

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 30 DE JULIO DE 1887.

4.^a Serie.

Tomo 5.^o

Número 14.

AÑO XXXV DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Condiciones que deben exigirse para la recepción de los cementos, por D. Fernando García Arenal, Ingeniero de Caminos — Puerto de Barcelona. Estudio teórico y práctico de los bloques huecos propuestos para la construcción de los nuevos muelles, por D. Julio Valdés, Ingeniero de Caminos (continuación) — Lámina 66: *Pruebas de cemento*.

CONDICIONES QUE DEBEN EXIGIRSE PARA LA RECEPCIÓN DE LOS CEMENTOS ⁽¹⁾.

Lámina 66.

I.

Hasta ahora en España no se determinan, en general, en los pliegos de condiciones las pruebas á que deben someterse los cementos que han de admitirse para las obras públicas. La mayor parte de los pliegos se limitan á consignar que el cemento será de fraguado rápido ó lento, de pri-

(1) Habiendo observado repetidas veces que no existían datos fidedignos sobre la calidad y condiciones del cemento natural de Zumaya, de fraguado rápido, que generalmente se emplea en las obras hidráulicas de todo el Norte de España, propusimos en 1880 á la Dirección general de Obras públicas que se hiciera un estudio comparativo del cemento de fraguado lento, llamado de Portland, con el natural de Zumaya. El proyecto era que un ingeniero de minas estudiase la composición química y la fabricación, y otro de caminos se encargase de los ensayos de resistencia, fraguado, condiciones de empleo en obra, etc. La circunstancia de ser entonces Jefe del Negociado de Puertos el eminente y malogrado D. Angel Mayo, protector y auxiliar decidido de toda idea que pudiera servir de base á cualquier mejora ó progreso, hizo que la propuesta fuese atendida en la parte que á él le correspondía, y desde luego autorizó á la Junta de Obras del Puerto de Gijón para que llevase á cabo la segunda parte del estudio de los cementos, de las dos arriba indicadas.

Comenzado en Agosto de 1880, no pudo organizarse de un modo regular hasta el año siguiente, por falta de los aparatos indispensables. Los ensayos de resistencia se ha procurado que sean lo más completo posible, dentro de un límite de tiempo algo largo, y al efecto, se han hecho series desde cuarenta y ocho horas á diez años. Las pruebas más numerosas alcanzan solo hasta tres años, y con ellas ha podido formarse una idea bastante exacta de la calidad y condiciones del cemento natural de Zumaya, ya en absoluto, ya comparado con el de Portland, y por si los datos adquiridos con estos ensayos pudieran ser de alguna utilidad, los hemos resumido en estos artículos, aprovechándolos para redactar un proyecto de pliego general de condiciones que hoy no existe para la recepción de los cementos, y que de adoptarse creemos produciría una mejora de importancia, contribuyendo á la perfección de los productos hidráulicos de las fábricas nacionales.

mera calidad. algunas veces se indica el tiempo que ha de tardar en fraguar, y cuando más se añade que se someterá á las pruebas que diga el Ingeniero encargado de la dirección de la obra. Pero todo esto es insuficiente y vago, pudiendo darse igualmente el caso de que se emplee un cemento muy mediano ó que se exijan condiciones tales que difícilmente las llene uno de superior calidad; para evitar ambos escollos, en Alemania y Suiza hay condiciones oficiales, y en Francia, Inglaterra y los Estados-Unidos, va también siendo regla redactar pliegos suficientemente detallados, á fin de que los contratistas puedan saber desde luego qué clase de cemento tienen que suministrar.

Para formar idea exacta del valor de un cemento, las pruebas deben referirse á las cualidades siguientes:

- 1.^a Peso del cemento.
- 2.^a Molido.
- 3.^a Composición química.
- 4.^a Tiempo de fraguado.
- 5.^a Resistencia de las pruebas de cemento puro.
- 6.^a Resistencia de las pruebas de mortero.
- 7.^a Grietas después del fraguado.

El valor de estas cualidades está lejos de ser igual, así como la facilidad de comprobarlas en las obras; por lo tanto, indicaremos su importancia relativa y los procedimientos más en uso para determinar en qué grado las posee el cemento que se trate de ensayar.

