

y Charco del Cura, y consistirán en cuatro grupos de 15 000 CV para San Juan, y tres de 8 000 CV para Picadas.

Esta central será la última, en el sentido de la corriente del río, y la más próxima a Madrid, de donde distará 50 km. Poco más abajo cambian la topografía y la constitución geológica de la cuenca del Alberche, abriéndose sus márgenes como tránsito a las llanadas que forman el valle inferior.

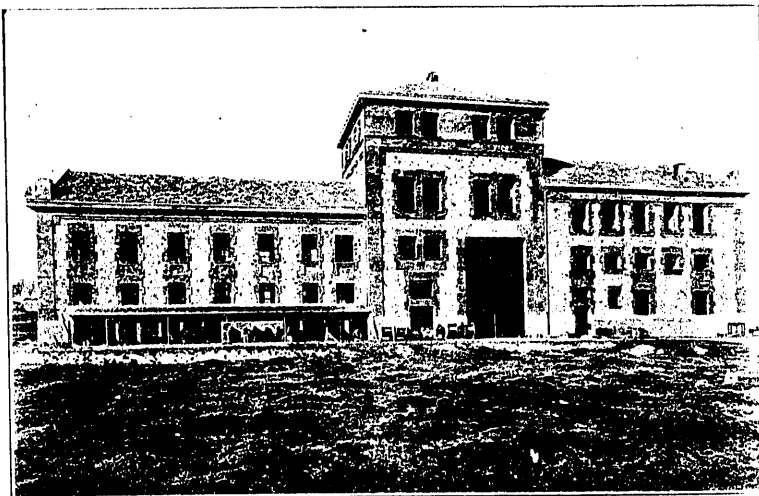
La potencia media continua que se obtendrá en total será de 66 000 CV, y la producción anual en kv-h netos, la siguiente:

Primer grupo	185 000 000
Segundo —	112 000 000
Tercer —	128 000 000
TOTAL.....	425 000 000

Para terminar, consignaremos, como dato muy importante, que la aportación del Alberche nos es conocida por aforos practicados concienzudamente y de manera continua durante los últimos cinco años, utilizando para ello doce estaciones convenientemente emplazadas en el río principal y en los afluentes más importantes. De las instaladas en aquél, las de Hoyo Casero, Burgohondo y San Juan, son limnigráficas, de la conocida Casa A. Stoppani & Cía., de Suiza. Los datos recogidos en ellas han servido para establecer el plan general y los proyectos de cada grupo, a fin de alcanzar una regulación de 18 a 20

metros cúbicos continuos por segundo en el último embalse.

Las aportaciones señaladas en la estación de San Juan fueron, durante los últimos años, las siguientes:



Subestación de transformación de Madrid.—Casa de aparatos

1923-24	598 000 000 m ³
1924-25	375 000 000 »
1925-26	570 000 000 »
1926-27	585 000 000 »
1927-28	952 000 000 »

Si la Dirección de la REVISTA nos lo permite, seguiremos dando cuenta más detallada de las obras y proyectos en artículos sucesivos.

Antonio S. PERALBA ALVAREZ
Ingeniero de Caminos, Director de
la Sociedad «Saltos del Alberche».

¿Puede fabricarse un buen cemento artificial en una fábrica pequeña?

No tenemos la pretensión de determinar si, desde el punto de vista social, y en igualdad de condiciones, varias pequeñas empresas p , produciendo cada



Fábrica de cemento de la Fortunada. Vista general desde la carretera.

una un tonelaje t de cemento — o de cualquier otro producto — son preferibles a una sola gran fábrica produciendo el mismo tonelaje pt . Sin embargo, es cierto que una pequeña empresa bien situada, instalada y dirigida, dará (casi siempre) un beneficio proporcional más elevado que una empresa muy importante. Hay que hallar, evidentemente, cierto equilibrio en la producción, variable en cada caso particular, y también para cada naturaleza de industria.

Una de las principales razones por las cuales quiebran las pequeñas empresas es la siguiente: generalmente, además de una tesorería empeñada, carecen completamente de dirección técnica. Estas empresas están en manos de un simple contraamaestre.

Si, en estas condiciones, los productos fabricados no pueden sostener la comparación con los de una gran fábrica vecina; si luego quiebra el negocio, las causas del fracaso no son debidas a la pequeña capacidad de producción, sino a la incompetencia técnica y a carecer de sentido administrativo la dirección.

Al contrario, si la misma empresa pequeña está dirigida y administrada por su propietario, supo-

niendo, desde luego, que posee los conocimientos objetivos indispensables y dispone de capital suficiente, la misma pequeña empresa dará un rendimiento positivo.

