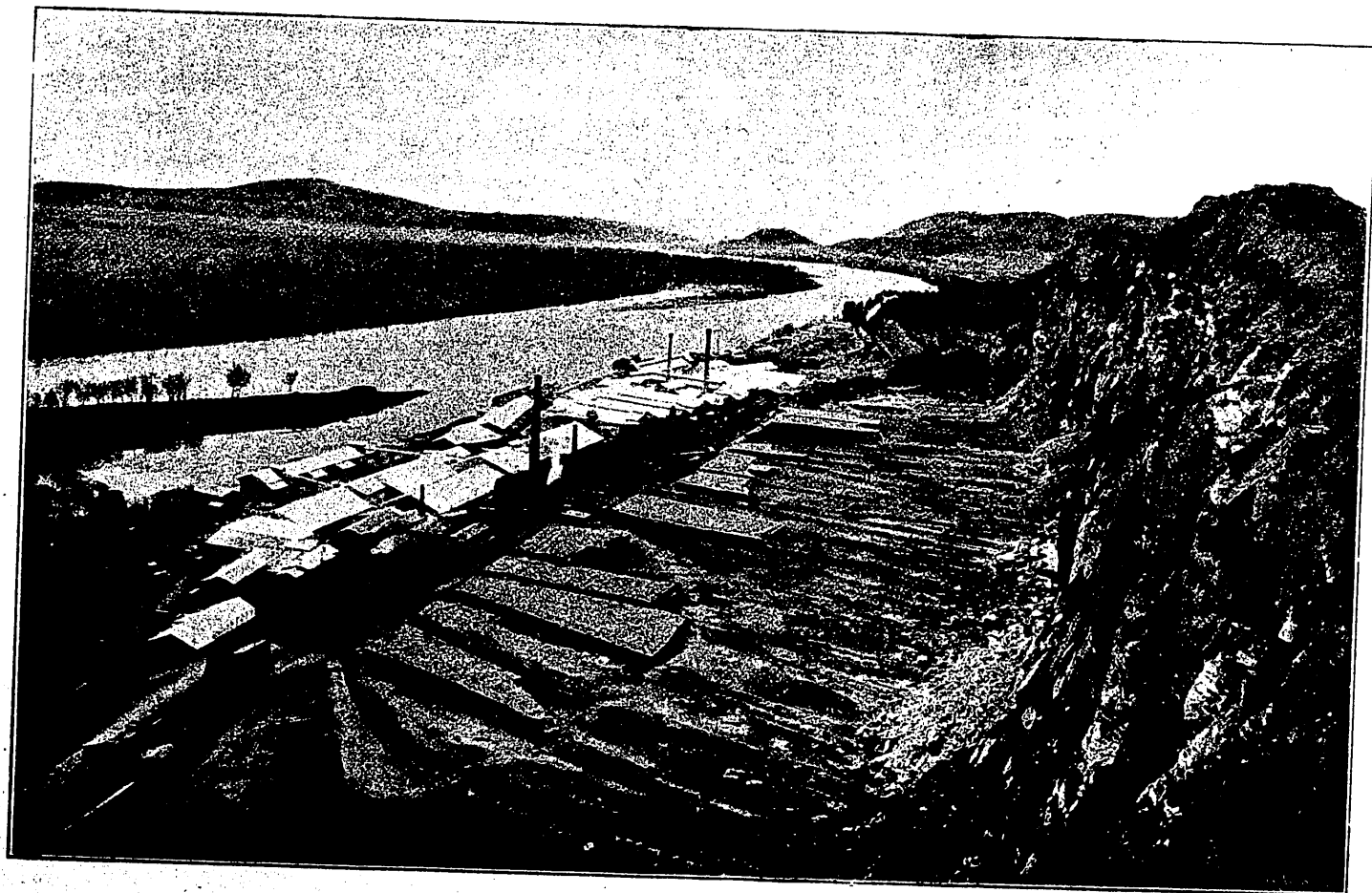
Constancia notable de la composición química de la cal de Lafarge.— La mezcla de la piedra en la cantera y las diferentes operaciones que hemos descrito sucintamente aseguran la homogeneidad perfecta de la cal de Lafarge.

