

Análisis microscópicos de cementos

El conocimiento de los elementos que integran un cuerpo nos dice muy poco de la constitución de éste, pues desde el momento que ha sido tratado por un reactivo químico hemos ya destrozado y transformado por completo sus moléculas, y sólo tendremos noción de la naturaleza de los restos de este destrozamiento que descubriremos, bien sea aisladamente, o los productos de su unión con los del reactivo, que a su vez también ha sido alterado, pero que apenas nos dan

lanzamos a averiguar qué compuestos pueden obtenerse que tengan propiedades iguales al material objeto del ensayo y a la confección sintética de los mismos (silicatos y aluminatos de calcio y de magnesio estudiados por Le Chatelier), con lo que, obteniéndose en principio una orientación de conjunto, se llega a una desorientación enorme en cuanto se desciende a los detalles, y esto tiene una clara explicación, y es que por complicada que sea la síntesis



Fig. 1.ª Clinker fabricado en horno giratorio.—Fig. 2.ª El mismo visto con luz polarizada y nicols cruzados.—Fig. 3.ª Clinker fabricado en horno vertical.

noción de cómo era el cuerpo primitivo; es decir, nos encontraremos frente a un problema semejante al que se presenta en Cálculo, al conocer perfectamente una diferencial y desconocer la integral; en los cementos, el análisis químico nos demuestra la existencia y nos da la proporción de cal, sílice, alú-

química, sobre todo comparada con el análisis, lo es mucho más aún la síntesis mineralógica, puesto que en ella actúan en función muy variable del tiempo agentes químicos, físicos y mecánicos, simultáneamente (teoría fisicoquímica de Richardson y Rohland); el proceso de fabricación de un cemento

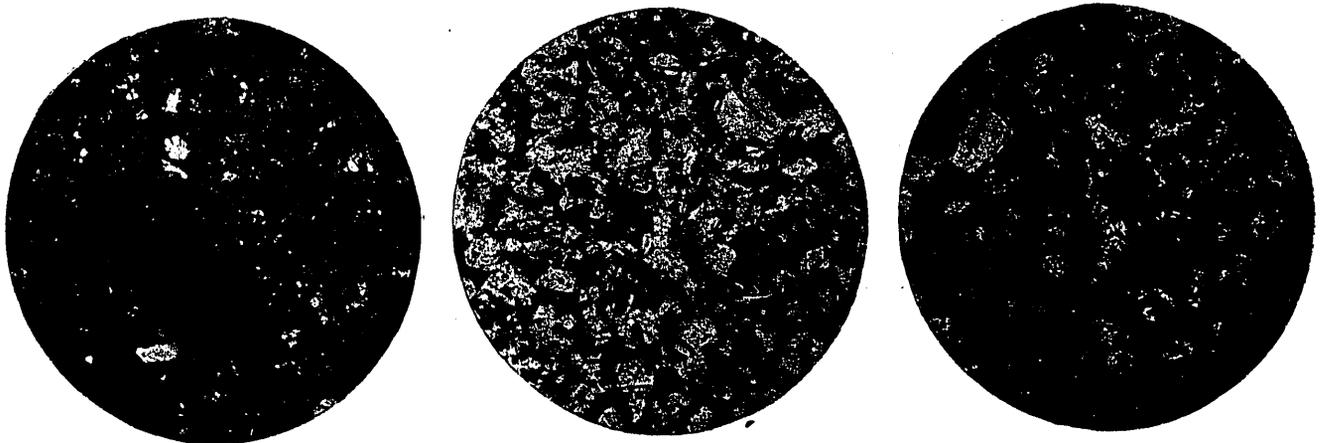


Fig. 4.ª El mismo clinker de la fig. 3.ª visto con luz polarizada y nicols cruzados.—Fig. 5.ª Clinker mal cocido fabricado en horno giratorio.
Fig. 6.ª El mismo visto con luz polarizada y nicols cruzados.

