

## Efecto del agua sobre la resistencia a la cohesión en probetas de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos (ensayo de inmersión-compresión)

### 1 OBJETO, FUNDAMENTO Y CAMPO DE APLICACIÓN

**1.1** Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la pérdida de resistencia a la cohesión que se produce por la acción del agua sobre probetas de materiales granulares tratados con conglomerantes hidráulicos.

**1.2** Las muestras del material tratado se fabrican y compactan de la forma que se especifica en la norma NLT 310, "Compactación con martillo vibrante de materiales granulares".

**1.3** Dos series idénticas de probetas del material tratado, se curan, ambas, a humedad constante durante 7 días. Al final de este período de curado, una de las series se sumerge en agua durante otros 7 días, y la otra serie se mantiene en curado a humedad constante. Los períodos de curado dependen de la naturaleza del conglomerante utilizado (véase nota 2). Cuando ambas series alcanzan la edad de 14 días se ensayan a compresión simple y se comparan las resistencias obtenidas en la serie sumergida como porcentaje de las resistencias obtenidas en la otra serie de control. Este índice es una medida de la resistencia al efecto del agua sobre la cohesión del material.

**1.4** El método de ensayo se aplica en la determinación de las características, resistentes de este tipo de materiales empleados en la construcción de bases y subbases de carreteras y de otras áreas pavimentadas.

### 2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIO

**2.1** Los referidos en la norma NLT-310, necesarios para la fabricación del material y la compactación de las probetas para ensayo.

**2.2** Prensa de ensayo. Como la descrita en la norma NLT-305", párrafos 2.1 a 2.1.3, a, i, o equivalente.

**2.3** Tanque de agua estanco, preferiblemente con tapadera, en el que puedan alojarse varias probetas inmersas en el agua cuyo nivel esté 25 mm por encima de la cara superior de las probetas.

### 3 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

**3.1** Las dos series de probetas se fabrican al mismo tiempo a partir de la misma mezcla. Cada serie constará de un mínimo de tres (3) probetas. Tanto la fabricación de la mezcla como la confección de las probetas se realiza según se especifica en la norma NLT-310. Es conveniente tomar muestra en este punto y determinar el contenido de humedad que servirá de referencia y control del mismo. Una vez desmoldadas las probetas se recubren con parafina (Nota 1) para mantenerlas con su contenido de humedad establecido. Se tendrá cuidado en no dejar poros o agujeros en la capa de parafina y se completará el parafinado lo más rápidamente posible para evitar la absorción de parafina. Después del parafinado, se determina la masa,  $m_1$  de cada probeta con aproximación a 1 gramo y se almacenan hasta el momento que se vayan a ensayar, normalmente 7 días si el conglomerante es cemento y 28 días si es cal, (Nota 2) a temperatura constante de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  (Nota 3).

**Nota 1.** Durante el período de curado es esencial que las probetas no pierdan agua. El recubrimiento de las superficies de la probeta con parafina se ha mostrado como el mejor método para mantener la humedad constante, es muy fácil de realizar y la parafina se puede reutilizar. Con el fin de recuperarla de la probeta, la parafina se debe aplicar tan fría como sea posible. Si no fuese viable el recubrimiento con parafina, las probetas se envuelven cuidadosamente en plástico de poco espesor, se introducen cada una de ellas en sendas bolsas de plástico, de tamaño adecuado, que se sellan herméticamente con soldadura térmica. En el caso de materiales estabilizados preparados con áridos clasificados y lavados, como el hormigón pobre, las probetas se pueden curar dejándolas endurecer dentro de sus moldes durante 24 horas y después sumergidas totalmente en agua a  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  hasta el ensayo. Este es el método normalmente utilizado en el curado de las probetas de hormigón hidráulico. La experiencia ha demostrado que es un procedimiento alternativo aceptable para el curado de probetas de material estabilizado fabricadas con material granular exento de finos cohesivos.

**Nota 2.** Después del desmoldado de las probetas es necesario el curado de éstas durante suficiente tiempo para posibilitar el desarro-

llo de la resistencia. Por ésto, los ensayos son generalmente realizados sobre probetas que se han almacenado durante diversos períodos de tiempo para determinar si la resistencia aumenta satisfactoriamente. Con materiales estabilizados con cemento los períodos de curado adecuados son 3,7,14 y 28 días, mientras que para los materiales estabilizados con cal estos períodos son de 7, 28, 56 y 112 días. Sin embargo, en muchos casos los ensayos se llevan a cabo con probetas que se han curado solamente a un período fijo, dependiendo el tiempo especificado del proceso de estabilización considerado. Con materiales estabilizados con cemento este período es normalmente de 7 días y para los estabilizados con cal es de 28 días.