Densidad.—Se entiende por densidad de un cemento el peso de un volumen determinado de este material en polvo, y por lo tanto, se trata de la densidad aparente y no de la real ó peso específico; así es que varía para un mismo cemento con el grado de fineza del molido y con el volumen que se elija como unidad. Cuanto mejor sea el molido menos pesa el mismo volumen de cemento, y cuanto mayor sea la medida mayor será también la densidad obtenida, puesto que siempre habrá más compresión en las capas inferiores; así un cemento que diere 1.150 gramos, pesando 10 centímetros cúbicos daría 1.250 gramos, pesando un litro; generalmente es este último volumen el elegido, y debe siempre añadirse el grado de molido que haya de tener, porque si no, la indicación tiene poco valor. Por ejemplo, un cemento molido de modo que no dé más que un residuo de 9 por 100 por el cedazo de 5.000 mallas por centímetro cuadrado, tiene un peso de 1.095 gramos por litro, y el mismo cemento, molido más grueso y dando un residuo de 62 por 100 por el cedazo citado, tiene un peso de 1.510 gramos por litro. En cementos de primera calidad, el polvo fino que resulta de cerner por el cedazo de 5.000 mallas por centímetro cuadrado, pesa de 1.050 gramos á 1.120 gramos por litro. Los cementos de segunda

pesan en las mismas condiciones de 950 á 1.000 gramos, y los de clase inferior, que ya puede calificarse de mala, menos de 900 gramos.

Un cemento de primera calidad, cuyo residuo por el cedazo de 5.000 mallas no exceda de 30 por 100, pesará sin cerner de 1.200 á 1.300 gramos por litro. Esto demuestra que era errónea la opinion de que correspondía un peso mayor que éste á los cementos superiores, y se exigían en muchos pliegos de 1.300 á 1.350 gramos, lo cual solo puede obtenerse con cementos imperfectamente molidos. El inconveniente de esta prueba es exigir bastante tiempo para el cernido, pues se comprende la necesidad de prolongarlo hasta que no quede en el cedazo más que el residuo. Si se cierne poco, como al principio sólo pasa el polvo más fino, se obtendrían pesos menores que los consignados, aunque se operase con cementos de primera calidad.

En vez de determinar el peso de un litro echando el cemento de modo que se comprima lo menos posible, se ha tratado algunas veces de hacer lo opuesto, y aun ha tenido cierta aceptación el método en Alemania; para esto se golpea la medida mientras se echa el cemento y así se llegan á obtener pesos de 1.900 y 2.200 gramos por litro; pero los resultados no son más exactos; la influencia del residuo no es menor, requiere más tiempo, y por tanto, no es recomendable el procedimiento.

El peso específico del cemento bueno oscila entre 3,05 y 3,15; con los de segunda calidad se obtiene de 3,00 á 3,04, pero su determinación es siempre difícil y no puede considerarse necesaria cuando hay otras pruebas suficientes para llegar á saber la calidad del material que se trata de emplear.

Como á pesar de todas estas precauciones, la circunstancia del peso no da idea exacta del valor de un cemento, caso de no cumplir con lo prescrito, podría adoptarse el sistema de declarar sospechoso el cemento que diere menos peso, y no admitirlo si no tenía las demás condiciones que han de exigirse.

Molido.—La calcinación es lo principal para obtener un buen cemento, dado que tenga los elementos apropiados; pero no basta que sean los más convenientes la composición química y la calcinación, puesto que los cuerpos no pueden producir reacción unos sobre otros más que en disolución ó cuando sus partículas son finísimas. Los cementos, por lo tanto, deben reducirse á polvo impalpable, y entonces es cuando la reacción química es más enérgica al mezclarlos con el agua; pero como las piedras bien calcinadas son muy duras, de aquí que los fabricantes eviten todo lo posible el moler muy fino; el constructor que está interesado en lo contrario debe exigir un buen cernido, aunque tenga que pagar algo más caro el cemento.

