

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

1ª entrega

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

Los cementos que se comercializan en Argentina están especificados en las normas IRAM 50000 (Cemento de Uso

General), IRAM 50001 (Cementos con propiedades especiales) e IRAM 50002 (Cementos para Terminadoras de Alto Rendimiento). Los cementos de estas últimas dos normas deben cumplir además con los requisitos de la IRAM 50000 y sobre ella nos concentraremos en este artículo.

Los cementos de uso general son aquellos aptos para aplicaciones convencionales de hormigón estructural y no estructural donde no se requieran condiciones especiales, como por ejemplo: resistencia a medios agresivos o altas resistencias tempranas. La norma IRAM 50000 establece para estos cementos requisitos de composición, sobre los que no trataremos en este artículo, y también requisitos físicos, mecánicos y químicos, que son los que normalmente el fabricante informa como características de sus productos.

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.

En primer lugar 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 (morteros, grouts, hormigones, suelo cemento, u otras), como se desprende del análisis de cada variable medida que veremos a lo largo de este artículo.

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

Requisito		Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Finura	Material retenido sobre el tamiz IRAM 75 μm	g/100 g	–	15,00	IRAM 1621
	Superficie específica	m ² /kg	250	–	IRAM 1623
Constancia de volumen	Expansión en autoclave	%	–	0,80	IRAM 1620
Tiempo de fraguado inicial	Categoría 30	min	75	–	IRAM 1619
	Categoría 40	min	60	–	
	Categoría 50	min	45	–	
Contracción por secado ¹⁾		%	–	0,15	IRAM 1761
Requerimiento de agua ¹⁾		g/100 g	–	64,00	IRAM 1761
¹⁾ Sólo se aplica para los cementos tipo CPP y CPC, que contengan puzolana y/o ceniza volante.					

Tabla 1 - Requisitos físicos de los cementos según IRAM 50000

La finura del cemento está relacionada con el grado de molienda del cemento y tiene importancia en cuanto influencia la velocidad de hidratación del mismo y por lo tanto en el desarrollo de resistencia y sus propiedades en estado fresco. Hay dos parámetros que se relacionan con la finura; el primero es el porcentaje en masa retenido en una malla de 75 micrones (#200). En términos generales, cementos más finos (menor finura → menor retenido en malla #200) se hidratarán más rápidamente que los más gruesos y además, puede considerarse, que las partículas superiores a 75 micrones no se hidratarán completamente en los tiempos normales de evaluación de resistencia mecánica; representa la fracción del cemento con muy baja contribución a la resistencia.

El otro método para determinar la finura es el método de la permeabilidad al aire (método de Blaine), que permite determinar la superficie específica (superficie relativa a la masa - m^2/kg) en base a la medición de la velocidad del paso de un determinado volumen de aire a través de un lecho de cemento de porosidad conocida. En este caso los cementos más finos presentarán una mayor superficie específica.

Este parámetro se ve influenciado por la distribución granulométrica de las partículas que lo constituyen. En el caso de moliendas conjuntas (todos los componentes del cemento ingresan en el mismo momento al molino), el grado de molienda de cada uno de los componentes del cemento variará según su molturabilidad, o facilidad de ser molido. Y con esto variará la distribución granulométrica del cemento y por lo tanto su superficie específica. Como ejemplo, los cementos que incorporan filler calcáreo en su composición, en similares condiciones de molienda, presentarán mayor porcentaje de partículas finas, dado que el filler es más fácil de moler y por lo tanto la superficie específica podrá aumentar. Adicionalmente a la composición, la distribución granulométrica y, por tanto la superficie específica, dependen de la tecnología de molienda utilizada (tipo de molino y separadores). Esto hace que la superficie específica por sí sola no sirva para comparar cementos de distintos orígenes o diferentes composiciones, pero sí para evaluar la uniformidad entre diferentes partidas.

A modo de referencia podemos mencionar que una desviación estándar de hasta a $30 m^2/kg$ es normal en los procesos productivos.