También su composición química es constante; numerosos análisis hechos tanto en la Escuela de Minas como en la Escuela de Puentes y Calzadas, en el Laboratorio de la Villa de París y en el de la Sociedad son la prueba que anticipamos.—Los análisis siguientes hechos en el Laboratorio de Puentes y Calzadas de París el 11 de Diciembre de 1897 y el 26 de Julio de 1899, representan sensiblemente el término medio de los resultados obtenidos; ellos han dado:

	1897	1899
Silice.....	23.25	23.40
Alúmina.....	1.00	1.15
Peróxido de hierro.....	0.90	1.00
Cal.....	65.00	64.90
Magnesia.....	0.81	1.20
Acido sulfúrico.....	0.51	rastro.
Pérdida por el fuego y elementos no dosificados.....	8.53	8.35
Total.....	100.00	100.00

Por otra parte, si nos referimos al término medio de los análisis hechos en 1887 y 1888 encontramos que se tuvo entonces

Silice.....	23.60
Alúmina.....	1.40
Peróxido de hierro.....	0.80
Cal.....	64.70
Magnesia.....	1.40
Acido sulfúrico.....	0.50
Pérdida por el fuego y elementos no dosificados.....	7.60
Total.....	100.00



FÁBRICA DE LAFARGE
Cantera, hornos y fábrica.

Esta constancia de composición en el espacio de diez años es muy notable para que insistamos sobre la prueba que da las garantías ofrecidas á los compradores por la fabricación de la Sociedad «Pavin de Lafarge», y nos bastará hacer notar que la cal de Lafarge no contiene ningún producto nocivo, y para insistir, sobre todo, sobre el hecho particular que es exclusivamente silicea.

Peso específico.—El peso medio específico de la cal de Lafarge es de 2,80.

Densidad aparente por litro y por hectolitro.—Su densidad aparente (peso del litro no prensado) es alrededor de 0,770 kilogramos, variando

Ensayos en agua caliente.—Una serie muy completa de ensayos de descomposición por el calor hechos sobre la cal Lafarge, han demostrado que este producto está siempre perfectamente apagado y no psee más dilatación.

También ha podido siempre soportar las condiciones más rigurosas que le han impuesto los pliegos de condiciones.

Extinción perfecta de la cal hidráulica.—Debemos, con tal motivo, manifestar que la cal Lafarge es la sola que puede asimilarse al cemento y soportar la prueba del agua hirviendo á 100°.

La Comisión de unificación de los métodos de ensayos había admi-

CUADRO NÚM. 1

FECHAS DE LAS ROTURAS		7 días.	1 mes.	3 meses.	6 meses.	9 meses.	1 año.	1 año y medio.	2 años.	2 años y medio.	3 años.
Ensayos en agua dulce.....	A la tracción....										
	{ Pasta pura..	4,02	8,37	17,33	21,97	24,26	26,41	26,80	27	27,20	28,10
	{ Mortero 1/8..	3,30	6,28	11,50	12,27	13,07	13,92	14,81	14,93	14,33	15,71
	A la compresión..										
Ensayos al aire libre	{ Pasta pura..	40	80	190	276	340	300	366	350	373	370
	{ Mortero 1/8..	24	50	78	84	94	95	117	132	142	153
	A la tracción....										
	{ Pasta pura..	4,60	7,40	11,50	15,10	18,80	23,60	39,80	39,80	36,30	38,30
	{ Mortero 1/8..	3,75	7	12	13,80	16,80	18,80	23	24	34	32
	A la compresión..										
	{ Pasta pura..	40	70	120	140	150	240	380	350	375	400
	{ Mortero 1/8..	25	40	70	90	100	130	190	200	320	320

según la finura del producto de 0,720 á 0,820 kilogramos.—Esta densidad aumenta con el tiempo y con el transporte, ocasionando un aplastamiento en los sacos.—Por la misma razón midiéndola por hectolitros se encuentra un número más alto. El peso del hectolitro no prensado llega á los 86 kilogramos.

Residuos.—El residuo total en la criba de 900 mallas no pasa de 9 por 100, y en la de 4.900 mallas varía entre el 22 y el 25 por 100.

Fraguado bajo el agua.—El fraguado bajo el agua varía, naturalmente, según las condiciones de la temperatura; empieza, por término medio, alrededor de siete horas, para acabar á las veintiocho.

Resistencia mecánica á la tracción y al aplastamiento.—Las resistencias á la tracción y al aplastamiento de la cal de Lafarge aumentan, regularmente, con el tiempo.