Además del polvo impalpable hay en el cemento granos más ó menos

finos, que pueden clasificarse en tres categorías: 1.^a Los que no pasan á través del cedazo de 324 mallas por centímetro cuadrado. 2.^a Los que quedan en el cedazo de 900 mallas; y 3.^a, los granos finos que atravesando éste quedan en el de 5.000 mallas por centímetro cuadrado. Se obtiene un residuo aun más fino cerniendo por tamiz de seda, y lo que pase se puede considerar como polvo impalpable.

Los residuos que quedan en los cedazos de 324 y 900 mallas son inertes; los que han atravesado el último y quedan en el de 5.000 mallas puede admitirse, que si al pronto no contribuyen gran cosa á la reacción química, al fin serán atacados y aumentarán la resistencia del mortero. En vista de estos resultados, cada día se da más importancia á un molido esmerado y se exige menor cantidad de residuo. Así vemos que en Francia, donde lo corriente era pedir que los cementos no diesen más de 10 por 100 de residuo por el cedazo de 324 mallas por centímetro cuadrado, va sustituyéndose este tamiz por el de 900 mallas, y en el pliego de condiciones últimamente hecho para adquirir 21.000 toneladas de cemento con destino á las obras de los puertos de Boulogne y de Calais se pone, por vez primera, el tamiz de 5.000 mallas, pidiendo molidos cuyo residuo no exceda 25 por 100, lo cual indica una fabricación esmeradísima bajo este punto de vista á que todavía no llegan los mejores cementos ingleses, y que rara vez alcanzan los alemanes. Parece, sin embargo, que los fabricantes franceses de Boulogne-sur-mer hacen ya cementos en que el molido llega á la perfección que supone tan escaso residuo por cedazo tan fino. En España no tenemos noticia de que se haya impuesto condición respecto del cernido más que en algunos pliegos que se han redactado para la ejecución de obras en el puerto de Gijón, y dado que los cementos de Portland que se encuentran aquí en el comercio son ingleses, y éstos no se esmeran gran cosa en este punto importante de la fabricación, no se ha exigido más que un residuo máximo de 20 por 100 por el cedazo de 900 mallas, que si bien es más de lo pedido en los pliegos de condiciones franceses é ingleses, es mucho menos de lo consignado para los puertos de Boulogne y Calais. Mientras no se haga más general poner en los pliegos de condiciones esta del molido, es difícil que los fabricantes se esmeren, y aun se dará el caso de que se limite mucho el número de los que pueda elegir el contratista, y se hace muy fácil que éstos se combinen para que tenga que pagar excesivamente caro su producto. Lo que sí podría y debería hacerse, es fijar el peso de cemento que deba entrar en el metro cúbico de mortero ó de hormigón bajo el supuesto de un residuo de 15 á 20 por 100 en el cedazo de 900 mallas, y autorizar la disminución en la cantidad que se fije por cada tanto por ciento que baje de esa cifra. Segun hemos dicho, los residuos que queden en este cedazo son inertes, por lo tanto, habría ventaja en sus-

tituir 180 kilogramos de cemento por metro cúbico de hormigón con 20 por 100 de residuo, por 160 kilos sin residuo ó por 165 con 5 por 100 y así sucesivamente, añadiendo 5 kilos por igual aumento en el tanto de material que no atravesase el cedazo citado.

Para conocer el grado de molido de un cemento, no basta, en realidad, cerner por un solo tamiz. No existe relación fija entre los residuos que quedan en cada cedazo; pero se observa que la proporción de granos muy finos aumenta rápidamente á medida que el residuo en los de 324 y 900 mallas es menor; de aquí la ventaja de emplear el último y aun dar la preferencia al de 5.000 mallas. Como indicación, diremos que un cemento que da un residuo de 5 á 10 por 100 en el cedazo de 324 mallas, deja de 15 á 25 en el de 900 mallas, y de 35 á 45 en el 5.000. Un cemento de fabricación muy esmerada no da residuo en el cedazo de 324 mallas, solo 1 á 2 por 100 en el de 900, y 20 á 25 por 100 en el de 5.000 cuando los residuos quedan dentro de estos límites, el cemento puede calificarse de superior respecto al molido. Los cementos poco calcinados dan una proporción relativamente menor de granos finos, y aunque tal indicio no baste para asegurar que esta operación importante ha sido defectuosa, debe tenerse muy en cuenta para unirlo á otros datos y tener el cemento por sospechoso cuando la diferencia de residuos entre los cedazos de 900 y de 5.000 mallas es pequeña.

