

Equipos y sistemas para el control de calidad de hormigones, morteros y áridos

Markus Greim. *Dipl. Ing. Uni-Regensburg. Director gerente de SCHLEIBINGER Geräte de Buchbach (Alemania).*

Los criterios de calidad para los materiales de construcción, como el mortero o el hormigón, se pueden dividir en cuatro campos, a saber: rigidez, durabilidad, estabilidad dimensional y trabajabilidad.

Mientras que la comprobación de la resistencia a la rigidez hace ya décadas se hacía mediante prensas de compresión y máquinas de tracción según normas nacionales e internacionales definidas relativamente uniformes y reconocidas universalmente, no hay tanta unanimidad en los ensayos y métodos de comprobación de la durabilidad, estabilidad dimensional y trabajabilidad de los materiales de construcción; los cuales pueden ser muy diferentes en cada nación y sin criterio alguno de regulación. Muchos de estos métodos de ensayos están abiertos al debate entre los especialistas, al cual se unen argumentos de costes tipo político-industrial.

El presente artículo tiene por objetivo presentar alguno de los aparatos y métodos de medida de los campos mencionados. Los métodos se describen parcialmente como reglas, pero ninguno de los procedimientos se ha convertido hasta la fecha en una norma EN o ISO.

1. Criterios de análisis

1.1 Durabilidad

La durabilidad de una obra de construcción de hormigón está influenciada por numerosos factores internos y externos de los que destacaremos, a efectos de mostrar los equipamientos asociados: el ataque exterior de la helada y del medio descongelante, así como el daño interior producido por la reacción alcalina-acido silícico (ASR).

Resistencia a la helada

Para el ensayo de la resistividad a la helada existió desde 2002 un proyecto de norma prEN12390-9 [1] que fue degradado en el año 2005 a una simple regulación técnica CEN/TS 12390-9 [2] con validez de hasta 3 años. Paralelamente existen regulaciones nacionales, que parcialmente se parecen a las normas europeas como la Austria Önorm B3303 [3]), o bien, son completamente diferentes, como en Italia la norma UNI 7087:2002 [4]. Asimismo en la europea CEN/TS se describen tres métodos de ensayos (ensayo de planchas o "Slab-Tests", ensayo CDF/CIF y procedimiento del cubo) tomándose como método de referencia el menos exigente el de los ensayos de las planchas. En lo que sigue se describe cada uno de ellos.

Ensayo de planchas o Slab-Test

El procedimiento del ensayo de las planchas, también conocido como procedimiento de slab o Boras puede realizarse con el equipo de ensayo "Slab" de SCHLEIBINGER (ver Figura 1).

■ **Figura 1. SLAB-Tester de SCHLEIBINGER.**

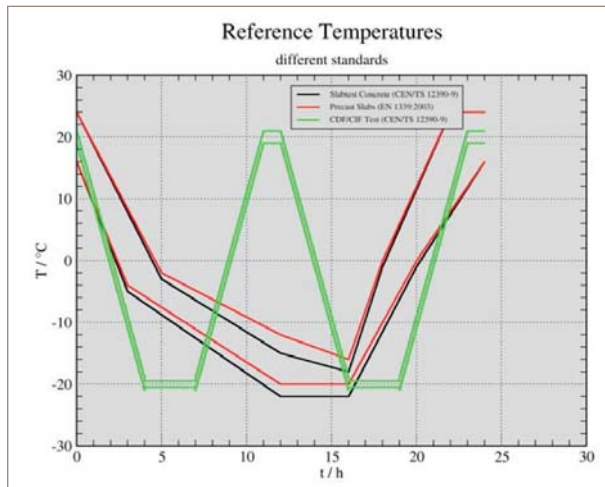


Para el ensayo se envuelve la probeta, que es una placa de hormigón, con espuma de poliestireno, quedando descubierta la parte superior. Encima de la misma se coloca una capa fina de agua y se mide la temperatura de referencia. Para evitar una evaporación del agua se cubre la superficie con una lámina de PE a una distancia mínima de 15 mm.