Las resistencias medias (1) á la tracción en siete días por centímetro cuadrado de la cal de Lafarge batida en pasta dura, ha sido:

En 1896.....	3 k, 72
1897.....	3 k, 88
1898.....	4 k, 23

Este aumento constante, aunque mínimo, de las resistencias, es la prueba irrefutable de los cuidados siempre mayores que se tienen en la fabricación.

Las resistencias de las mismas briquetas al aplastamiento han alcanzado:

En 1896.....	33 k
1897.....	35 k
1898.....	40 k

Aumento constante de sus resistencias con el tiempo.—Las resistencias van en aumento bastante rápido con el tiempo: alcanzan para la pasta pura al arranque, un término medio de 8 kilogramos en veintiocho días, y de 17 en ochenta y cuatro, y al aplastamiento un término medio de 80 kilogramos en veintiocho días y 180 en ochenta y cuatro días.

A continuación damos un cuadro que indica las resistencias medias de la cal Lafarge en agua dulce y al aire en mortero de 1/8 en pesos (alrededor de 300 kilogramos de cal por metro cúbico de arena) y en pasta batida dura hasta los tres años. (Véase el cuadro n.º 1).

(1) Los términos medios que indicamos se refieren á unos 1 300 ensayos por año á la tracción y sobre 60 por año al aplastamiento.

tido que no se debía hacer soportar á las cales más que una prueba á los 50° (1).

2.º Cemento Lafarge.

Constancia de la composición química.—La composición química del cemento de Lafarge es tan constante como la de la cal.

Un análisis hecho en la Escuela de puentes y calzadas en Julio de 1897, correspondiendo sensiblemente á los términos medios, ha dado:

Silice.....	29.20
Alúmina.....	2.35
Peróxido de hierro.....	1.90
Cal.....	59
Magnesia.....	1.60
Acido sulfúrico.....	0.75
Pérdida por el fuego y elementos no dosificados.....	5.20
Total.....	100.00

Su pequeño contenido de alúmina.—El cemento de Lafarge es, pues, muy poco aluminoso.

Su peso específico alcanza 2,99.

La densidad aparente es por término medio de 1,050 kg. Si se le compara á la de los cementos artificiales, podrá parecer pequeña; pero esto es principalmente por causa de su gran finura.

Basta, en efecto, para darse cuenta de la influencia del estado físico de un polvo sobre la densidad aparente; de comparar entre ellos la cal y el cemento de Lafarge. Este último, con un peso específico de 2,99, pesa 1,050 kg. el litro, mientras que la cal, con un peso específico de 2,80 inferior al del cemento solamente de 8 por 100, pesa por término medio 770 gramos, ó sea el 30 por 100 de menos (2).

Ventaja del cemento de débil densidad.—Esta observación nos permite afirmar que no se debe nunca despreciar un producto por su débil densidad aparente; es generalmente la prueba de un producto delicado y, por consiguiente, ventajoso.

(1) Todos los ensayos de que hablamos han sido ejecutados siguiendo las indicaciones de la Comisión de unificación de los métodos de ensayos.

(2) Es probable que la cal limpia de sus residuos en la criba de 4.900 mallas esté compuesta de granos uniformes y de una finura muy grande.

Decimos generalmente, porque si la finura aumentara aún, podrían producirse durante las operaciones, aun sobre un litro á cientos que elevarían la densidad aparente encontrada.

Densidad del hectolitro.—Residuos.—La densidad del hectolitro no prensado alcanza 130 kg.

El residuo del cemento de Lafarge es, por término medio, de 10 por 100 en la criba de 4.900 mallas por centímetro cuadrado.

Fraguado bajo el agua.—El fraguado bajo el agua dulce empieza alrededor por término medio de cinco horas para acabar antes de las doce.

Resistencia mecánica á la tracción y al aplastamiento.—Su resistencia á la tracción en siete días ha alcanzado un término medio de 19 kg. en 1896 y 1897, y de 22 kg. en 1898, con un aplastamiento medio variable en los tres años citados entre 220 y 230 kg. Estas resistencias aumentan rápidamente para alcanzar 30 kg. en veintiocho días, y cerca de 40 en ochenta y cuatro. Son inferiores á las resistencias iniciales de los cementos artificiales, éstos tienen un endurecimiento mucho más rápido, gracias á la alúmina que contienen. En cambio, á causa de su finura, los cementos de Lafarge, tienen resistencias en morteros de $\frac{1}{3}$, que alcanzan desde los siete días á las de los mejores cementos, y los superan muy pronto.