Constancia de volumen: este parámetro permite identificar componentes potencialmente expansivos dentro de la masa del cemento, particularmente la presencia de CaO o MgO. Para determinarlo se elabora y moldea una barra con pasta de cemento, la que se somete a alta presión y temperatura para acelerar la hidratación de los mencionados componentes y evaluar la expansión que los mismos podrían producir. Aquí lo importante para el usuario es verificar el cumplimiento del límite máximo especificado.

Tiempo de fraguado inicial: 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; 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. Un exceso en el yeso puede ocasionar potenciales reacciones expansivas en el hormigón endurecido. Por esto último se limita el contenido de yeso, expresado con SO_3 , dentro de los requisitos químicos que debe cumplir el cemento (aspecto que analizaremos en la segunda entrega de este artículo).

Si bien en igualdad de condiciones el tiempo de fraguado del cemento afectará el fraguado del hormigón, hay otros parámetros de mayor influencia, tales como la temperatura, la relación agua / cemento, el uso de aditivos, entre otros.

Como se ve en la tabla 1, la norma define el tiempo de fraguado mínimo que debe tener el cemento para permitir una correcta aplicación. Las desviación estándar para el fraguado inicial suele ser de hasta 25 min; de los cuales, entre 12 y 15 minutos corresponden a desviaciones por el método de ensayo.

Por lo mencionado se concluye que el control del tiempo de fraguado en el cemento tiene que ver más con el control de calidad del mismo que con su efecto final en el hormigón. Y dentro de esto, una alteración del tiempo de fraguado es un indicador de la presencia de componentes no deseados en el cemento o de alteraciones en su composición.

Contracción por secado y requerimiento de agua: estos parámetros son sólo especificados para cementos que tengan puzolanas en su composición (cemento puzolánicos o compuestos con puzolana). Esto se debe a que la puzolanas, según su origen, composición y finura pueden requerir un mayor contenido de agua para alcanzar determinada fluidez o consistencia, y como consecuencia aumente el volumen de poros capilares en la pasta endurecida y con esto la contracción por secado.

Para la medición de estos parámetros se prepara un mortero con un contenido de agua tal que se alcance una fluidez objetivo. La relación agua / cemento multiplicada por 100, necesaria para obtener la fluidez es lo que se denomina **requerimiento de agua**. Con este mortero se moldean barras que serán curadas en cámara húmeda durante 7 días y sobre las que se medirá el cambio de largo por efecto del secado en un ambiente controlado de laboratorio, durante los siguientes 28 días posteriores al curado. El cambio de largo de la barras en el transcurso de esos 28 días, expresado como porcentaje del largo inicial se denomina **contracción por secado**.

En las figuras 1 (a) y (b) se representan los resultados de contracción por secado del mismo grupo de cementos en mortero y en hormigón. Allí se puede ver que la contracción evaluada en hormigón es sensiblemente menor a la medida en mortero, lo cual es natural por la presencia de una estructura granular diferente, pero además las contracciones relativas de los diferentes cementos varía según se evalúe en mortero u hormigón. Finalmente, la diferencia entre los diferentes cementos disminuye sensiblemente: los resultados muestran grandes diferencias de contracción entre los distintos morteros de hasta un 30% respecto del promedio, en tanto que los hormigones experimentaron contracciones muy semejantes entre sí, las que a la edad de 180 días difirieron en un máximo de 12% respecto del promedio