Si las pequeñas empresas tienen generalmente un precio de coste de fabricación más elevado que el de las grandes fábricas, estas últimas, al contrario, tienen gastos generales, administrativos y financieros muchas veces tan considerables que alcanzan y hasta sobrepasan la economía debida a la fuerte producción.

No sería difícil, desglosando los balances de tales empresas importantes, enseñar por qué artificios contables presentan una apariencia de solidez, cuando el edificio descansa en realidad sobre la arena.

Un ejemplo de pequeña fábrica bien administrada y dirigida es el de la pequeña fábrica de cemento de la Compañía Hidroeléctrica Ibérica en la Fortunada (Aragón), dirigida con tanta habilidad y competencia por el distinguido ingeniero D. Enrique Uriarte Humaran.

La Hidroeléctrica Ibérica se constituyó como Sociedad anónima en Bilbao el año 1901 para la construcción y explotación de aprovechamientos hidráulicos y suministro de energía eléctrica a la zona de las provincias vascongadas.

Su iniciador fué el insigne ingeniero D. Juan Urrutia Zulueta, que hasta su muerte, en 1925, fué su director-gerente.

Al constituirse la Hidroeléctrica adquirió un salto, en construcción, en el río Leizarán (Guipúzcoa), poniéndolo en explotación en 1904. Este salto tiene un desnivel de 200 m y una potencia de 4 000 CV.

El mismo año 1904 terminó otro salto en el río Ebro, en Quintana-Martín Galíndez (Burgos), con 18 metros de desnivel y 4 000 CV de potencia.

Aguas abajo de este aprovechamiento terminó en 1908 otro salto, llamado de Puentelearrá, con un desnivel de 40 m y una potencia de 8 000 CV.

Estos tres saltos se unieron por medio de una línea eléctrica de 30 000 voltios de tensión, una de las primeras en Europa de esta tensión en aquella época: esta línea suministraba flúido eléctrico a Bilbao y su zona fabril, Guipúzcoa, Vitoria y Miranda.

Posteriormente adquirió tres pequeños saltos en el río Cadagua (llamados saltos de Mena), con una potencia total de 1 500 CV, y construyó en las cercanías de Bilbao una central térmica de 6 000 kw de potencia para asegurar el servicio de sus abonados.

Al aumentar en gran cantidad el pedido de energía eléctrica, construyó el salto del Cinca, en la provincia de Huesca, terminando el año 1923 la central de la Fortunada y utilizando un salto de 450 m, con una potencia de 60 000 CV. Construyó para este aprovechamiento una línea eléctrica de 300 kilómetros de longitud a 132 000 voltios de tensión, trabajando actualmente todos los saltos acoplados sobre la zona fabril de las provincias vascongadas.

Actualmente, para aumentar su producción y regularizarla, se está construyendo en la zona del Cinca un salto de 200 m, con una potencia de 10 000 CV, en el río Barrosa; otro salto en el Urdiceto, de 420 m, con instalación de acumulación hidráulica por medio de bombas y de una potencia de 8 000 CV; un embalse en el lago de Urdiceto de 5 1/2 millones de metros cúbicos, y otro en el de Marboré de 1 400 000 m³.

Esta central de acumulación de Urdiceto aprovechará la época de energía abundante en la central de la Fortunada (unos tres meses al año) para elevar

agua de las cuencas inferiores al embalse y llenar éste.

En Bilbao se amplía la central térmica en 10 000 kw, actualmente, y muy próximamente en otros 10 000.

La ejecución de este amplio programa de obras necesitaba forzosamente el empleo de un tonelaje fuerte de cemento portland. Puesto que había que ejecutar esta obra en montaña, a unos 100 km de la estación de la pequeña población de Barbastro, la cual se encuentra a unos 270 km de las fábricas de cemento de Barcelona, los muy distinguidos administradores de la Compañía Hidroeléctrica Ibérica tomaron la decisión de edificar una pequeña fábrica de cemento artificial próxima a las obras proyectadas.

El estudio del emplazamiento fué bastante largo,



Fábrica de cemento de la Fortunada. Vista desde el río.

pues importa que una fábrica de productos pesados como el cemento esté situada cerca de las materias primas y cerca también de la vía de evacuación.

Muchas fábricas pecan por su disposición. Podríamos nombrar una que, desafiando todo buen sentido, fué colocada sobre la punta de un monte, a 700 m de la cantera y 250 m del apartadero del ferrocarril, cuando un amplio terreno horizontal estaba disponible entre la vía y el monte. Este terreno estaba, evidentemente, indicado para recibir la fábrica, y, sin embargo, hallaron el medio de colocarla arriba. Como consecuencia de esta disposición extravagante, se necesitan tres cables para los transportes de materias primas, combustibles y sacos de cemento.