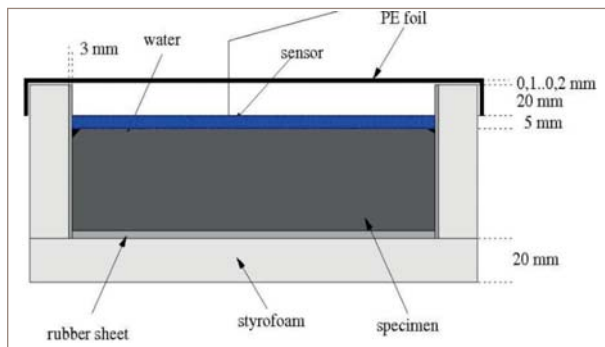
Se realizan 58 ciclos de deshielo, dónde la norma CEN / TS 12390-90 permite una ancha banda de tolerancias de temperaturas de $\pm 3,5K$ en el intervalo de la helada y una banda de $\pm 4K$ en el intervalo del deshielo. Cada ciclo de deshielo dura un día, o sea, el ensayo dura 58 días lo que se traduce en un ensayo de casi 2 meses, tiempo que puede resultar excesivo en algunas ocasiones. En la Figura 2 se pueden ver diversos resultados de curvas de temperaturas de referencias según diferentes normas

El aislamiento del cubo debe garantizar un ataque de helada uní axial en la superficie. Ahora bien, esto no funciona, ya que la capa de aire entre la superficie del agua y la lámina de cubrimiento aísla mejor que la espuma de poliestireno en la parte posterior, tal como puede verse en la Figura 3.

■ **Figura 2.** Curvas de temperaturas de referencias según las diferentes normas (indicadas en el cajetín remarcado).



■ **Figura 3.** Aislamiento del cubo para garantizar helada uniaxial.



El agua en los microporos del hormigón se congela por debajo de $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$, ahora bien, como la banda de tolerancias permite temperaturas por debajo o por encima de dicho valor, aparte de otras influencias, aparecen grandes dispersiones en los daños medidos, lo que cuestiona en cierta medida este procedimiento.

Ensayo CDF / CIF

La abreviación CDF viene de "Capillary suction of De-icing solution and Freeze thaw test". En el ensayo CIF aparte de la influencia de la intemperie sobre el material se mide también los daños internos. Las siglas CIF son la abreviación de "Capillary suction, Inner damage and Freeze thaw test". Mediante el cambio de temperaturas varían los poros capilares constantemente su diámetro y se bombean llenos de agua. Se hiela el agua en los poros se daña el material

Con mayor agudeza selectiva y rapidez trabaja el proceso de ensayo CDF, que se puede hacer con la Instalación de ensayo CDF de Schleibinger recogida en la Figura 4. Aquí las probetas están cabeza abajo sobre unos soportes distanciadores en un baño de agua, que se controla la temperatura desde abajo con un líquido refrigerante. La desviación permitida de la temperatura es muy reducida (intervalo helada: $\pm 0,5\text{ K}$; intervalo deshielo: $\pm 1,0\text{ K}$) y la transmisión del calor y la dirección del ataque de helada están bien definidas.

■ **Figura 4.** Cámara de ensayo de CDF/CIF.



En el ensayo se realizan 2 ciclos de deshielo ($+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) por día, de tal modo que el ensayo puede finalizar después de 14 días. Los daños no se miden después de cepillar el material suelto como en el ensayo de Slab, que siempre eran muy subjetivos según operario y cepillo utilizado. En el procedimiento CDF se suelta el material de la probeta con una señal de ultrasonido definida.

Los críticos del procedimiento CDF insinúan que el criterio es demasiado exigente, ya que hormigones que no pasaron el test del CDF han sido utilizados sin problemas durante años. Por contra, hay que dejar claro que el proceso no genera resultados positivos falsos, es decir, las probetas que pasan el CDF-test también aguantan en la obra de construcción, aunque la deducción a la inversa no se cumple siempre.

Procedimiento del cubo

Otro procedimiento de ensayo de la CEN/TS12390-9 es el procedimiento de medida del dado o ensayo del cubo, que también puede realizarse en la instalación de ensayo CDF de SCHLEIBINGER. Aquí hay siempre 2 dados completamente rodeados de agua encerrados en un recipiente. En este ensayo la banda de tolerancia de la temperatura es grande y el ciclo dura 24 horas. La duración total del ensayo es de 56 días.

Reacción álcali-sílice (ASR)

En la reacción álcali-sílice (álcali-sílice-reactivity = ASR) aparece un gel de sílice alrededor del árido que revienta el hormigón desde el interior. La reacción se acelera o es inducida por soluciones alcalinas, altas temperaturas y elevada humedad. Lo peligroso de este daño es que se genera desde el interior y, en general, conduce a la pérdida total de la construcción.