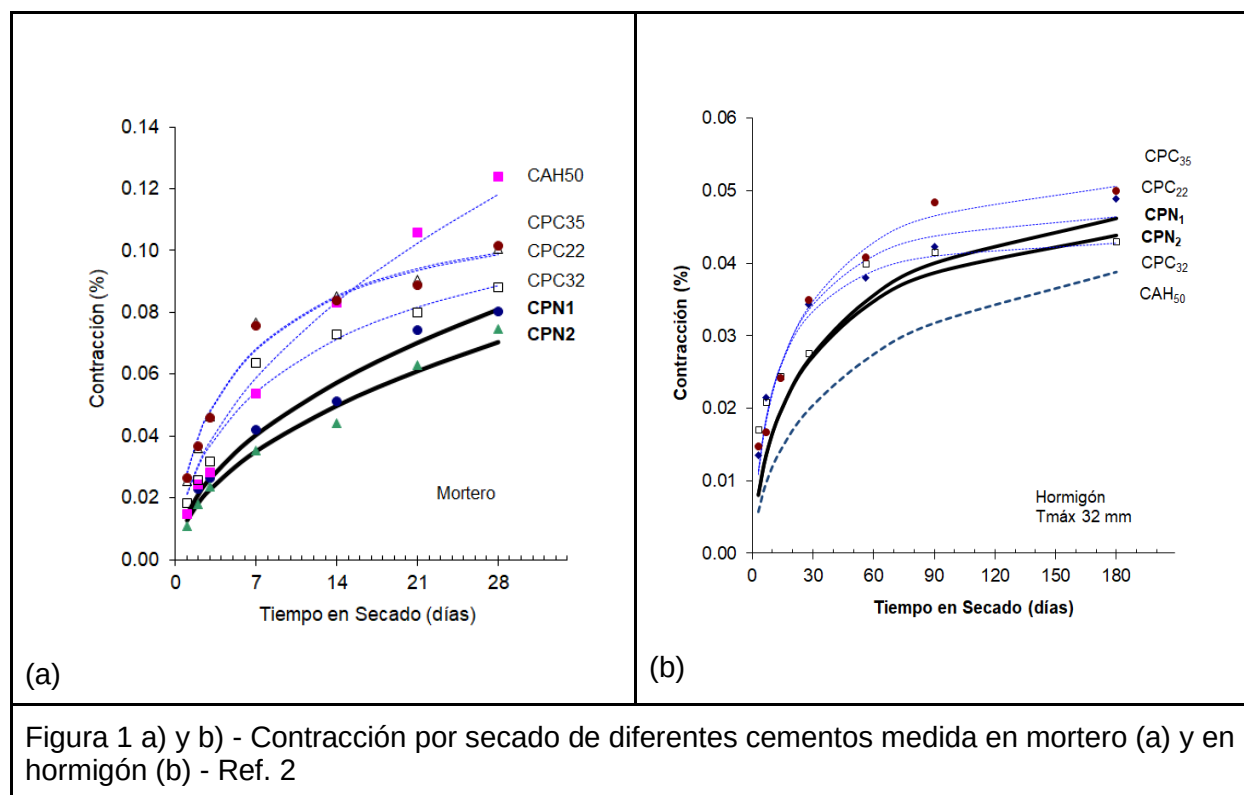


Figura 1 a) y b) - Contracción por secado de diferentes cementos medida en mortero (a) y en hormigón (b) - Ref. 2

Como en el caso de otros parámetros analizados, la contracción por secado del hormigón es menos sensible a la contracción por secado del cemento que a las propiedades del hormigón tales como la relación agua / cemento, al volumen de pasta, la estructura granular o el uso de aditivos.

Requisitos mecánicos (Resistencia)

Los cementos se dividen en tres categorías resistentes CP30, 40 y 50. Estos valores refieren a la resistencia mínima que debe tener un cemento a los 28 días, ensayado en un mortero elaborado con arena normalizada en proporción en masa 1:3 (cemento : arena) y relación agua / cemento fija en 0,50. Con este mortero se elaboran tres prismas de 40 x 40 x 160 mm, que luego de un curado normalizado son divididos, cada uno, en dos partes, de manera tal que finalmente quedarán 6 semi prismas que se ensayan a compresión¹. El promedio de las resistencias de los 6 semi prismas constituye el dato de resistencia del cemento a la edad ensayada.

Los requisitos para las diferentes categorías resistentes son los indicados en la tabla 2:

¹ El moldeo de prismas se mantuvo de versiones anteriores de la norma, en donde los mismos se ensayaban a flexión (que era un requisito normativo) y luego los semi prismas a compresión. Para evitar tener que cambiar moldes y equipo de moldeo se mantuvo este formato a pesar que actualmente no hay un requisito de resistencia a flexión para el cemento.