Estas manipulaciones engorrosas, extendidas sobre una producción de unas 60 000 toneladas, se traducen, en fin de año, por un capital considerable gastado inútilmente.

La fábrica de la Fortunada se edificó debajo de los yacimientos de materias primas y próxima a la carretera. Se encuentra en excelentes condiciones desde el punto de vista de la manutención y también de la repartición y de la vigilancia del trabajo, pues la fábrica está situada en un terreno horizontal.

Gracias a esta disposición acertada, el director puede recorrer todas las secciones de la fábrica en dos o tres minutos. Una vigilancia tan sencilla se traduce por un beneficio seguro e interesante en fin de año.

Materias primas. — Se sabe que para fabricar ce-

mento artificial se debe disponer de materias primas conteniendo sílice, alúmina, óxido de hierro (estos tres cuerpos presentándose en general bajo la forma de arcilla) y de cal bajo la forma de carbonatos. También se encuentran productos naturales teniendo cal bajo la forma de silicato, pero hay pocos y no son muy recomendables.

Se puede fabricar, evidentemente, cemento con caliza compacta pura y dura, y hasta con mármol blanco y con minerales de hierro, para el óxido de hierro; arena blanca, para la sílice; bauxita blanca, para la alúmina, o bien bauxita roja, a la vez, para óxido de hierro y alúmina.

Sin embargo, estas materias primas no son recomendables. Se concibe, en efecto, que para combinar estos productos entre sí hay que reducirlos a una gran finura para que los granos puedan penetrarse completamente por difusión a alta temperatura.

Cuanto más voluminosos son los granos, más dificultades hay para la penetración y el microscopio demuestra que un grano producido mecánicamente por los aparatos corrientes de molienda industrial, aun cuando pase por el tamiz de 4 900 mallas, corrientemente empleado, es todavía un grano enorme comparado con los de ciertas calizas arcillosas naturales, o a los de ciertas calizas silíceas.

Además, en el caso arriba mencionado: calizas puras, arena, óxido de hierro y bauxita, habría que calcinar a temperatura elevada y prolongada para llegar a combinar estas materias. En estas condiciones, la calcinación necesitaría un suplemento de combustible. Por otra parte, el rendimiento de los hornos sería inferior y los refractarios empleados durarían menos tiempo.

Por consiguiente, cuanto más se aproximen las materias primas a la composición deseada, es decir, del polvo dosificado o de la pasta antes de la coadura, más fácil resultará ésta y mejor será la calidad del cemento producido.

Pocas veces se puede disponer de materias primas tan perfectas; sin embargo, ciertas fábricas, como la de la Porte de France, en Francia, explotan canteras de tanta homogeneidad que los análisis hechos hace cincuenta años son exactamente los mismos que los que se hacen ahora. Esta caliza es tan compacta y fina que no se nota ningún grano que sea diferente de los demás, aun examinándolos al microscopio.

También fué porque la caliza arcillosa de la región de Boulogne-sur-mer reunía estas calidades de finura y homogeneidad por lo que la industria del cemento pudo crearse en Francia.

Los principios fueron relativamente fáciles, a causa de la calidad de las materias primas.

Poco a poco, estudiando las diferentes fases de la fabricación y también bajo la influencia de las condiciones económicas que exigieron el empleo cada vez más considerable del cemento, necesitándose así la creación de nuevas fábricas, se ha logrado fabricar buen cemento aun utilizando materias primas poco homogéneas, materias que hubieran resultado inutilizables en el principio de esta industria.

La homogeneidad física y química de las materias primas tiene menos importancia en la fabricación del cemento artificial que en la fabricación del cemento natural.

A pesar de esto, es mucho más fácil fabricar un polvo de composición química constante partiendo de productos de composición igualmente constante,

que si se deben manipular materias primas en las cuales varían no solamente las proporciones de los diferentes elementos, sino también en las cuales las proporciones entre ellos, llamados módulos, son variables.

Se logrará, evidentemente, una composición constante de la mezcla cruda corrigiendo esta composición por adiciones de sílice bajo la forma de arena, de óxido de hierro bajo la forma de minerales o cenizas de piritas y de alúmina bajo la forma de bauxitas y luego mezclando el conjunto en silos de homogenización.

Estas consideraciones tienen todavía más importancia si la coadura se hace en hornos verticales en vez de hornos rotatorios.