También es útil y conveniente examinar los residuos con una buena lente; la existencia de granos de carbon indica que se han escogido mal las piedras al salir del horno; las partes imperfectamente calcinadas, producen granos amarillentos y que se aplastan fácilmente entre los dedos; los granos deben ser duros, muy oscuros ó negros, y de ángulos vivos.

Puede también obtenerse el residuo de un cemento por decantación; para esto basta echarlo en gran cantidad de agua, agitarlo repetidamente, y después que ha posado la parte más gruesa, verter el agua con el polvo que quede en suspensión, repitiendo esto tantas veces como sea preciso, hasta que el agua no se enturbie. En vez de este líquido es mejor emplear esencia de trementina, que no produce reacción sobre el cemento; pero de todos modos, operando por este procedimiento, no se obtiene más que el residuo total, y aunque éste se llegue á dosificar con más exactitud que por ningún otro medio, se necesita bastante tiempo, porque hay que operar con cantidades de cemento pequeñas y mucha práctica y habilidad la manipulación, si los resultados han de merecer confianza. El empleo de los cedazos es mucho más expedito, clasifica los residuos por gruesos y da suficiente exactitud aun para saber la cantidad de polvo impalpable que tiene el cemento ensayado.

Para que pueda servir de norma, insertamos á continuación un estado

de los residuos obtenidos con cementos, desde el Portland más superior, bajo este concepto, hasta los corrientes en el comercio de cemento de Zumaya, que bajo éste, como bajo otros aspectos de la fabricación, deja mucho que desear.

NÚMERO.	RESIDUO POR EL DE CEDAZO DE		
	324 ^m	900 ^m	5.000 ^m
1. Portland de Boulogne.	0	0	9
2. Portland de Boulogne.	0	2	22
3. Portland (alemán é inglés).	3	11	30
4. Portland (inglés).	4	13	41
5. Zumaya.	24	35	57

Traducción gráfica de los números de cuadro son las curvas de la figura 4.^a, lámina 66.

El cemento núm. 1 corresponde al máximo de lo mejor que hoy se hace respecto á molido; el núm. 2 es también superior bajo este concepto y representa un cemento como el exigido en el pliego de condiciones para el suministro de los puertos de Calais y Boulogne, antes citado; el número 3 es el tipo de los mejores cementos ingleses, alemanes y franceses, que hoy se encuentran en el comercio sin necesidad de imponer condiciones especiales; debe, no obstante, advertirse que sólo hemos ensayado tres marcas de estas naciones, que hiciesen el cemento de esa finura de un modo general; el número 4 es el tipo que puede llamarse corriente entre los buenos cementos ingleses del comercio; y decimos *buenos*, no teniendo en cuenta esta sola condición del molido, sino el término medio de todas las que sirven para determinar el valor de este material; el núm. 5 corresponde á nuestros cementos de Zumaya, y no hay para qué añadir cuán imperfecta es su fabricación bajo el punto de vista del molido. Con esta manera tan primitiva de triturar, claro está que sólo se emplea en las obras un 60 por 100, cuando más, de materia activa, y por eso es indispensable exigir trituración más fina; como no es fácil que en un día se transforme el modo de ser industrial de nuestros productores, hay que tratar de estimularlos y compelerlos, exigiendo en los pliegos de condiciones molidos cada vez más perfectos. En las obras de Socoa, donde se ha empleado el Zumaya en la parte superior á baja mar, ha sido casi imposible obtener el cemento de esta procedencia que cumpliese con la condición, nada rigurosa, de no dar más de 10 por 100 de residuo en el cedazo de 324 mallas. Esto acontece porque ni en las obras públicas, ni en las

particulares de España, se ha exigido que el cemento fuese algo mejor que una mezcla de carbón y granos mal calcinados, con polvo no muy bien cernido, y los fabricantes encuentran una pretensión impertinente que se les obligue á escoger y triturar los productos de sus hornos. Es claro que tratándose de suministrar muchos miles de toneladas, podría imponerse la condición de un molido perfecto, porque no dejaría de haber algún industrial que, por asegurar el pedido, mejorase sus molinos y sus cedazos; pero en las obras corrientes de poca importancia, hay que tomar lo que se produce tal como se halla en el comercio, aunque se compruebe que es muy mediano.