En los últimos años aparecieron grandes daños, desde que en el campo de los aeropuertos aparecieron nuevos medios descongelantes, que eran compatibles con el aluminio de los aviones, pero al parecer inducían a la ASR y con ello se destruían masivamente las pistas de despegue y aterrizaje. [5].

En los últimos años se desarrollaron distintos tests para ensayar previamente la sensibilidad de los hormigones a la reacción

■ **Figura 5. Cámara de reacción alcalí-acido silícico.**



álcali-sílice (ASR). El comité RILEM TC 191-ARP [8] intenta en esta recomendación proponer un test uniforme. En Francia existe la norma NF P18-454 [7], que se identifica ampliamente con la norma del RILEM.

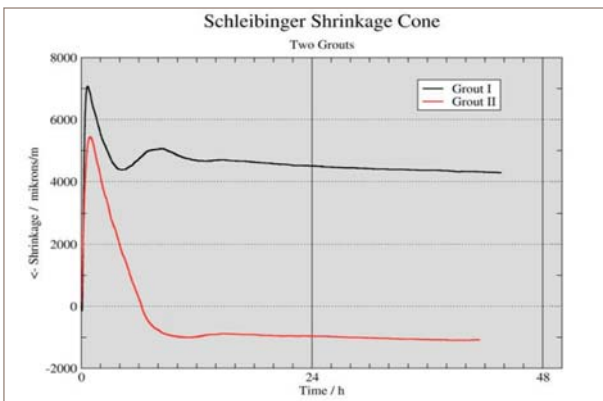
La Figura 5 muestra un reactor SCHLEIBINGER tipo AAR (“alcali-aggregates-reactivity”) utilizado en estos ensayos, donde las probetas de hormigón se someten a 60 °C y cerca de 100% de humedad relativa. En determinados periodos se miden las variaciones de longitud de las probetas y se determina así un principio de reacción álcali-silica (ácido silícico o agregado) (ASR).

1.2 Estabilidad dimensional

Durante el desarrollo de la rigidez en los materiales de construcción en base cemento, éstos cambian su volumen. El origen, entre otros, son las fuerzas de atracción de partículas finas, la pérdida de agua por secado, formación de cristales y transformaciones. Mientras que el material esté en estado líquido no es pernicioso el cambio de forma. Pero en cuanto se establece cierta rigidez, aparecen tensiones internas.

Si dichas tensiones internas superan la resistencia a la tracción del material da lugar a roturas. Según la norma DIN 52450 [9] se mide la retracción en prismas de mortero usualmente al desmoldear después de 24 horas.

■ **Figura 6. Curvas de retracción en cono de dos pastas de mortero.**



■ **Figura 7. Cono de retracción de SCHLEIBINGER.**



En la Figura 6 puede verse los resultados de la retracción con un cono de retracción de SCHLEIBINGER [10] (Figura 7). En ella se observa que gran parte de la variación de forma tiene lugar con anterioridad al desmoldeo (24 horas). Este cono mide sin contacto con un láser la variación de forma en estado líquido. Si se mide simultáneamente con una célula de medida de ultrasonido también en estado líquido el temprano desarrollo del módulo “E” se reconoce por la aparición de tensiones en el material en un estado temprano.

Retracción de capas finas

En la ingeniería de construcción civil no es un factor de gran importancia la retracción de secado, por lo menos si las superficies tienen un tratamiento posterior apropiado. Con materiales de construcción para paredes y suelos como placas o masas solares autonivelantes resulta la relación volumen/superficie bastante peor. A una pequeña masa de volumen se enfrenta una gran superficie. Con el sistema de retracción de capas finas de SCHLEI-

■ **Figura 8. Sistema de sujeción de los reflectores de medida de la retractibilidad de las capas finas a depositar sobre la base de la bancada.**



BINGER [11] puede determinarse la retracción de forma exacta y desde un principio, tal como se muestra en la Figura 8.

En este equipo hay dos ligeros reflectores pequeños sobre una capa fina pintada sin roce sobre una base lisa, que está separada por una lámina fina. Dos Láser miden a la derecha y a la izquierda la distancia a los reflectores. La suma de los valores medidos da la variación de longitud de la probeta. El conjunto con la probeta va colocado sobre una balanza electrónica. La pérdida de masa por evaporación se registra paralelo a la variación de la longitud. Con capas más gruesas como p.ej. pavimento de suelos puede obtenerse diferentes retracciones entre la superficie secada y la superficie inferior. El canal de retracción de SCHLEIBINGER [12] mide la variación de longitud pero también la flecha de la probeta. Durante la medición puede simularse la influencia de la temperatura, por ejemplo, con una calefacción distribuida por el suelo.