Unas experiencias, algo antiguas ya ¹, han demostrado de una manera concreta la diferencia de homogeneidad de muchas calizas arcillosas. El método consiste, como lo habían aplicado ya antes varios experimentadores en el Laboratorio de la Société Pavin de Lafarge, como particularmente M. Jules Bied, prematuramente sustraído a la ciencia, en atacar por una solución diluída de ácido clorhídrico la superficie cuidadosamente aplanada de una loseta de caliza. Después de unos días se perciben cráteres en los puntos donde domina la caliza, y unos montecillos donde, al contrario, la arcilla está en exceso. Luego se ha perfeccionado este método sumergiendo la caliza, antes de atacarla por la solución ácida, en un baño de parafina hirviendo, para dar consistencia a la parte arcillosa.

Con este método es fácil ver la gran diferencia entre ciertas calizas que tienen, sin embargo, la misma composición química media.

Supongamos, en efecto, una caliza compuesta por una aglomeración de pequeñas esferas de caliza pura de 10 mm, de una parte, y de otra parte por esferas iguales de arcilla pura. Luego otra caliza compuesta de la misma manera, pero cuyas esferas no tendrán más que 1/10 mm de diámetro. Si para cada uno de estos dos casos las proporciones por ciento en peso de carbonato de cal y arcilla son las mismas, evidentemente el análisis químico dará los mismos resultados en los dos casos.

Si nos fijamos solamente en el análisis, deduciremos que estas dos mezclas tienen el mismo valor para la fabricación del cemento.

Sin embargo, después de calcinar la primera caliza no se obtendrá más que un conjunto inutilizable de cal viva y de arcilla cocida, cuando en el segundo caso se obtendrá una roca de cemento (*clinker*).

Si además del análisis químico se ensayan estas dos calizas atacándolas por ácido clorhídrico muy diluído, como anteriormente he indicado, se notará en la primera caliza una especie de playa compuesta de pequeños hoyos donde se encontraba la caliza pura, quedando intactas las pequeñas esferas de arcilla, obteniendo así una sucesión de cráteres y montecillos.

En el segundo caso, al contrario, a causa del pequeño tamaño de los granos, la superficie estará atacada uniformemente, y después de la reacción la superficie quedará uniformemente llana, sin cráteres ni montecillos. La conclusión de este ensayo será que esta caliza vale más que la primera.

¹ Sobre la constitución íntima de las calizas, por E. Leduc, 1907.

Se puede apreciar la homogeneidad de una caliza por el procedimiento siguiente:

Se toma un trozo de la caliza a probar de unos 8 a 10 centímetros de lado y se perforan verticalmente uno o varios agujeros con una barrena para madera, arreglándose para hacer entrar la barrena a cada vuelta una cantidad pequeña, de manera a sacar cada vez una sencilla película pesando un gramo como máximo. Luego se dosifica la arcilla sobre la totalidad de la saca.

Las calizas siguientes, ensayadas por este método, demuestran resultados particularmente interesantes:

Arcilla por 100

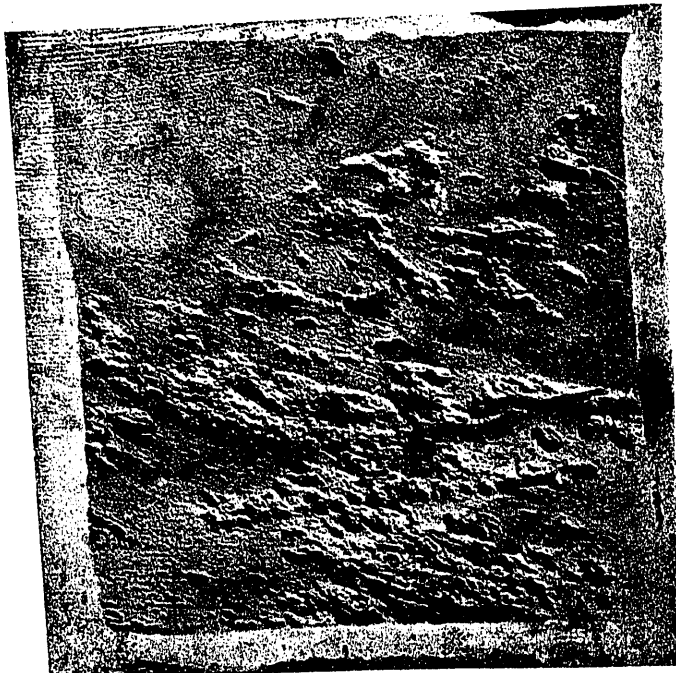
NÚMERO 1 804			NÚMERO	NÚMERO	NÚMERO	
Agujero 1	Agujero 2	Agujero 3	1 814	1 827	1 831	
17,35	15,17	15,67	19,32	17,67	16,25	
19,14	15,01	14,80	19,08	18,25	15,84	
20,01	14,94	14,82	19,14	18,60	15,04	
18,30	15,03	15,52	19,78	18,10	14,84	
18,67	14,67	15,46	20,45	17,80	14,50	
15,76	15,38	15,48	21,01	17,96	15,52	
17,42	15,77	15,51	20,03	17,77	14,33	
15,55	15,89	15,48	20,	17,47	14,94	
18,52	16,69	16,25	20,76	17,12	14,82	
19,13	16,13	16,07	20,58	16,38	14,58	
18,58	14,99	15,59	20,47	16,	14,93	
18,14	14,99	15,71	20,33	15,62	14,99	
15,39	15,09	15,62	20,15	15,12	15,02	
17,62	15,25	15,43	19,88	14,99	14,91	
18,95	15,11	15,29	19,40	15,30	14,99	
20,37	»	»	18,91	15,41	15,24	
17,06	»	»	19,10	15,85	15,18	
18,85	»	»	18,87	15,93	15,15	
21,90	»	»	»	»	15,09	
21,23	»	»	»	»	15,08	
»	»	»	»	»	14,35	
»	»	»	»	»	14,96	
»	»	»	»	»	14,86	
»	»	»	»	»	14,61	
»	»	»	»	»	14,64	
»	»	»	»	»	14,47	
»	»	»	»	»	14,34	
»	»	»	»	»	14,28	
Máximo.	21,90	16,69	16,25	21,01	18,60	15,84
Mínimo.	15,39	14,67	14,80	18,87	14,99	14,25
Diferencia.	6,51	2,02	1,45	2,14	3,60	1,59
Máximo ..	21,90					
Mínimo ..	14,67					
Diferencia ..	7,23					