Es importante insistir sobre este punto, porque la economía aparente del empleo de cemento de Zumaya será ilusoria mientras este material no esté mejor calcinado y mejor molido, pues de poco sirve que se empleen 100 kilos, si en realidad no tienen más que 50 ó 60 de elementos activos, y sería muy preferible pagar algo más caro el quintal métrico y tener la seguridad de que el producto estaba bien fabricado.

Composición química.—La composición química de un cemento solo puede determinarse con exactitud en un laboratorio, y por persona muy versada y práctica en análisis cualitativos; de modo que no es fácil en las obras tener los medios necesarios, ni los ingenieros, en general, sabemos hacer este género de análisis; por lo tanto, en los pliegos de condiciones sólo podrá fijarse la cantidad admisible de ácido sulfúrico, que nunca debe pasar de 1 por 100; y si se considera conveniente, limitar también el óxido de hierro y la magnesia.

Tiempo de fraguado.—Esta es una circunstancia fácil de comprobar, y más importante en los cementos de fraguado rápido. En ellos es muy difícil separar los dos periodos que se consideran en el fraguado; es decir, primero, desde que comienza el endurecimiento hasta que sea en bastante grado para no dejarse penetrar la masa por la aguja de ensayo, y segundo, desde este momento hasta que ya no hace impresión sobre la pasta; los dos tiempos se suceden con tal rapidez en los cementos de fraguado rápido, que no puede en los pliegos de condiciones fijarse más que el límite del segundo. En general, en los de fraguado lento, desde que se acabe la manipulación de la pasta, que no debe durar más de cinco minutos, hasta que no se deja atravesar por una aguja de un milímetro cuadrado de sección cargada con 300 gramos, pasan de diez á treinta minutos, y desde este punto hasta el fraguado completo de una á diez horas; pues aun para cementos fabricados del mismo modo, varía este tiempo por una porción de circunstancias, entre las cuales, las más importantes son: la temperatura del agua, la del cemento y la del aire ambiente, la cantidad de agua, su naturaleza, el tiempo que lleva fabricado el cemento, su conservación

más ó menos perfecta, según el envase y modo de almacenaje, y el grado del molido.

De todas estas circunstancias, la temperatura es la que ejerce mayor influencia; un mismo cemento, amasado con agua fría ó caliente, puede variar en el tiempo de fraguado entre cuatro y cinco horas y diez á quince minutos. Llega al máximo cuando el agua y el cemento están á la misma temperatura; así, con agua y cemento á 30° la pasta fragua casi instantáneamente, mientras que con cemento á 10° y agua á 40° tarda veinte y más minutos. Por esto es importante, si se quiere trabajar con cemento de fraguado lento, no dejar el agua en albercas de poco fondo donde dé el sol.

La influencia de la temperatura del aire es menor; pero también es apreciable si se trata de enlucidos de poco espesor, y sobre todo si se pulimenta por medio de la paleta, que produce siempre un aflujo de cemento á la superficie del mortero y hace que se forme una capa de uno ó dos milímetros de espesor, que fragua antes que el resto, quedando entre ambas una solución de continuidad que da por resultado el desprendimiento de esta especie de barniz.

La temperatura más conveniente para las pruebas es de 13° á 18°, y así suele fijarse en los pliegos de condiciones.