1.3 Trabajabilidad

Al contrario de la durabilidad y estabilidad de forma existen normas de ensayos reconocidas internacionalmente como el Slump-Test (EN 12350-2 [15] o norma ASTM C143 [15]) o la mesa de desdoblamiento (EN 12350-5 [16]). Aparte que se trata de un procedimiento de medida puramente heurística, que tiene más de 80 años y por lo tanto impreciso. Para el hormigón auto compactante dónde la trabajabilidad está en el centro del diseño del hormigón se modificaron ligeramente los procedimientos. (J-Ring, Auslaufzeit T70, [17]) pero en lo fundamental se modificaron cosas sin importancia. Resultado de la medida es o bien el ancho de la extensión del cono en cm o el tiempo en el que fluye en segundos. No se mide una curva de flujo que describe el límite y la viscosidad completa del material.

Hace aproximadamente 50 años se empezó a desarrollar modernos métodos de medidas después de reconocer que reómetros como los utilizados en la industria química y alimenticia no servían para sistemas de dispersiones no homogéneas como los materiales de construcción. Tattersaal [18] desarrolló en 1970 en Noruega un reómetro para hormigón fresco, J. Teubert [19] al

■ **Figura 9. Equipo de ultrasonidos para medida de las retracciones. A la derecha: sensor de US para mortero.; a su lado el aparato de medida y registro de la retracción.**



mismo tiempo desarrolla un reómetro para mortero. Ambos habían reconocido que durante las mediciones de materiales de construcción hay que evitar que los mismos se separen en fase sólida y líquida durante la medida, los áridos mediante gravedad se sedimenten en el suelo.

En vez de usar los típicos cilindros o placas de la reometría de química y alimentación, se desarrollaron agitadores, que durante el proceso de la medición no dejan de mezclar el material.

Reómetro de mortero

La empresa SCHLEIBINGER construyendo sobre los ensayos y publicaciones de Teubert presentó en el año 1980 un reómetro para morteros en el mercado, que fue perfeccionado en el año 2000 pero siempre basándose en el mismo principio de medida. El Viskomat NT (Figura 10) permite hacer mediciones de larga duración sin que el material se deshaga o sedimente por la geometría de los medidores del reómetro.

La pequeña cantidad de muestra de 360 cm³ permite una medida rápida y sin problemas. El agregado está limitado a un tamaño máximo de 2 mm. Si el contenido del mortero en el hormigón es suficientemente grande de modo que cada grano pétreo es envuelto por una película de mortero de determinado espesor (aproximadamente 550 l/m³ de hormigón [20]), de este modo las propiedades de fluencia del hormigón fresco con similar árido e igual cantidad de mortero, serán ampliamente determinadas por las propiedades de fluencia del mortero.

Reómetro de hormigón

Aunque un reómetro de mortero es una gran ayuda, pero a veces no se acepta dicho método, ya que sólo se mide en un producto

■ **Figura 10. Reómetro para mortero Viskomat NT.**



■ **Figura 11. Viskomat XL, reómetro para mortero y hormigón fresco hasta tamaño de grano de 8 mm.**



previo como el mortero y no un producto acabado como el hormigón fresco. Para tamaño de grano de hasta 8 mm puede utilizarse con un volumen de muestra de 3,5 l una versión aumentada del reómetro de mortero llamado Viskomat XL. El principio de medida corresponde al del reómetro de mortero. Con tamaño de grano del agregado desde 16 mm hasta 32 mm debe incrementarse de forma significativa el volumen de la muestra. Sin embargo, todavía podría aumentarse otra vez la geometría de la reometría, pero ello traería consigo un incremento desproporcionado del equipo. Entonces solamente para el manejo de las probetas harían falta dos personas.

El reómetro para hormigón fresco BT2 [21] salva dicho problema (Figura 11) es transportable y manejable por una sola persona. Dos brazos con medidores de fuerza se mueven a través del hormigón. Como ambos están a distintas distancias del centro de giro, se mueven también con distintas velocidades efectivas y así actúan fuerzas distintas sobre los sensores.

El brazo de medida se mueve solo una vez a través del recipiente de medida. El material, o sea, la mezcla no se separa y la medición es tan rápida que no tiene lugar sedimentación alguna.