Por tanto, se debe siempre controlar el análisis químico por un ensayo de homogeneidad.

Como hemos dicho antes, hay que procurar tener materias primas convenientes. En caso contrario, se corregirán los porcentajes demasiado bajos, añadiendo uno o varios de los productos siguientes: arena, óxido de hierro, bauxita.

En vez de añadir arena pura, es decir, sílice, es preferible añadir una arena un poco arcillosa. Las combinaciones serán entonces más fáciles. Sea lo que sea, la arena añadida tiene que estar molida muy finamente, bien sea aparte, cosa que complica la instalación, bien sea que la mezcla se muele uniformemente.

En unos ensayos que hemos ejecutado hace unos



Caliza número 1 804.

veinte años, hemos demostrado que una adición de 5 por 100 de arena pasando el tamiz de 144 mallas y quedando sobre el de 324 mallas, nos había dado 30 por 100 de polvo (después de la calcinación), y que la misma proporción de arena fina, pasando completamente por el tamiz de 4 900 mallas, no había producido nada de polvo. Para este ensayo la pasta se había cocido en un horno de gas.

Una pequeña experiencia muy interesante consiste en introducir un grano de arena del grueso de la cabeza de un alfiler en una pequeña bola de pasta. Después de cocer, se percibe, rompiendo la bolita de *clinker* obtenida, en el sitio del grano de arena, una minúscula geoda esparcida de polvo. Para este ensayo es preferible cocer con gas o con petróleo, pues así se encuentran las bolitas intactas, sin manchas debidas a las cenizas del cok o de la antracita, como ocurriría fatalmente cociendo con un combustible sólido.

La fábrica de la Fortunada emplea caliza y marga y añade un poco de óxido de hierro para corregir la insuficiencia en óxido.

Los análisis siguientes, durante varios años, demuestran la homogeneidad de las materias primas.

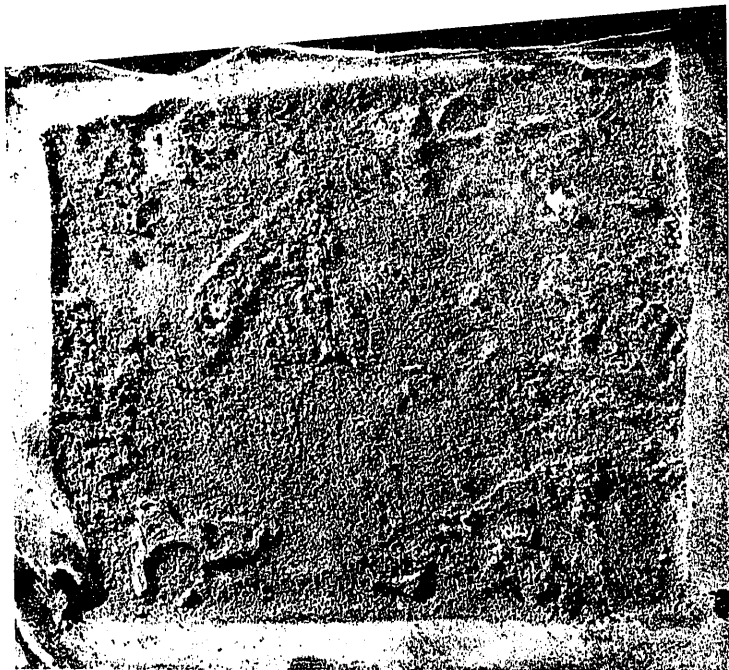
Los resultados de este ensayo sobre la caliza número 1 804, especialmente, son muy típicos. Se ve que a una distancia horizontal de 2 a 3 cm, y sensiblemente a la misma profundidad, la caliza es completamente diferente, puesto que se encuentra en el agujero núm. 1 una capa teniendo 20,01 de arcilla, y que en el agujero simétrico núm. 2 se halla a la misma profundidad una capa conteniendo solamente 14,94.