Categoría	Resistencia a la compresión (MPa) ¹⁾				Método de ensayo
	2 d	7 d	28 d		
30	–	mín. 16	mín. 30	máx. 50	IRAM 1622
40	mín. 10	–	mín. 40	máx. 60	
50	mín. 20	–	mín. 50	–	

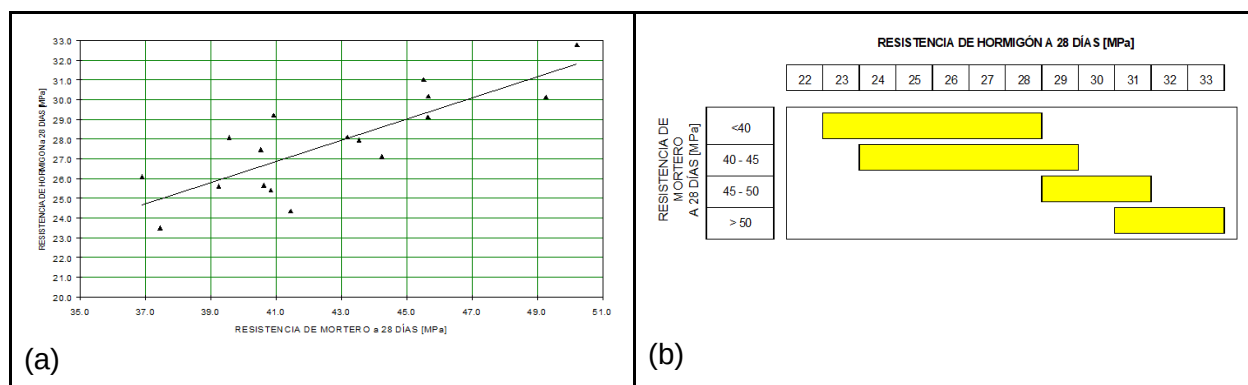
¹⁾ En todos los casos, los valores de resistencia obtenidos a los 28 d deben ser mayores que los obtenidos a los 2 d y a los 7 d.

Tabla 2 - Requisitos mecánicos de los cementos

Dentro de ciertos límites la resistencia del cemento no limita la resistencia alcanzable en el hormigón, la que dependerá además, de la relación agua / cemento, agregados utilizados y sus proporciones, aditivos, y de condiciones exógenas tales como la temperatura, el curado, entre otras. Por lo que la conveniencia del uso de uno u otro tipo de cemento en relación a su resistencia dependerá de una evaluación técnico - económica.

Si bien es difícil establecer una correlación directa entre la resistencia del cemento (medida como se mencionara) y la del hormigón, está claro que la resistencia del cemento influirá en ésta, pero su correlación no es única, ni tan directa y dependerá, además, del cemento y hormigón que se pretendan correlacionar. Se encuentra que en general las variaciones porcentuales de resistencia del cemento se traducen en variaciones porcentuales más atenuadas en el hormigón.

En las figuras 2 (a) y (b) se analizan las correlaciones de resistencias a 28 días de morteros de diferentes cementos con sus resistencias en hormigón. En primer lugar se observa como para una misma resistencia en mortero se pueden obtener diferentes resistencias en hormigón, aún cuando la relación agua / cemento presenta una variación baja.



Figuras 2 (a) y (b) - Relación Resistencia de mortero - Resistencia de hormigón. Obtenidas a partir de un mismo hormigón de laboratorio, con a/c variable entre 0,55 y 0,58 y diferentes tipos de cemento. (Ref. 3)

Si bien se observa cierta tendencia de evolución de la resistencia del hormigón en función de la resistencia a 28 días del cemento, su grado de correlación es bajo aunque significativo.