Comparación de estas resistencias con las de los cementos artificiales.—Damos á continuación un cuadro de las resistencias en materia pura y en mortero $\frac{1}{3}$ al aire, en agua dulce y en agua de mar, de los cementos Lafarge, durante un periodo de cinco años.

Esta propiedad, de no alterarse después de un largo intervalo entre la fabricación y su empleo, es de considerable importancia, sobre todo cuando se trata de productos destinados á la exportación.

Empleo con éxito de las calces y cemento Lafarge dos años después de su fabricación.—Los hechos más notables que conocemos en honor de los productos de Lafarge, bajo este concepto, son el empleo en Chile para una ataguía de calces almacenadas cerca de dos años, y en Bucharest, cementos de fabricación también vieja.

Resistencia en mortero.—En cuanto á su finura les permite por sí dar morteros fáciles de emplear y de una gran resistencia.

Como hemos visto ya, en efecto, la finura de los productos influye enormemente sobre la calidad de los morteros.

Resistencia creciente de una manera continua por el tiempo.—A causa de estas dos propiedades que los son especiales, los productos de la Sociedad «Pavin de Lafarge» dan morteros cuya resistencia crece de una manera regular y continua con el tiempo, cualquiera que sean las condiciones climatológicas en las cuales hayan sido empleados. Insistimos tanto más sobre este punto, porque no es raro encontrar productos de resistencias iniciales relativamente fuertes que no justifiquen las esperanzas que dan al principio. Estos son generalmente productos aluminosos, en que el fraguado es más rápido, y que se descomponen más ó menos en seguida.

La cal de Lafarge da una resistencia suficiente á los siete días, y sería un mal cálculo, que podría además producir un desastre, el pre-

CUADRO NÚM. 2.

FECHAS DE LAS ROTURAS		7	1	2	3	6	9	1	1 año	2	2 años	3	3 años	4	4 años	5		
		horas.	mes.	meses.	meses.	meses.	meses.	año.	y medio	años.	y medio	años.	años y medio	años.	años y medio	años.		
Ensayos en agua dulce.	A la tracción.....	Pastapura.	20,36	32,32	36,49	38,03	41,19	43,04	43,82	44,12	46,43	47,83	48,03	47,01	48,35	48,36	49,02	
		Mortero 1/3	12,15	19,20	24,68	26,42	30,80	31,02	32,62	33,25	34,58	35,44	34,24	34,37	36,33	35,33	35,60	
	A la compresión.	Pasta pura.	207	468	621	654	750	800	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
		Mortero 1/3	139	197	259	326	370	418	434	506	451	477	506	503	537	509	517	
Ensayos al aire libre..	A la tracción.....	Pasta pura	15,11	23,34	21,74	25,73	30,53	34,38	39,54	49,89	56,76	55,16	59,62	60,10	63,87	62,24	70,66	
		Mortero 1/3	12,55	16,58	20,10	25,04	32,96	35,69	36,04	43,01	38,66	33,54	39,41	"	"	"	"	
	A la compresión.	Pasta pura.	156	288	294	319	358	396	452	432	506	578	593	627	794	675	800	
		Mortero 1/3	123	176	194	225	272	303	338	438	356	422	435	"	"	"	"	
Ensayos en agua del mar.....	A la tracción.....	Pasta pura.	23,20	37,06	35,40	46,29	45,01	51,16	46,08	45,91	49,83	53,08	50,16	"	"	"	"	
		Mortero 1/3	10,91	20	21,66	27,33	33	30,83	34,75	33,66	34,41	34,58	34,05	"	"	"	"	
	A la compresión.	Pasta pura.	285	340	415	588	557	533	645	680	680	770	770	"	"	"	"	
		Mortero 1/3	143	196	233	253	266	290	333	318	311	405	451	"	"	"	"	

Ensayos en agua caliente.—Los ensayos de descomposición en agua caliente, han demostrado que el cemento de Lafarge puede satisfacer las condiciones más duras de los pliegos de condiciones.

3.º Característica de los productos de Lafarge.

