

QUIMICA DEL CEMENTO

PARTE I

Rómulo Ochoa L. y Elena Flores B.*

1. INTRODUCCION

En el presente trabajo, basado en la información tecnológica de enciclopedias de Química Industrial, tratamos de enfocar la química del cemento desde un punto de vista científico, esencialmente estructural.

Mientras más se conozca sobre este material y sus variedades, mejor será su uso. Y nada mejor para esto que el enfoque químico.

“La intención no es sólo explicar la química de los materiales”, dice H.F. W Taylor en su libro sobre los cementos, “sino además, proporcionar un libro útil a todos aquéllos que se interesen por el desarrollo de materiales o procesos nuevos. Por esto resulta esencial un amplio fundamento químico”.

No debe olvidarse que desde hace pocas decenas de años el mundo industrial moderno está abocado al estudio de nuevos materiales y a su desarrollo tecnológico, tal como la fibra de cuarzo que reemplaza con ventaja a los finos hilos de cobre en las comunicaciones, o los “chips” del mismo

* Pontificia Universidad Católica del Perú, Dpto. de Ciencias, Sección Química.

material para reemplazar a los circuitos integrados de metal, etc. Por ello los institutos de investigación y las universidades efectúan inversiones en “ciencia y tecnología de los materiales y su desarrollo”.

2. DEFINICIONES

El cemento es uno de los materiales que el hombre ha venido usando desde tiempos inmemoriales, es el llamado cemento romano, esto es la cal apagada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, hidróxido de calcio, utilizado en construcción. El mejoramiento de este material ha sido extremadamente lento, de miles de años para llegar al cemento hidráulico actual conocido como cemento Portland.

Por definición, cemento es cualquier adhesivo. En construcción el cemento es una sustancia que puede unir arena y ripio, hasta formar una masa sólida. Tal es el caso del cemento romano.

El cemento Portland, es el material que resulta de la mezcla de caliza (CaCO_3) y arcillas ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), en proporciones variables, que luego de fundirse y enfriarse da lugar al “clinker”. En esta situación el sólido es una red cristalina donde no sólo existen enlaces Si - O - Si - O, sino que se ha introducido el átomo de aluminio Al, dando redes del tipo: O - Al - O - Si-.

En estas redes quedan encerrados los iones K^+ ó Ca^{2+} , igual que las zeolitas de naturaleza mineral. Como el fierro acompaña a toda arcilla en la forma de Fe_2O_3 , participa de las redes cristalinas sustituyendo al aluminio y uniéndose al silicio a través del oxígeno: O - Si - O - Fe - O-.

3. LAS FASES EN EL “CLINKER”

H.F. Taylor define al cemento Portland como “el producto de una reacción a alta temperatura (1300-1500°C) entre la caliza (CaCO_3) y otro que contenga SiO_2 , Al_2O_3 y algo de Fe_2O_3 ”.

Conseguida la temperatura óptima la reacción consiste en la ruptura de los enlaces del silicio y átomos de oxígeno para dar paso a nuevos enlaces en los que los átomos de silicio son reemplazados por átomos de aluminio o de hierro, dando lugar a nuevas redes cristalinas, con cargas eléctricas negativas variadas, pero que rodeen a iones positivos tales como: Ca^{2+} , K^+ o even-

El C_2S es atacado más lentamente por el agua y por este motivo su fraguado es lento, pero después de haber fraguado su resistencia es igual al C_3S .

El C_3A reacciona vivamente con el agua y desarrolla un gran calor de fraguado. Este fraguado puede ser retardado por adición de yeso ($CaSO_4$). La resistencia no es elevada y se ha conseguido su grado máximo a las 24 horas. Ocasiona fuertes contracciones. Infiere desfavorablemente sobre la estabilidad del sulfato y la del almacenaje del cemento.

El C_4AF reacciona también rápidamente con el agua, pero no tanto como el C_3A ; también es sensiblemente menor su calor de fraguado. Infiere de una manera favorable sobre la contracción, la facilidad de trabajarlo y la estabilidad frente a los sulfatos.