Estos ensayos, como los ejecutados por reacción del ácido clorhídrico, demuestran que la caliza número 1 831 está constituida por una masa completamente homogénea, y que las demás calizas, y particularmente la caliza núm. 1 804, no lo son.

Las fotografías de estas últimas muestras son muy características.

	CALIZA		MARGA	
	Máximum	Mínimum	Máximum	Mínimum
Sílice	1,10	0,20	69,75	67
Alúmina.....	1	0,23	18,40	15,70
Oxido de hierro...	0,64	0,20	6	5
Cal	55	54,20	1,90	1,20
Magnesia.....	0,50	0,30	0,40	0,15
Anhídrido sulfúrico	0,60	0,14	0,60	0,20

Estas materias primas permiten, con una adición pequeña de óxido de hierro, producir un cemento de excelente calidad, quedándose para la mezcla dosificada, en los alrededores de 2 para los módulos



Caliza número 1827.

hidráulico y silíceo. En efecto, es completamente inútil para conseguir resistencias elevadas aumentar la dosificación en cal, forzando excesivamente el módulo hidráulico. Es una práctica peligrosa llegar hasta el límite de la expansión.

Si, en efecto, nos fijamos en la composición química del cemento de alta resistencia de la fábrica Holderbank, que puede ser considerado como tipo de los supercementos, veremos, como lo demuestran los análisis siguientes, que su composición química es absolutamente normal y que, por consiguiente, las altas resistencias no provienen de un exceso de cal ni de un exceso de sílice.

Estos análisis son los siguientes:

	Holderbank	Otra fábrica
Sílice.....	20,70	21,25
Alúmina.....	5,60	7,05
Oxido de hierro ..	2,25	3
Cal	61,60	64,45
Módulo hidráulico	2,15	2,08
Módulo silíceo ...	2,63	2,09

Las composiciones químicas de estos cementos son, por consiguiente, absolutamente normales. Es lo mismo que los demás cementos portland de alta resistencia fabricados actualmente en algunas fábricas, sea en Francia, sea en Alemania. Tenemos a la vista unos análisis donde aparece un módulo hidráulico un poco inferior a 2 y otros con módulo silíceo apenas superior a 2.

Ocurre lo mismo con las dos muestras de cemento siguientes, A y B, tomadas en una fábrica que hace la cocción en hornos verticales. Estos dos cementos dan resistencias de primer orden. Sin embargo, los módulos hidráulicos y silíceos son un poco inferiores a 2. Pero la preparación y la calcinación estaban particularmente cuidadas y el polvo producido durante el ensilado había sido eliminado:

	A	B
Sílice.....	21	22,15
Alúmina.....	7,40	8,40
Oxido de hierro	3,10	3,10
Cal	61,18	61,30
Magnesia.....	1,58	1,45
Anhídrido sulfúrico .	2,12	1,98
Pérdida al fuego....	3,20	2,60
Módulo hidráulico ..	1,99	1,87
Módulo silíceo	1,92	1,84

Resistencias en mortero seco 1 : 3

1 día	33	33,5
2 días.....	40	42,5
3 días.....	38,5	
1 semana.....	41	

Tomemos otro ejemplo: Las materias primas son, de una parte, una caliza muy tierna, y, de otra parte, una marga excesivamente tierna. Estas dos materias son muy finas y homogéneas y se disuelven muy fácilmente.

La composición de las materias primas es la siguiente:

	Caliza	Marga
Sílice.....	8,30	26
Alúmina.....	2,25	4,95
Peróxido de hierro.	1,05	2,05
Cal	48,25	32,50

Estas materias no tienen magnesia ni anhídrido sulfúrico.

En cada una de estas materias la sílice es casi soluble en totalidad.