La cantidad de agua que se emplea para hacer la pasta también retarda el tiempo del fraguado á medida que aumenta; cada cemento requiere cierta dosis para reducirse á pasta, y al hacer las pruebas debe comenzarse por determinarla de un modo exacto, como se dirá más adelante. En general, oscila entre 22 y 28 por 100 para los cementos de fraguado lento, y entre 24 y 30 por 100 para los de fraguado rápido; pero repetimos que en cada caso es preciso determinar cuál es el agua estrictamente necesaria para producir la pasta firme.

El fraguado es tanto más pronto cuanto más pura sea el agua que se emplee, y se va retardando á medida que ésta se carga de sales; por eso la del mar hace más lento el endurecimiento, sobre todo en cementos bien calcinados y muy molidos.

Para indicar los límites de esta influencia, citaremos las cifras extremas, que varían para un mismo cemento desde veinticinco á treinta minutos con agua dulce, hasta cuatro y cinco horas con agua del mar; pero esto sólo se verifica cuando el cemento proviene de la trituración de piedras sin mezcla de ceniza, y en polvo finísimo. En general, con los productos que se encuentran en el comercio las divergencias no son tan considerables. En los cementos de fraguado rápido la influencia de la clase de agua es menor.

También es preciso tener en cuenta el tiempo que lleva fabricado un cemento, y sobre todo cómo ha sido conservado; si está en montón en un almacén bien seco, puede permanecer largo tiempo sin que se retarde sino

muy poco el fraguado; en barriles también resiste bastante; pero en sacos bastan á veces pocos días, si el ambiente está húmedo, para que se retarde dos ó más horas en cementos de fraguado lento y se triplique ó cuadriplique en los de fraguado rápido. Las modificaciones que experimenta un cemento expuesto á la acción del aire dependen evidentemente de la mayor ó menor facilidad que tengan ambos cuerpos para ponerse en contacto, porque el cemento absorbe rápidamente el agua y el ácido carbónico que encuentra en la atmósfera, y esta absorción es la que retarda el fraguado. En las fábricas se deja cierto tiempo antes de empaquetarlo, porque esta acción conviene cuando el cemento está demasiado fresco; pero en pasando cierto límite altera rápidamente sus cualidades, y puede hacerle perder gran parte de su energía. En general, resisten mejor los cementos muy calcinados y bien molidos que los que han estado sometidos en el horno á temperaturas relativamente bajas y después se han triturado imperfectamente.

Cuando se emplea agua del mar, el mejor ó peor molido tiene menos influencia en el tiempo de fraguado, que, según queda dicho, se retarda poco en este caso.

Se ve, pues, que el tiempo que un cemento tarda en fraguar, depende de muchas circunstancias, y por lo tanto, esta cualidad por sí sola sirve poco para juzgar de un producto, sobre todo en los de fraguado lento, que pueden ser excelentes con intervalos tan variables como treinta minutos y diez horas; los de fraguado rápido ya no se hallan en el mismo caso: cuando están frescos tardan de tres á cinco minutos; si llevan algún tiempo almacenados, se retrasa hasta quince; pero en excediendo de esta cifra ya puede considerarse el cemento si no totalmente averiado, como habiendo perdido la mayor parte de su energía.

Al poner las condiciones de recepción de un cemento, claro está que respecto del fraguado, más que bajo otro punto de vista, hay que tener en cuenta el uso á que se destina. Si no se trata de obras que han de estar inmediatamente sometidas á la acción de las olas ó á fuertes corrientes, son siempre preferibles los de Portland, y entre éstos, se puede fijar á voluntad el tiempo de fraguado según convenga para la obra á que se destinen, pues ya se ha dicho que entre límites muy extensos hay productos de excelente calidad. Las buenas fábricas, generalmente, producen cementos que tardan desde treinta minutos hasta dos horas. Estas cifras se refieren al amasado con agua dulce; con la del mar se deben exigir cementos que tarden tres horas, y en los cuales la aguja de ensayo los atraviese en los primeros treinta minutos; un fraguado más rápido podrá ser indicio de estar imperfectamente calcinados.

