

Interpretación de los datos de control de calidad de los cementos.

2ª entrega

Darío J. Barberi, Raúl A. López (Centro de Desarrollo e Innovación, Holcim Argentina)

En esta segunda parte del artículo nos centraremos en la interpretación de los requisitos químicos de los cementos especificados en las normas IRAM 50000 (Cementos de Uso General), que son aplicables también a los cementos de las normas IRAM 50001 (Cementos con propiedades especiales) e IRAM 50002 (Cementos para Terminadoras de Alto Rendimiento).

El propósito de este artículo es aclarar aspectos sobre la interpretación de los resultados que permitan ayudar a su comprensión por parte de los profesionales de la construcción.

Como mencionamos en el artículo anterior acá también debemos decir que los ensayos de cemento sirven para evaluar la consistencia o uniformidad entre diferentes partidas de cemento y no necesariamente reflejan el comportamiento final del producto en la aplicación. Pero además, en el caso de los requisitos químicos, algunos sirven para controlar indirectamente la composición de los cementos y la presencia de sustancias químicas que puedan afectar la durabilidad de hormigones, morteros u otras aplicaciones donde se utilice el cemento.

Comenzando con los requisitos químicos, reproducimos en la tabla 1 los indicados en la norma IRAM 50000.

Característica	CPN	CPF	CPP	CPE	CAH	CPC
Pérdida por calcinación [g/100g] (máx.)	5,0	13,5	9,0	5,0	5,0	14,5
Residuo insoluble [g/100g] (máx.)	5,0	10,0	50,0	5,0	5,0	35,0
Trióxido de azufre, SO ₃ [g/100g] (máx.)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Óxido de Magnesio, MgO [g/100g] (máx.)	6,0	7,0	6,0	-	-	-
Cloruro, Cl- [g/100g] (máx.)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Sulfuro, S ²⁻ [g/100g] (máx.)	0,10	0,10	0,10	0,50	1,00	0,50
Coeficiente puzolánico [-] (máx.)	--	--	1,0	--	--	--

Tabla 1 - Requisitos químicos de los cementos según IRAM 50000

Pérdida por calcinación (PPC): a grandes rasgos este ensayo representa la pérdida de masa de una muestra de cemento al ser calcinada durante un determinado tiempo a una temperatura de 950°C. Y por lo tanto es una medida de aquellos elementos que se volatilizan a esa temperatura o inferiores. Este parámetro no permite evaluar qué sustancias se pierden y por lo tanto, en este sentido, su utilidad puede ser relativa.

En el caso de los cementos que en su composición tienen filler calcáreo como componente principal (CPF o CPC) o minoritario (menor al 5% en masa) la PPC, a pesar de incluir la deshidratación del yeso, puede tomarse como una medida del contenido de filler calcáreo. Éste está compuesto esencialmente de carbonatos de calcio ($\text{CaCO}_3 > 75\%$) los que al ser sometidos a altas temperaturas se descomponen en óxido de calcio y dióxido de carbono.



Debido a que la PPC está influenciada por el contenido de carbonatos de la caliza y el contenido y grado de hidratación de las fases del sulfato de calcio (genéricamente, yeso), no es posible determinar el contenido de caliza mediante este parámetro. Sin embargo, la PPC puede utilizarse como un control indirecto de estabilidad de la composición del cemento; la variación en este parámetro puede darle al usuario del cemento una idea de un cambio de composición. Veamos unos ejemplos:

- a) Si el filler calcáreo fuera 100% CaCO_3 una variación de 1 punto porcentual en la PPC implicaría una variación de 2,3 puntos porcentuales en el contenido de filler.
- b) Si el filler calcáreo tuviera un 85% de CaCO_3 (límite mínimo normativo para el filler), una variación de un punto porcentual en la PPC implicaría una variación de 2,7 puntos porcentuales en el contenido de filler.

En adición a las causas mencionadas anteriormente, la pre hidratación del clinker también se ve reflejada en la PPC. Si la PPC viene originada por una pre hidratación del Clinker con que se elaboró el cemento o del cemento, por ejemplo, por condiciones de almacenamiento inadecuadas o excesivamente prolongadas. Como es conocido al hidratarse el Clinker portland se forman silicatos de calcio hidratados que tienen “agua” combinada en su composición. Al someterse el cemento al ensayo de PPC se lograría desprender esta agua químicamente combinada y generaría pérdida por calcinación de origen muy diferente al anterior.

En ambas situaciones (que no son las únicas) el cambio de PPC se verá reflejado en la resistencia del cemento, a mayor PPC menor resistencia. Siendo el impacto más severo en el segundo caso (PPC generada por hidratación).

Residuo Insoluble (RI): de manera muy general el ensayo consiste en atacar la muestra de cemento con ácido de manera tal de disolver todos los compuestos “activos” del cemento y poder así cuantificar aquellos no solubles en ácido, que son los llamados “residuo insoluble”. Estos están compuestos fundamentalmente por sílice no soluble que puede provenir de las puzolanas o de impurezas de otros materiales como el yeso o algunos *filleres*.

Este parámetro también sirve para un control indirecto de variaciones en la composición del cemento, pero para saber la magnitud de esta variación es necesario conocer el RI de las diferentes materias primas utilizadas. En el caso de los cementos puzolánicos, donde este parámetro cobra mayor importancia, un aumento en el RI está usualmente asociado a un aumento en el contenido de puzolana.