Ventajas para los países cálidos.—Los productos de Lafarge, están pues caracterizados por la ausencia tan completa, como es posible, de alúmina, y por su finura. La primera de estas cualidades les permite ser indicados particularmente, desde luego para emplearlos en la mar, donde la alúmina parece ser el gran agente de destrucción de los morteros, y también para emplearlos en los países cálidos. Está demostrado, en efecto, hoy día, que los productos puramente silíceos son los que resisten mejor en la atmósfera extra-seca de ciertos países cálidos como el Sur de Argelia, por ejemplo.

Facilidad de conservación.—Es también probable que gracias á este pequeño contenido de alúmina, la cal y el cemento de Lafarge no pierdan su calidad después de un largo almacenaje.

ferir á ella otro producto, solamente por que diera á los siete días resistencias superiores.

Sustitución ventajosa de la cal al cemento.—De los datos que damos, resulta, sin que tengamos que insistir más sobre ellos, que la cal de Lafarge, gracias á todas sus cualidades particulares, puede reemplazar al cemento en todos los trabajos todas las veces, al menos, que los morteros no tengan que sufrir esfuerzos de extensión. Es preciso no olvidar, en efecto, que si los morteros de obras no están tan bien hechos como los de laboratorio, tienen, en cambio, la ventaja de ser generalmente distribuidos (en las fábricas, por ejemplo) en juntas delgadas que los pone en condiciones absolutamente favorables para resistir los efectos de compresión. Teniendo en cuenta esta compensación, se puede decir que las resistencias al aplastamiento que hemos señalado para los morteros de cal demuestran que éstos pueden ser sin inconveniente empleados en las obras de cualquiera importancia en que los morteros no tengan que soportar esfuerzos de compresión, y cuando no haya temor de una deformación permanente. En esta categoría entran casi todas las obras, salvo las bóvedas de gran luz hechas de fábrica (á partir de 50 m., por ejemplo), en las que se puede con justa razón emplear

el cemento para el cuerpo de la bóveda, reservando la cal para los estribos (1).

Economía que produce esta sustitución.—Sería pueril insistir sobre la economía que se obtendría en los trabajos sustituyendo por cal el cemento; esta economía depende, no solamente de la diferencia de precio entre el cemento y la cal, sino también del estado físico de las moléculas de este último producto; gracias a este estado, la cal da un mortero más pastoso, más fácil de mezclar y de emplear en las obras, lo que permite en general admitir para los morteros de cal dosis más reducidas que para los morteros de cemento.

Mezcla de cal y cemento.—Añadiremos que en el caso que haya un interés considerable de apresurar el endurecimiento inicial, no habrá inconveniente en mezclar a la cal una cierta cantidad de cemento Lafarge; esta manera de operar con dos productos de la misma naturaleza no tiene otro inconveniente que el que resulta del mayor esmero que debe tenerse en la fabricación de los morteros, porque es más difícil mezclar tres materias que dos.

Estas condiciones han llamado de tal manera la atención de los Ingenieros, que la venta de la cal de Lafarge va constantemente en aumento, y es pedida hasta de las regiones más lejanas del globo.

4.º Cemento blanco.

El cemento blanco es un producto especialmente destinado a los fabricantes de baldosas; es notable por su blancura, por su finura, y, sobre todo, por la seguridad que da de no producir ninguna grieta sobre la superficie lisa de las baldosas. El cuidado empleado en su fabricación hace forzosamente que se eleve su precio, y, sin embargo de esta condición desfavorable, los pedidos, siempre en aumento, de los fabricantes de baldosas, prueba lo mucho que es apreciado.

Densidad aparente.—La densidad aparente en el litro no excede nunca de 0,950 kilogramos, lo que depende de su finura muy especial.

Residuos.—Sus residuos resultan con frecuencia inferiores al 5 por 100 sobre el tamiz de 4.900 mallas por centímetro cuadrado.

Fraguado bajo el agua.—Su fraguado bajo el agua empieza alrededor de las seis horas para acabar antes de las quince.

Resistencias.—Sus resistencias son ligeramente inferiores a las del cemento de Lafarge en siete a veintiocho días, y ellas se le aproximan con el tiempo.

El cuadro núm. 3 las resume:

CUADRO NÚM. 3.

FECHAS DE LAS ROTURAS		7 días.	28 días.	84 días.
A la tracción.....	Pasta pura.....	16	24	34
	Mortero $\frac{1}{3}$	12	18	24
A la compresión.....	Pasta pura.....	190	320	550
	Mortero $\frac{1}{3}$	80	140	280

Los ensayos de deformación en el agua caliente, demuestran que no tienen nunca expansión alguna.