De todo lo expuesto se deduce que, tanto el tiempo que tarda en comenzar el endurecimiento como el que pasa hasta que el fraguado es com-

pleto, varía por efecto de causas varias, de modo que no puede establecerse una relación fija entre los dos períodos. Cementos hay que comienzan á endurecer á los pocos minutos, y después la reacción continúa muy despacio, mientras que otros permanecen bastante tiempo en pasta blanda y después se endurecen rápidamente; los primeros fraguan, en general, en una hora ó algo más, y los segundos en treinta ó cuarenta minutos. Siempre suponiendo que sean frescos y se emplee agua dulce. Los que tardan de tres á cuatro horas no comienzan á endurecerse pronto; pero siempre se manifiesta este segundo período bastante tiempo antes de que la reacción termine.

Otra circunstancia que distingue el cemento de Portland, es que no hay elevación sensible de temperatura, mientras que es muy apreciable en los de fraguado rápido.

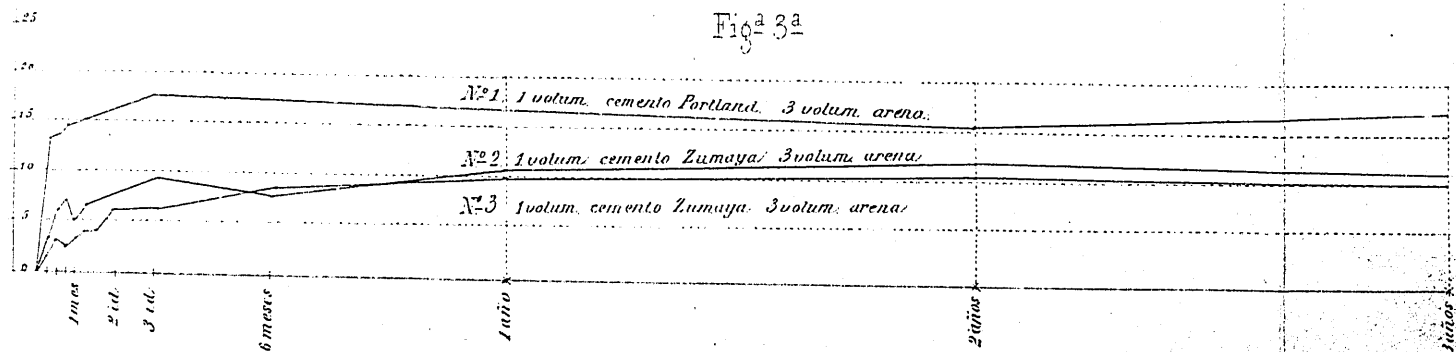
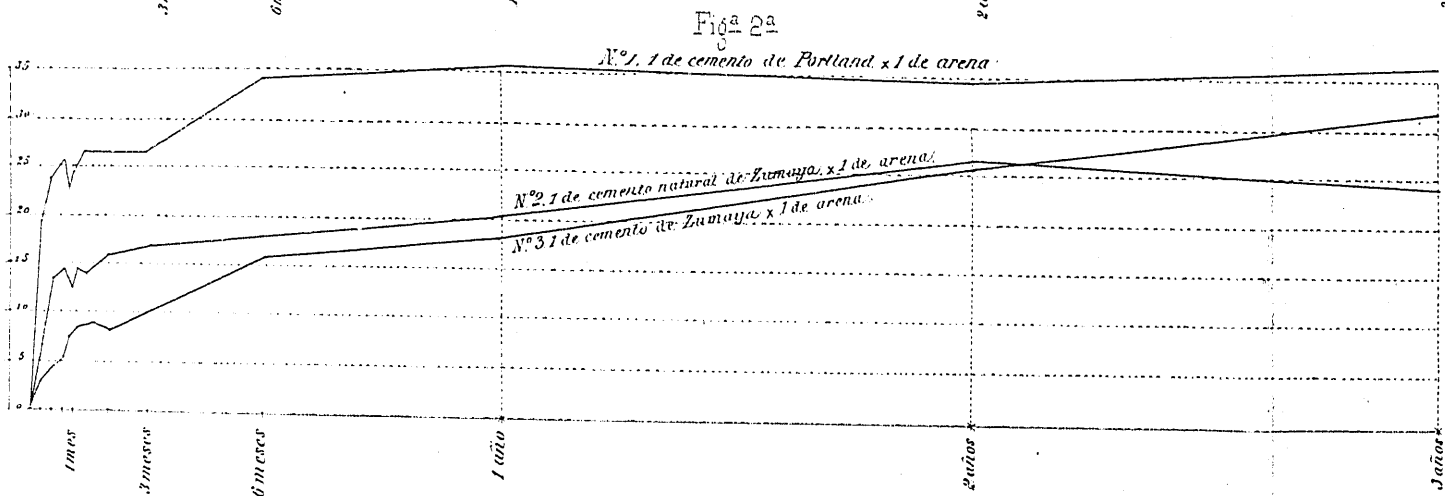
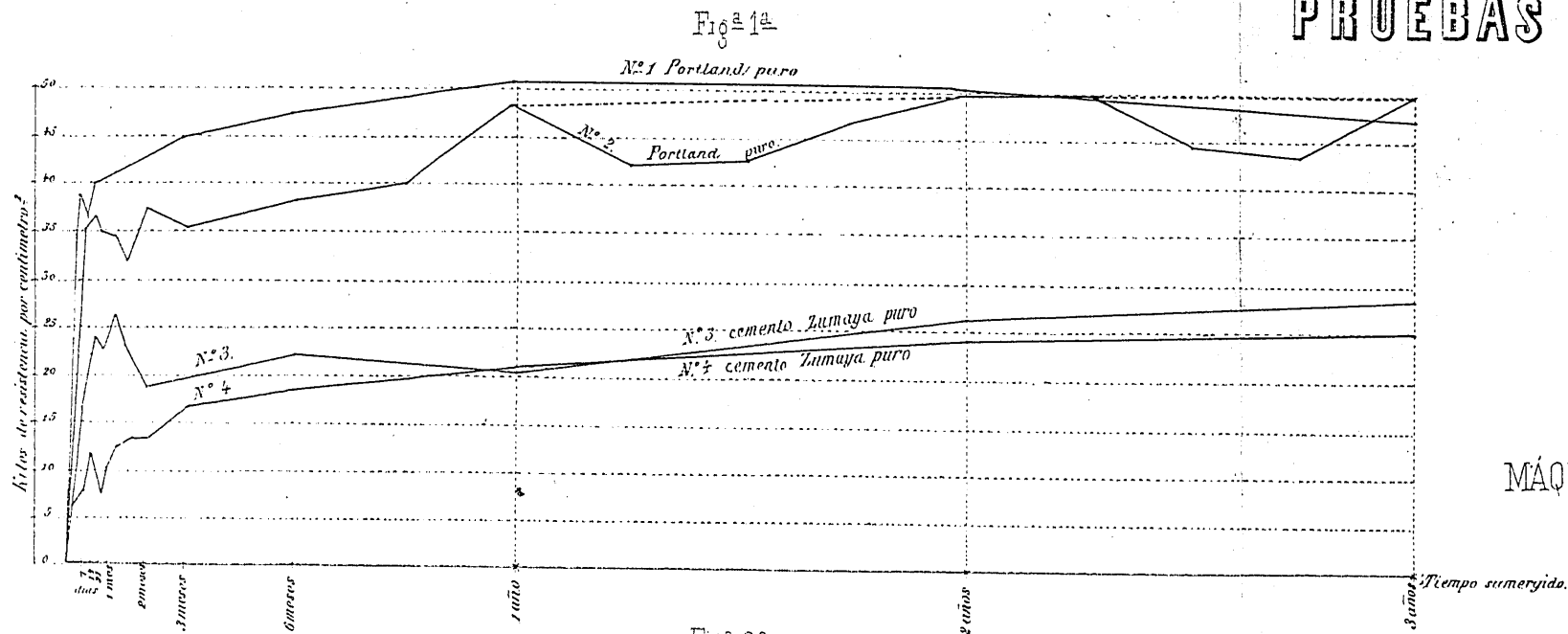
(Se continuará.)

FERNANDO GARCÍA ARENAL.

Ingeniero de Caminos.



PRUEBAS DE CEMENTO.



MÁQUINA DE PROBAR CEMENTOS
por tension.