Trióxido de azufre (SO₃): como se mencionara en la primera parte de este artículo en las aplicaciones del cemento, como el hormigón, se requiere que desde que el mismo entra en contacto con el agua haya un tiempo suficiente para realizar las tareas de mezclado, transporte, colocación, compactación y terminación, sin que el material inicie el fraguado. Para regular el tiempo de fraguado del cemento se utiliza yeso (manera genérica de mencionar diferentes formas mineralógicas de sulfatos de calcio). La cantidad de yeso utilizada está influenciada principalmente por la cantidad de clinker, el contenido de aluminato tricálcico y álcalis del clinker y la finura del cemento. El yeso reacciona con el aluminato tricálcico (C₃A) del clinker para formar etringita cuando el hormigón se encuentra aún en estado fresco, pero si el contenido de yeso es excesivo habrá formación de este tipo de compuestos en el mediano o largo plazo, ocasionando reacciones expansivas en el hormigón endurecido que afectarán su resistencia y durabilidad. Por esto último se limita el contenido de yeso, expresado con SO₃, dentro de los requisitos químicos que debe cumplir el cemento.

Además de regulador del fraguado, el contenido de yeso afectará la evolución de resistencias y los valores absolutos de resistencia alcanzados, la contracción por secado, y otros parámetros. Según la propiedad buscada el productor de cemento busca el denominado “yeso óptimo” (SO₃ óptimo) que permita desarrollar el mayor potencial de esta propiedad, pero siempre dentro del límite máximo permitido por la norma.

Para el profesional de la construcción es importante controlar que el valor medido o informado no supere el límite normativo.

Óxido de Magnesio (MgO): esta característica del cemento es controlada porque la hidratación del magnesio en forma de periclase (forma cristalina del MgO) puede producir reacciones expansivas dentro del hormigón endurecido que afectarán su durabilidad y resistencia. La hidratación tardía de la periclase generará una expansión volumétrica que puede producir fisuración en el hormigón. El límite en el contenido de MgO complementa el ensayo físico de constancia de volumen en autoclave (IRAM 1620) que se describiera en la primera parte de este artículo.

Si bien, en general, todos los cementos que se producen en el país cumplen ampliamente con el límite normativo, como en el caso del SO₃, para el profesional de la construcción es importante controlar que el valor medido o informado no supere este límite.

Cloruros (Cl⁻): esta característica cobra importancia en las aplicaciones de hormigón armado o pretensado dado que la presencia de cloruros en el hormigón favorecerá la corrosión de las armaduras. En condiciones normales (PH mayor a 11,5) una fina capa de óxidos se forma sobre las armaduras embebidas en el hormigón y en estas condiciones se dice que la armadura está pasivada frente a la corrosión. La presencia de cloruros rompe esta capa aún con elevados valores de PH exponiendo las armaduras a corrosión localizada y más severa que cuando no hay cloruros.

El cemento es uno de los componentes del hormigón que pueden aportar cloruros a éste, pero también deben ser controlados en el agua de mezclado, los áridos y los aditivos químicos que se utilicen.

El reglamento CIRSOC 201-05 establece contenidos máximos de cloruros solubles en agua en el hormigón endurecido, aportados por todos los materiales componentes, incluyendo los aditivos y eventualmente adiciones minerales. E indica que se pueden estimar, de manera conservadora, como sumatoria del aporte de cloruros de sus materiales componentes en el hormigón fresco.

Para el profesional es importante verificar que el cemento cumpla con el requisito del contenido de cloruros, pero, por lo antedicho, deberá controlar, además, el contenido total de cloruros en el hormigón.

Sulfuros (S²⁻):

Son controlados porque pueden atacar a las armaduras. Éstos pueden provenir de las escorias de alto horno. Además, se acuerda limitar el contenido de sulfuros por razones estéticas, particularmente en hormigones vistos, ya que al reaccionar con los ferroaluminatos producen una coloración azul.

Coeficiente Puzolánico:

Con es sabido la actividad puzolánica se mide por la capacidad de reacción de las puzolanas con el hidróxido de calcio proveniente de la hidratación del clinker portland (o de otras fuentes), para formar compuestos de hidratación similares a los generados por la hidratación del clinker portland. El coeficiente puzolánico es una medida de esta actividad de la puzolana en el producto final. Mide el grado de desarrollo de la reacción puzolánica luego de un tiempo definido y por ello, puede considerarse como una medida indirecta de los beneficios de refinamiento de poros, resistencia y durabilidad asociados a esta reacción. De manera similar que en los puntos anteriores, lo importante es observar el cumplimiento del límite normativo el cual indica que el cemento tiene propiedades puzolánicas.

En próximas entregas se analizarán los requisitos de los cementos con propiedades especiales.

Referencias:

1. Norma IRAM 50000, "Cementos para uso general", 2017.

2. Binders for durable and sustainable concrete, Pierre-Claude Aïtcin, Taylor&FRancis, 2008.
3. Durabilidad del Hormigón Estructural, AATH, 2001
4. Manual interno: Product Optimization Manual, Holcim Group Support Ltd.
5. Cement Manufacturing Services, Holcim Group Support Ltd, Cement Manufacturing Services