Fábrica de Teil.

La cal y el cemento de Teil se asemejan mucho a los de Lafarge. Por otra parte, son, como hemos visto, fabricados por los mismos procedimientos.

(1) De los experimentos hechos en el Laboratorio de Puentes y Calzadas por el Ingeniero Jefe M. Tourtay y también recientemente por el Ingeniero Jefe M. Tambernier, resulta que las resistencias a la compresión de piedras con junta normal de mortero de cal del Teil, se han encontrado casi las mismas que las de iguales piedras con junta normal de mortero de cemento, bien que la resistencia intrínseca del mortero de cal fuese inferior a la del mortero de cemento con que se comparó.

Los morteros de cal del Teil podrán, pues, reemplazar al mortero de cemento en las obras de la mayor luz si estos mismos experimentos no hubieran evidenciado que el coeficiente de compresión permanente (coeficiente correspondiente al coeficiente de elasticidad a la tracción) es diez veces menor para las piedras sentadas con mortero de cal, que para las sentadas con mortero de cemento.

De aquí resultan al descimbrar puentes de mortero de cal, descenso en la clave, proviniendo de la compresión de los materiales, que pueden en los puentes de muy grande luz dislocar la curva de presiones y traer un accidente.

Si se adoptase para los puentes de fábrica el sistema de tres articulaciones (en los arranques y en la clave), este descenso no tendría ya inconveniente, porque la posición de la curva de presiones sería fija en los arranques y en la clave por la articulación.

La densidad aparente de estos dos productos es, generalmente, un poco más grande que la de los productos de Lafarge.

Sus resistencias son aproximadamente las mismas.

Fábrica de Cruas.

Como hemos visto, la cantera de la fábrica de Cruas no es de la misma formación geológica y no puede compararse en regularidad a la fábrica de Lafarge; también los productos de esta fábrica, como los de la misma región, no podrían ponerse en paralelo con los de la región del Teil.

La cal tiene, poco más o menos, el mismo fraguado bajo el agua que la de Lafarge; el del cemento es un poco más lento.

Las resistencias de la cal son menos fuertes en pasta pura, y, sobre todo, en mortero, ocurriendo lo mismo con el cemento.

Fábrica de Vitry-le-François.

El cemento de escoria de la fábrica de Vitry-le-François se fabrica con las escorias granuladas procedentes de los altos hornos de Pont-a-Mousson.

Su análisis es

Silice.....	25.20
Alúmina y hierro.....	17.65
Cal.....	48.40
Magnesia.....	2.20
Pérdida por el fuego y elementos no dosificados.....	6.45

Total..... 100.00

Densidad aparente.—La densidad aparente del litro no prensado resulta, por término medio, de 0,86; no deja más que el 15 por 100 de residuo en la criba de 4.900 mallas por centímetro cuadrado.

Fraguado bajo el agua. Resistencia.—Su fraguado bajo el agua empieza alrededor de las dos horas para acabar a las diez ó las doce; los términos medios de sus resistencias, son las que se expresan en el cuadro núm. 4.

CUADRO NÚM. 4.

FECHAS DE LAS ROTURAS		7 días.	28 días.	84 días.
A la tracción.....	Puro.....	20	32	34
	Mortero $\frac{1}{3}$	15	25	26
A la compresión.....	Puro.....	180	290	350
	Mortero $\frac{1}{3}$	120	240	250

Aplicación de los productos de la Sociedad «Pavin de Lafarge».

Morteros.

Composición de los morteros.—Empleándose exclusivamente la cal y el cemento en los morteros, nos extenderemos principalmente sobre las precauciones que han de tenerse en la fabricación de estos últimos.

1.º Distinguiremos en los morteros los de dos elementos, es decir, compuestos únicamente de una arena y de pasta.

2.º Los de tres elementos, compuestos de una arena y de una mezcla de dos de pasta (mortero bastardo), ó ya de una arena, de una de pasta y de una de materia puzolánica (mortero de puzolana).

Mortero de dos elementos.

Si la atención de los Ingenieros se ha fijado siempre sobre la calidad del producto hidráulico a emplear, parece que hasta ahora no se ha preocupado lo suficiente de la influencia de la arena sobre el valor de los morteros.

(Se continuará.)