mina, óxidos de hierro, etc.; pero no nos dice de cómo estas especies químicas están ligadas entre sí para formar otras más complejas, no sólo químicas, sino también mineralógicas, de cuyo enlace y penetración mutua resulta el material aglomerante denominado cemento; para intentar llegar a su conocimiento tenemos que hacer cábalas, tanteos, hipótesis, conjeturas y procesos inductivos, en todo semejantes a los que empleamos ante una integral que nos parece o sospechamos ha de ser inexacta; con el resultado cualitativo y cuantitativo del análisis nos

artificial es en todo análogo al de formación de una roca eruptiva natural, la cual no es sólo el resultado de reacciones químicas más o menos complicadas, sino que la temperatura y la presión absolutas y relativas, los movimientos de diversas clases, la presencia y contacto de determinadas sustancias, la rapidez de actuación de todas estas influencias, etc., contribuyen sobremanera a que el resultado final sea uno u otro, y así tenemos que en los cementos, aun partiendo de materias primas de idéntica naturaleza y composición, controladas por los análisis,

según sea el grado de trituración de éstas, según se haga la cochura en hornos fijos o giratorios, según que se haya preparado por vía seca o húmeda, según que el enfriamiento del *clinker* haya sido lento o rápido, etc., se llegara a obtener cementos de la misma composición, pero de propiedades y condiciones muy diferentes, y todavía, en igualdad de todos los procesos citados, aun quedan las influencias de los ensilados y trituración.

Si queremos estudiar un cemento *tal como es*, no debemos alterarlo en nada para su examen, y esto sólo lo podemos conseguir empleando medios de investigación físicos, tales como el microscopio, semejantes a los seguidos en mineralogía y metalografía, con el cual, por medio de luz refractada a través de láminas muy delgadas o reflejada sobre superficies pulimentadas fabricadas con el material en sus fases interesantes, *clinker*, cemento ya fraguado, etc., se pueden ver y estudiar de un modo directo las especies mineralógicas que lo integran, que, por regla general, no corresponden a minerales conocidos en la naturaleza, por lo que precisa estudiar aquéllos como cosa nueva y así ordenarlos y clasificarlos; tratándose de *clinker*, que es la fase en que más experiencias de este género se ha hecho, Le Chatelier y Törnebohn descubrieron minerales bien definidos, que se fueron

eficiencia en la primera se traduciría en la presencia de partículas de materia inerte o de productos de la alteración individual, como el óxido de calcio, y en la segunda, por la obtención de material de muy diferente aspecto y naturaleza, y unas y otras se acusan perfectamente en el análisis de la microestructura; pero aun suponiendo en el grado debido las cuantías de las energías anteriores, que también pueden hasta cierto punto compensarse, se llegan a descubrir del mismo modo otras circunstancias de fabricación más de detalle, tales como la homogeneidad de la cochura y la velocidad del enfriamiento; en efecto, las especies químicas que se forman dependen desde luego de la temperatura del horno; pero también dependen de la misma los complejos que resultan de su enlace, que puede ser, según los casos, simples mezclas, combinaciones, disoluciones y coloides, no sólo de las substancias primitivas unas con otras, sino también de éstas con las resultantes y de las resultantes entre sí, siendo la estabilidad de estos complejos muy variables, física o químicamente; y como, por otra parte, los procesos serán o no reversibles, al descender las temperaturas pueden ser descompuestos total o parcialmente y segregadas o no materias que antes estaban combinadas o disueltas que quedaran en el primer caso mezcladas o disemi-

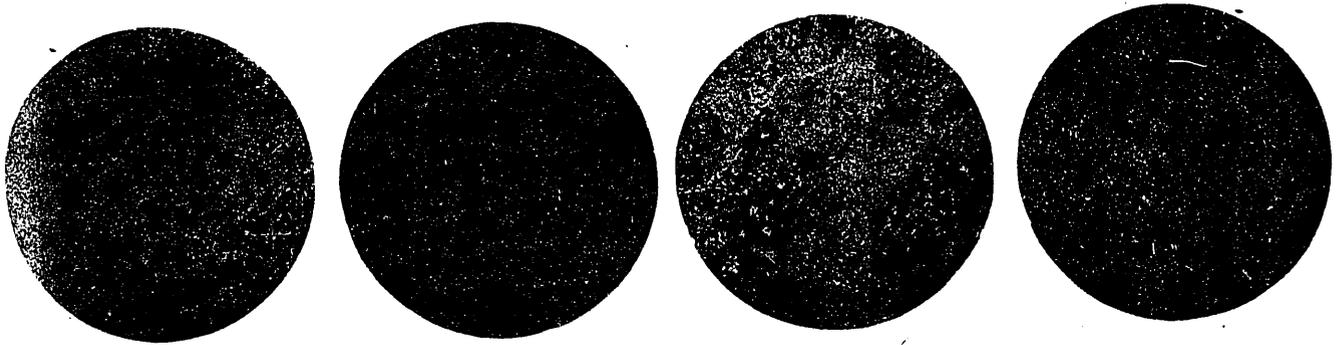


Fig. 7.ª Microestructuras de cementos endurecidos.