2. Conclusión

En los campos de la durabilidad, estabilidad de forma y trabajabilidad, o bien, no existen ensayos normalizados concluyentes o solo representan un estándar mínimo. Si nos fiamos de estos procedimientos, ocurrirá que los materiales de construcción solo cumplirán un estándar mínimo de calidad. Para desarrollar nuevos productos se necesitan aparatos de medida de avanzada tecnología, que ya existen en el mercado.

Nota: Carlos Wrusch. Ing. Ind. Director de www.acinco.com y representante de SCHLEIBINGER en España ha traducido este artículo del alemán al español.

Referencias

- [1] "Testing hardened concrete" –Part 9: Freeze-thaw resistance– Scaling; German version CEN/TS 12390-9:2006.
- [2] Prüfung von Festbeton Teil 9 Frost -und Frost-Tausalz- Widerstand, Abwitterung, Deutsche Fassung preEN12390-9:2002.
- [3] Betonprüfung, ÖNORM B 3303:2002 09 01.
- [4] UNI 7087:2002, 01/06/2002, Calcestruzzo. "Determinazione della resistenza al degrado per cicli di gelo e disgelo".
- [5] Stark, J.; Seyfarth, K. y Giebson, C. "Beurteilung der Alkali-Reaktivität von Gesteinskörnungen und AKR-Performance-Prüfung Beton; 16". International Baustofftagung ibausil; September 2006, Weimar, Germany, ISBN 3-00-018263-2.
- [6] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAFStb (Hrsg.). "Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkali-Reaktionen im Beton: Alkali-Richtlinie". Anhang B, Teil3, Berlin: Beuth, 2007.
- [7] Standard NF P18-454 (diciembre 2004). "Béton - Réactivité

d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction - Essai de performance - Reactivity of concrete for alkali-silica Performance test".

- [8] RILEM Test Method TC 191-ARP (Ed.): AAR-4.1: "Detection of Potential Alkali-Reactivity -60°C Accelerated method for testing aggregate combinations using concrete prisms". Bagnaux, 2006.
- [9] DIN 52450, Norm, 1985-08 Prüfung anorganischer nicht-metallischer Baustoffe; Bestimmung des Schwindens und Quellens an kleinen Probekörpern.
- [10] Greim, M. y Teubert, O. Patentanmeldung DE10046284A1, "Vorrichtung zum Erfassen des frühen Dehn- und Schwindverhaltens von Baustoffen".
- [11] Bühler, E. y Zurbriggen, R. (2004). "Mechanisms of early shrinkage and expansion of fast setting flooring compounds". Submitted to GDCh Baufachtagung, Erlangen, Germany.
- [12] Gerstner, B; Haltenberger, H; Teubert, O. y Greim, M. Patentanmeldung DE000010123663A1, "Vorrichtung zum Messen der Verformung an Mörteln, insbesondere Fliessestrichen, in zwei Richtungen unter verschiedenen Temperaturbedingungen".
- [EN] Device for measuring deformation of mortar in two directions under different temperature conditions has sensors for simultaneous measurement of vertical and horizontal mortar movement.
- [13] ASTM C 827 – 95a (Reapproved 1997). "Standard Test Method for Change in Height at Early Ages of Cylindrical Specimens from Cementitious Mixtures".
- [14] DIN EN 12350-2:2009-08 Prüfung von Frischbeton - Teil 2: Setzmaß; Deutsche Fassung EN 12350-2:2009, - Testing fresh concrete - Part 2: Slump-test; German version EN 12350-2:2009.
- [15] ASTM C143 / C143M - 08 Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.
- [16] DIN EN 12350-5 Norm, 2009-08, Prüfung von Frischbeton - Teil 5: Ausbreitmaß; Deutsche Fassung EN 12350-5:2009.
- [17] DAFStb Selbstverdichtender Beton; SVB-Richtlinie:2003-11 Technische Regel, 2003-11 DAFStb-Richtlinie - Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie).
- [18] Tattersall G.H. y Banfill P.F.G. "The rheology of Fresh Concrete". Pitman Books Limited, Boston 1983.
- [19] Teubert J. "Measuring the consistency of concrete mortar and its importance to the workability of fresh concrete". Betonwerk + Fertigeil Technik, Heft 4/81.
- [20] Gołaszewski J. "The influence of mortar volume in rheological properties, optimizing the properties of fresh high performance concretes". BFT Betonwerk + Fertigteil Technik, 10/2008.
- [21] Greim, M y Teubert, O. Patent DE000019503028B4, "Verfahren zum Messen des Fließverhaltens grobkörniger Stoffgemenge".