La mezcla cruda al análisis no da más que 1 por 100 de sílice insoluble.

En estas condiciones, no hay ningún temor en fabricar un cemento de módulo hidráulico elevado.

El cemento producido tenía la composición siguiente:

Sílice.....	22,50
Alúmina.....	5
Peróxido de hierro	2,18
Cal	68,30
Módulo hidráulico	2,30
Módulo silíceo	3,10

Molido inmediatamente después de la calcinación, el cemento no da más que 3 mm de expansión.

Las resistencias en mortero plástico 1 : 3 son elevadas:

después de 2 días	13,5 kilogramos
— 3 —	18,5 —
— 7 —	29,5 —
— 28 —	36,8 —

Estos ejemplos son particularmente típicos y demuestran claramente la inutilidad de aumentar los módulos, a condición de cuidar minuciosamente la preparación, la calcinación y también, como lo escribimos más adelante, de calcar con un carbón conveniente. La resistencia del cemento depende mucho más de la finura de los granos y de la homogeneidad de la mezcla a cocer que de la dosificación en cal.

Nosotros hemos demostrado ¹ que por la adición de una pequeña cantidad suplementaria de arcilla (3 por 100) a la pasta normal de cemento la producción de polvo era más elevada cuando la arcilla añadida estaba imperfectamente molida.

Lo mismo que para los ensayos anteriores, estos últimos se hicieron en un pequeño horno de gas. El polvo se separaba de los *clinkers* algunas horas después de la calcinación, sin haber mojado los *clinkers*.

Los resultados fueron los siguientes:

	Polvo obtenido por 100 de <i>clinkers</i>
Arcilla añadida, pasando el tamiz de 144 mallas y quedando sobre el de 324	18,8
Arcilla añadida, pasando el tamiz de 324 mallas y quedando sobre el de 900	5,8
Arcilla añadida, pasando el tamiz de 900 mallas y quedando sobre el de 4 900	0,7

Un cemento cocido en horno rotatorio, fabricado con materias homogéneas y finas de la región de Boulogne-sur-mer, ha dado la composición química siguiente:

Materias insolubles	1,42
Sílice combinada	18,55
Alúmina	7,29
Oxido de hierro	3,47
Cal	67,20
Magnesia	0,79
Anhídrido sulfúrico	0,33
Pérdida al fuego	0,48
Sin dosificar y pérdida	0,47
TOTAL	100
Módulo hidráulico	2,29
Módulo silíceo	1,73

Los *clinkers* ensayados a la salida del horno no eran expansivos. Acusaban 3 mm solamente en el ensayo Le Chatelier. Sin embargo, la cantidad de cal es muy superior a la necesaria — 59,96 — para transformar la totalidad de la sílice y la totalidad de la alúmina en combinaciones tricálcicas. Por otra parte, el módulo silíceo es bajo.

M. Jules Bied, ya nombrado, había llegado al mismo resultado. En una obra póstuma publicada en 1926 este autor habla de una caliza no conteniendo más que 12 por 100 de sílice, pero de textura particularmente homogénea y de granos muy finos, de tal manera, que daba un cemento natural de muy buena calidad, a pesar del porcentaje muy pequeño de sílice.

Unos ensayos industriales ejecutados en las fábricas del Teil por M. Jules Bied confirman lo que escribimos más arriba, o sea que la naturaleza física de la mezcla tiene más importancia, hasta cierto punto evidentemente, que su composición. Por ejemplo, se ha podido fabricar un cemento estable al agua hirviendo en la fábrica Pavin de Lafarge, cociendo a muy alta temperatura en un horno de gas una mezcla teniendo la composición siguiente:

Sílice	23,30
Alúmina	2,40
Oxido de hierro	0,90
Cal	70,70
Magnesia	1,40
Sin dosificar y pérdida	1,30
TOTAL	100
Módulo hidráulico	2,65
Módulo silíceo	7,06

Nosotros hemos fabricado en un pequeño horno alimentado con petróleo un cemento casi exclusivamente silíceo, cociendo una mezcla de cal apagada del Teil y de *gaize*, operando así por doble cocción.

Como es sabido, la *gaize* es una puzolana tierna muy abundante en ciertas regiones de Francia, especialmente en el departamento de los Ardenes.

Algunas muestras nos han dado, después de ligera calcinación, la composición química siguiente:

	1	2
Sílice	80,20	76,20
Alúmina	8,30	7,70
Oxido de hierro	3,60	3,20
Cal	2,20	5
Magnesia	1,00	1,08
Anhídrido sulfúrico	0,54	0,74
Pérdida al fuego	4,25	5,50
Sin dosificsar y pérdida	nada	0,58
TOTAL	100,09	100

¹ Sobre la constitución y la formación del cemento portland, por E. Leduc, 1911.