denominando sucesivamente *alita*, *belita*, *celita*, etc., pero que, aunque algunos de éstos, como *alita* y *celita* parecen estar bien precisados y comprobada su existencia por otros investigadores, como Richardson, en trabajos independientes, se observan en general diferencias y contradicciones en sus características específicas, conforme se va avanzando en el orden alfabético, debido a la heterogeneidad de las microestructuras, no sólo en los cementos de igual composición procedentes de las mismas rocas naturales, sino también en los obtenidos por un mismo procedimiento y en una misma fábrica y aun de una misma hornada; pero precisamente la complicación que resulta de todo esto es la que da valor a este género de análisis, pues demuestra que los menores detalles de fabricación pueden ser acusados en la microestructura, y de la misma manera que influyen en ésta, pueden influir en las propiedades y calidad del material; el proceso de fabricación de un cemento consiste en la realización de un conjunto de reacciones químicas muy poco conocidas, cuya energía la extraemos por un lado de la mecánica, transformada en energía de superficie, que necesita la preparación de la materia prima, hasta que en forma de briqueta, harina o papilla, la introducimos en el horno, y por otro, la térmica, que representa la elevación tan considerable de temperatura dentro de aquél; una de-

nadas en la masa, cristalizadas o gelatinizadas, y en el segundo continuar aún alcanzando el estado sólido, en combinación, disolución o en estado coloidal, siendo el resultado función directa, no sólo de la diferencia de temperaturas, sino también de la velocidad con que se han alcanzado estas diferencias, análogamente a lo que ocurre en los fenómenos de temple y recocido en los materiales metálicos; las materias resultantes, unas cristalizan, constituyendo, como hemos dicho, verdaderas especies mineralógicas, y otras adquieren estructura vítrea, en cuyo seno se alojan los cristales, o bien éstos, cuyo tamaño depende del proceso de enfriamiento, se agrupan, entrelazándose entre sí.

En el examen microscópico empleando la luz polarizada se distinguen con facilidad la parte cristalina de la vítrea, la homogeneidad de la microestructura indica uniformidad en la cochura, y el color, naturaleza, tamaño, agrupamiento y disposición de los cristales y de la materia amorfa ha de depender de las temperaturas alcanzadas y de la rapidez del enfriamiento; con lo cual, no solamente podremos llegar al conocimiento de la naturaleza de un *clinker*, sino también a poder tener un control de su fabricación, o bien poder estudiar el proceso necesario para obtener un cemento de determinadas condiciones, perfeccionar muestras, tipos, etc., y comparando la

microestructura de un *clinker* con la del cemento endurecido que de él procede, deducir el proceso de fraguado, que a su vez también puede estudiarse directamente poniendo en el portaobjeto del microscopio pasta de agua y cemento en contacto con algún indicador químico.

El tamaño de los cristales, que depende, como ya hemos dicho, de la velocidad del enfriamiento, es condición muy esencial a tener en cuenta, pues al triturar el *clinker* para obtener cemento, la energía química que éste ha de desarrollar en el fraguado parece ser que depende, no sólo de la energía de superficie alcanzada, sino del número de cristales que resulten fraccionados, siendo completamente inertes los que queden enteros, razón por la cual hace falta que los cristales sean grandes, y esto ocurre sólo mediante determinados procesos de enfriamiento, y su estudio, junto con la precisión y perfección de otros detalles de la fabricación, constituye la base de la obtención de los supercementos, cuya composición química apenas difiere de la de los cementos corrientes.