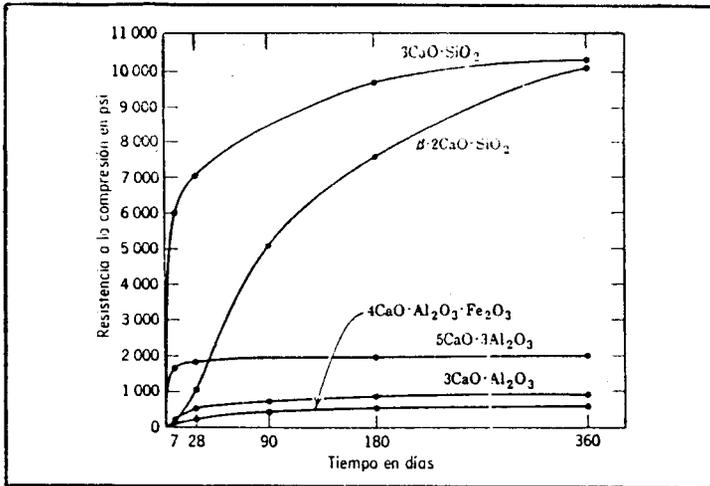


Fig. 2 Comparación a las resistencias a la compresión de los compuestos de cemento según R.H. Bogue y W. Lerch.

La CaO , cal libre, casi siempre está sólo en muy pequeñas cantidades en el clinker del cemento; cuando se halla en gran cantidad al ser apagada la cal en el mortero influye sensiblemente con su aumento de volumen sobre la resistencia.

4. MATERIAS PRIMAS

El estudio que realiza H.W. Pollit de los materiales que intervienen en el cemento Portland, justifica en algo el comentario anterior sobre equilibrio de fases.

Hay una variedad de “recetas” de mezclas con diferentes proporciones, pero realizadas empíricamente. Esencialmente son silicatos, donde normalmente se encuentran, por análisis químicos SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , como sucede con las arcillas, especialmente el caolín que es de color blanco y su tono se torna amarillento o de otros colores dependiendo de la presencia de Fe_2O_3 , y otros óxidos provenientes de los metales de transición.

Para la fusión de esta materia prima se necesitan fundentes, normalmente óxidos de metales alcalinos o alcalino-térreos.

Calizas

Son carbonatos de calcio con impurezas de otros minerales como los silicatos. El contenido de CaCO_3 varía entre 80 y 99 %. En la naturaleza existen en gran escala y bajo diferentes formas cristalinas. Son comunes la creta, calcita, aragonita, etc.

Arcillas

Abundan en la naturaleza como resultado de la erosión de rocas pizarrosas o graníticas. Los feldespatos en general contienen suficientes compuestos de SiO_2 , Al_2O_3 y algo de Fe_2O_3 y otros para fundir con las calizas para la obtención del clinker. En este material se produce el cemento Portland. Otro material natural que se usa para la producción de cemento especial llamado puzolánico, es la puzolana (silicato aluminico y otros compuestos).

Otros materiales

Con el fin de que las formulaciones de un cemento determinado alcancen los valores establecidos se tendrán a la mano materiales que corrijan la deficiencia o exceso de los óxidos básicos: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Es decir, deberá tenerse en stock CaO ó $\text{Ca}(\text{OH})_2$, arena silícea con contenido de 99% de SiO_2 , bauxita Al_2O_3 .

5. FABRICACION DEL CEMENTO

Normalmente se consideran 3 etapas:

Preparación de las materias primas

Esencialmente se pone atención, fuera de su calidad, al tamaño de las partículas entre 50 y 70 micras, para cuyo fin irá pasando desde las trituradoras (chancadoras), por molinos y finalmente pulverizadores con selector de partículas. Así quedan listos los materiales para ser cargados en los hornos.

La conducta durante la fabricación y las propiedades del cemento producido están muy influenciadas por la finura y grado de contacto de la mezcla de las materias primas y por la presencia en ellas de impurezas.

La temperatura a la que se combinan satisfactoriamente las materias primas es una función del tamaño máximo de partículas que existen en ellas; cuanto mayores son las partículas, la temperatura requerida será más alta.