La composición química del cemento producido es la siguiente:

	1	2
Sílice.....	31,630	30,018
Alúmina.....	2,055	2,609
Oxido de hierro....	1,053	1,237
Cal.....	63,173	63,306
Magnesia.....	1,370	1,566
Anhídrido sulfúrico.	0,511	0,744
Sin dosificar y pérdida	0,058	0,520
TOTAL.....	100	100
Módulo hidráulico ..	1,82	1,87
Módulo silíceo.....	10,20	7,80

Las resistencias de este cemento eran de primer orden para la época:

	CEMENTO PURO		MORTERO SECO 1 : 3	
	Tracción	Compresión	Tracción	Compresión
1 semana.....	20	235	15,3	192
4 semanas.....	41	606	21	289

Para darse cuenta del valor de este cemento, hay que recordar que en esa época los Pliegos de Condiciones de las grandes Administraciones no exigían sino 8 kg de resistencia a la tracción en mortero seco 1 : 3 en una semana.

Como se ve, estos cementos son casi exclusivamente silíceos. Se diferencian entre sí, ante todo, por su módulo hidráulico 2,65, de un lado, por 1,82 y 1,87, de otro lado.

Por otra parte, en un ensayo de fabricación industrial sobre varios centenares de toneladas de cemento, hemos fabricado, según las fórmulas del Dr. Kuhl, un cemento teniendo la composición química siguiente:

Sílice.....	17,60	a	19,40
Alúmina.....	7,95	a	9
Oxido de hierro.....	5	a	6,20
Cal.....	60	a	62
Módulo hidráulico.....	1,70	a	1,93
Módulo silíceo.....	1,15	a	1,45

En fin, se ha demostrado que bajo la influencia de una coadura prolongada se puede «saciar» de cal un cemento sin que resulte expansivo. Este procedimiento no ha recibido ninguna aplicación industrial.

Este cemento tenía 20,25 por 100 de sílice, 2 de alúmina, 1,62 de óxido de hierro y 74,50 de cal; es decir, más de 10 por 100 de cal (CaO) en exceso sobre la cantidad necesaria para transformar la sílice, la alúmina y el óxido de hierro en sales tricálcicas.

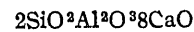
Por estos ejemplos se ve que el margen en el porcentaje de los elementos constitutivos del cemento es muy grande.

Esto se explica muy bien: 1.º, por las dimensiones de los granos y la homogeneidad de la mezcla, los elementos constitutivos no forman todos combinaciones hidráulicas; 2.º, porque el *clinker* de cemento portland está constituido de varios cuerpos aun más o menos definidos.

Según los autores, se puede admitir:

1.º Un silicato básico SiO^2_3CaO , o $SiO^2_{2,5}CaO$, perfectamente definidos, o SiO^2_2CaO , absorbiendo por disolución una cantidad de cal tal que la totalidad llega a pasar de los 3CaO de las combinaciones tricálcicas.

2.º De compuestos cálcico-silíceo-aluminosos. Por ejemplo, la alita de Janecke, cuya fórmula, según este experimentador, es:



Después de todo, nos podemos permitir decir, aun sin estudiarla detenidamente, que esta fórmula está seguramente equivocada, pues Henri Le Chatelier ha demostrado, sin discusión posible, que los *grapiers* del Teil, cuya constitución micrográfica es la del cemento portland, poseen solamente una cantidad ínfima de alúmina.

3.º Quizá de compuestos cálcico-silíceo-aluminos-férricos.

Si partimos del silicato tricálcico, se tiene la composición:

SiO ²	26,39	por 100
CaO	73,61	por 100

Si, al contrario, tomamos la fórmula dada por Janecke para la alita tenemos:

SiO ²	22,18	por 100
Al ² O ³	7,61	por 100
CaO	70,21	por 100

No se encuentra nunca tal proporción de alúmina en los *grapiers* del Teil.

La composición química centesimal resultando de estas fórmulas puede, por consiguiente, variar en amplios límites, y cuanto más que estos mismos cuerpos, más o menos definidos, se disuelven uno dentro de otro en varias proporciones y están mezclados, además, a ciertos productos de fusión.

Por tanto, hay una escala enormemente extensa de productos hidráulicos.

La dificultad es conseguir los que son particularmente activos con las materias primas y los medios a nuestra disposición.

En otro artículo próximo describiremos la fábrica de la Fortunada.

Ernesto LEDIC

Jefe honorario de la Sección de Materiales de Construcción del *Conservatoire National d'Arts et Métiers*, de Paris.
Ingeniero químico consultor