Presentamos con esto un importante tema a estudiar por la Comisión de ensayos de Materiales de construcción y Junta de investigaciones experimentales, así como a la Junta reguladora e inspectora de fábricas de cemento, para llegar a establecer la correspondencia entre cada microestructura, condiciones del material y proceso de fabricación; no se nos oculta la complicación que todo esto representa por el sinnúmero de variables que entran en la función y por las dificultades de instalaciones, confección de las preparaciones, interpretación racional de los resultados, etcétera., etc. Nosotros, por nuestra parte, en el Laboratorio de la Escuela destinado a la enseñanza de los alumnos de la clase de Materiales de construcción, hemos procurado disponer de las instalaciones necesarias para iniciar este género de experiencias, si bien falta aún completarla y hacer una ordenación adecuada en los trabajos, que han de ser continuos, múltiples y variados, si se pretende la deducción de consecuencias de carácter práctico. Hasta ahora, en los dos cursos que venimos actuando en este sentido sólo se han podido hacer observaciones aisladas sobre *clinkers* de diversas condiciones que nos han facilitado las fábricas, y algunas probetas de cemento confeccionadas por los alumnos, habiendo intervenido en el estudio el personal de la clase de Geología, pues para dar la interpretación debida a los resultados hacen falta conocimientos básicos en esta materia; y se ha podido comprobar la existencia de varios de los minerales de las clasificaciones iniciales de que hemos hablado, distinguir en algunos ensayos heterogéne-

idades manifiestas, que pueden ser achacables a diversas causas y susceptibles de tener varias interpretaciones; hemos podido diferenciar los *clinkers* poco cocidos y excesivamente cocidos de los normales en muestras que nos han sido entregadas con el conocimiento previo de estas circunstancias; hemos encontrado en algunos partículas de hierro debidas, sin duda, a la degradación de las bolas de los molinos, así como en otros granos de carbón que no llegaron a quemarse por falta de contacto con el oxígeno al ser envueltos por la masa ígnea y por falta de energía de superficie. La dificultad principal con que tropezamos es la confección de las preparaciones, que requieren material apropiado y personal especializado, con lo que aún no contamos, y hasta ahora nos lo vienen haciendo en un laboratorio de este género, de París, con bastante perfección y economía, pero con todos los inconvenientes de envío, transportes, etc.

Reproducimos algunas fotografías, hechas en el Laboratorio por los alumnos, de preparaciones diversas con especificación de las características y circunstancia del material de que proceden, en la confección de las cuales hemos llegado a una perfección y claridad mucho mayores que las que habíamos visto en publicaciones extranjeras (en España sólo tenemos noticias de algunos trabajos realizados con carácter particular, entre ellos los del Ingeniero de Caminos Manuel Benitez), algunas de exactitud dudosa e interpretación tan imaginativa, que confunden más que ayudan, y, no obstante, hay que tener en cuenta la diferencia de valor con relación al original al desaparecer el colorido, que ha de aportar datos muy importantes, así como la pérdida de claridad en las reproducciones; es un caso en que la fotografía en colores tendría una aplicación preciosa, y hoy día esto no constituye un imposible.

Mayores dificultades se presentan para los cementos ya endurecidos, y las microfotografías que hemos visto reproducidas son muy vagas y desconcertadoras; no obstante, algo se ha hecho también en nuestro Laboratorio, como lo demuestran las pruebas adjuntas; el empleo de la luz reflejada parece estar indicado en este caso; la dificultad está únicamente en encontrar reactivos de ataque semejantes a los empleados en los análisis de aleaciones; y, por último, creemos habría de aportar datos de interés el examen con el ultramicroscopio, que podría descubrir la existencia de coloides sólidos, que, según algunos, se forman durante el fraguado, y para otros constituyen la razón del fenómeno.

Antonio LÓPEZ FRANCO
Profesor de la asignatura de Materiales de Construcción de la Escuela de Caminos.

Bajas en los concursos y subastas de Obras públicas

Los concursos que de un tiempo a esta parte vienen celebrándose para la construcción por el Estado de nuevos ferrocarriles, han dado lugar a rebajas de mucha importancia en las estimaciones de las obras incluídas en los presupuestos respectivos, llamando

fuertemente la atención la persistencia y cuantía de dichas rebajas.

Explícitamente en unos casos e implícitamente en otros, comprenden los referidos presupuestos las partidas necesarias para atender los gastos de dirección