La naturaleza de las partículas mayores es también importante. Granos grandes de cal o sílice producen zonas del clinker pobres en sílice o cal, respectivamente. La falta de cal va acompañada por una baja resistencia mecánica del cemento. El exceso de cal, por otra parte, origina una falta de estabilidad de volumen, es decir, que puede producirse la expansión debido a la hidratación de la cal, después que el cemento ha fraguado.

Por otro lado el proceso depende mucho de las proporciones relativas de sílice, alúmina y óxido de hierro. El índice de sílice, es decir la fracción:

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

se halla usualmente comprendido entre 1,5 y 3 y, conforme aumenta, la combinación se vuelve más difícil.

Las impurezas principales que existen en las materias primas y que tienen efectos significativos sobre las propiedades del cemento son: la magnesia, los fosfatos, los óxidos de plomo y zinc, los álcalis y los sulfuros.

La magnesia se considera perjudicial porque, en el proceso normal, con velocidad de enfriamiento del clinker relativamente lenta, puede quedar en el cemento como periclasa, capaz de sufrir expansión en la hidratación mucho después de que el cemento esté endurecido, pudiendo así desintegrar el mortero o el hormigón.

Nurse probó que los fosfatos afectan adversamente la operación en el horno y el fraguado y endurecimiento del cemento producido. Se ha demostrado que un contenido del 0,20-0, 25% en el cemento produce un óptimo efecto beneficioso sobre las propiedades mecánicas, pero que más de 0,5% es perjudicial.

Tratamiento térmico

Gradualmente se calienta la mezcla: pierde humedad a 100°C, la descarbonatación ocurre a los 800-1000°C, y entre 1300-1500°C la calcinación y fusión para la formación del cemento.

Después de un determinado tiempo, se pasa a la etapa de enfriamiento del clinker, que puede realizarse de varios modos, dependiendo del horno y tipo de cemento.

Enfriamiento y molienda del clinker

El enfriamiento se lleva a cabo por soplado de aire y este aire calentado es utilizado en la combustión, sea de petróleo o carbón. Este método se lleva a cabo en los hornos rotatorios, al extremo inferior. Son pequeños hornos en los que el clinker cae a un depósito, a través de un chorro de aire. El otro sistema es a través de una rejilla, similares a los intercambiadores de calor en líquidos. En este caso hay pérdida de energía térmica, pues sólo una parte es utilizada para los quemadores, bajando así el rendimiento.

Por otro lado es importante conocer el gradiente de enfriamiento, lo que permite medir el tiempo del mismo, a fin de permitir el acomodamiento molecular en la cristalización.

Una vez frío, el clinker se muele con yeso en un molino rotatorio de bolas de acero, cuya eficiencia puede ser controlada a través del tamaño de partículas del cemento Portland, que debe estar en el rango de 3 a 30 micras. Como esta

operación genera calor es conveniente su enfriamiento con aire succionador de polvos de la planta.

Este tema es extenso por su naturaleza y debido a esto, continuaremos en la parte II.

BIBLIOGRAFIA

1. Taylor H.F.W. (1971) **Enciclopedia de la Química Industrial**, tomo 1 y 2 “La Química del Cemento”, Ediciones URMO, Bilbao, p. 13-63.
2. Winnacker Karl y Weingaertner Ernst (1954) **Tecnología Química**, tomo II “Química Industrial Inorgánica”, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, p. 307-324.
3. Parker Sybil P. (1987) **Mc Graw-Hill Encyclopedia of Science and Technology**, Mc Graw-Hill Publishing Company, New York, p. 338, 1475.
4. Keyser Carl A. (1986) **Materials Science in Engineering**, Charles E. Merrill Publishing Company, USA, p. 322-337.
5. Diamant R. M. E. (1970) **The Chemistry of Building Materials**, Business Books Limited, London, p. 1-23.
6. Jastrzebski Zbigniew D. (1979) **Naturaleza y Propiedades de los Materiales para Ingeniería**, Nueva Editorial Interamericana, México, p. 356-362.