Tomando los valores extremos de la línea de tendencia se puede decir que para una variación 35% en la resistencia del cemento se produce una variación del 23% en el hormigón (1,5 : 1). O si lo vemos en valores absolutos una variación de 13 Mpa en la resistencia del cemento produjo una variación de 7,5 Mpa en el hormigón (1,7 : 1).

En las figuras 3 (a) y (b) se analiza el impacto de variaciones de la resistencia para diferentes cementos y cómo éstas generan variaciones en las resistencias de un hormigón

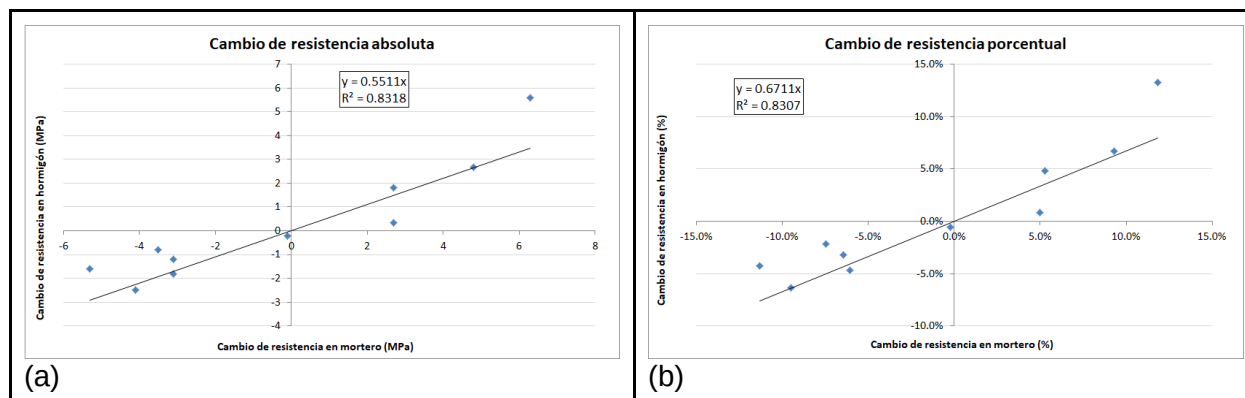


Fig. 3a y b - Impacto de la variación de la resistencia del cemento medida en mortero normalizado en la resistencia del hormigón, en valores absolutos (a) y porcentuales (b). Resultados obtenidos a partir de un hormigón de laboratorio con resistencias variables entre 43 y 54 MPa - Ref. 4

Analizando la línea de tendencia se observa que en valores relativos un 1% de variación de la resistencia del mortero produjo 0,67 % de variación en la resistencia del hormigón (1,5 : 1). En valores absolutos, una variación de resistencia del mortero de 1,0 MPa produce una variación en el hormigón de 0,55 MPa (1,8 : 1).

Si bien los impactos mostrados en ambas figuras (2 y 3) son similares, no es una regla universal, pero posiblemente sea una buena aproximación para estimar impactos. Pero esto es válido cuando se analizan las variaciones de un mismo cemento, ya que los cementos de diferentes tipos u orígenes normalmente presentan diferentes comportamientos.

En próximas entregas se analizará la interpretación de los datos químicos del cemento y de sus propiedades especiales

Referencias:

1. Norma IRAM 50000, "Cementos para uso general", 2017.
2. González M., Vialled D., López R, "Efecto de los materiales componentes en la fisuración del hormigón", Congreso de Vialidad y Tránsito, 2005

3. Clariá M., López R., "Base de datos de Morteros y Hormigones", Reunión Técnica de la AATH.
4. Barberi D., López R., Reporte interno, Centro de Desarrollo e Innovación, Holcim (Argentina), 2019
5. Neville A., "Neville on Concrete, an examination of issues in concrete practice", Booksurge LLC, 2006.
6. ASTM C 191. Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle.
7. Manual interno: Product Optimization Manual, Holcim Group Support Ltd.
8. Cement Manufacturing Services, Holcim Group Support Ltd, Cement Manufacturing Services