**Nota 3.** La temperatura de curado de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  es la especificada para climas templados. Para áreas con clima tropical o subtropical es más apropiada una temperatura de curado de  $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$ . El cumplimiento de la tolerancia de  $\pm 2^\circ\text{C}$ , es esencial en todos los trabajos de laboratorio destinados a determinar el contenido de cemento requerido. En los trabajos de control de calidad estas tolerancias se pueden ampliar hasta  $\pm 5^\circ\text{C}$ .

#### 4 REALIZACIÓN DEL ENSAYO

**4.1** Después de agotado el período de curado establecido (véase 3.1 y nota 2), y antes de realizar el ensayo de rotura a compresión simple, se determina la masa  $m_2$ , de cada probeta, con aproximación a 1 gramo. Si la diferencia de masa entre  $m_1$  y  $m_2$  es mayor de 15 gramos, por pérdida de material durante el proceso de curado, se desecha la probeta en cuestión y se sustituye por otra.

**4.2** Después de determinar la masa de cada probeta, se elimina la capa de parafina que las envuelve, teniendo cuidado en no dañar la superficie de aquéllas. Se puede recuperar la parafina para su posterior reutilización (véase nota 1).

**4.3** Se sumergen totalmente en agua las probetas de la serie destinada a inmersión de tal forma que la superficie superior de las probetas esté al menos 25 mm por debajo del nivel del agua en el tanque. Se mantiene las probetas en estas condiciones a temperatura del agua de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  durante 7 días. Al final de este período se sacan las probetas del agua y se secan sus superficies con un papel secante o similar. Se mide y anota la longitud  $L$  (generatriz) de cada probeta como resultado medio de cuatro medidas realizadas en los extremos de dos diámetros perpendiculares y con aproximación a 0,1 mm, utilizando un calibrador; se determina la masa  $m_3$  de cada probeta  $\pm 1\text{g}$ , y se sigue como se describe en 4.5. Se anota el aspecto que presentan las muestras; así como cualquier signo de hendiduras, roturas, o de expansión volumétrica.

**4.4** Finalizado el período de 14 días  $(7 \pm 7)$  de las probetas sin sumergir, serie de control, se determina la masa  $m_4$  de cada una de ellas  $\pm 1\text{g}$ . Se mide y anota la longitud  $L$ , con aproximación de 0,1 mm de cada probeta como resultado medio de

cuatro medidas realizadas en los extremos de dos diámetros perpendiculares, con ayuda de un calibrador. Se sigue como se describe a continuación en 4.5.

**4.5** Se determina la resistencia a compresión simple de la totalidad de las probetas de las dos series. Para ello, se coloca la probeta centrada en el plato inferior de la prensa de compresión de manera que el eje de la probeta coincida con el eje del plato de la prensa. Se sitúa sobre la probeta el plato superior mediante desplazamiento manual o mecánico, y se comprueba el paralelismo de los dos platos y la coincidencia de los centros de los platos y el eje de la probeta. Enseguida se aplica la carga uniformemente y sin brusquedad, de modo que el aumento de tensión media sobre la probeta sea de  $(0,1 \pm 0,01) \text{ MPa/s}$   $(1,0 \pm 0,10 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ . La aplicación de la carga se realiza hasta que la probeta se deforme rápidamente antes de la rotura. A partir de este momento no se modificarán las posiciones de los mandos de la máquina, tomándose como carga de rotura la máxima alcanzada. (Véase norma NLT-305 "Resistencia a compresión simple de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos" Apartado 4).

**4.6** Inmediatamente después de su rotura se toman fragmentos representativos de las probetas y con ellos se determinan los contenidos de humedad  $w$ , con el procedimiento normalizado adecuado (estufa, baño de arena, microondas, carburo cálcico, etc.).

**Nota 4.** El contenido de humedad determinado en este estadio será generalmente diferente del inicial por causa de que parte del agua habrá sido utilizada en reacciones de hidratación o puzolanización. Todo esto aun suponiendo que no ha habido pérdidas por evaporación.

#### 5 CÁLCULOS Y RESULTADOS

**5.1 Cálculo de la resistencia a compresión,  $R$ .** La resistencia unitaria de cada probeta, en MPa, se obtiene dividiendo la carga máxima registrada, según apartado 4.5, por la superficie de la sección transversal (para las probetas especificadas en esta norma esta sección transversal es  $s = \pi r^2 = \pi \cdot 152,4^2 / 4 = 18.241 \text{ mm}^2$ ). (Nota 5).

**Nota 5.** Si se ensayan probetas o testigos con dimensiones diferentes a las especificadas en esta norma de ensayo, se debe aplicar el factor de corrección adecuado, en función de la relación altura/diámetro de las probetas. En la norma NLT-305 y en su apartado 5 "Resultados" se muestran, Tabla 1, estos factores.

**5.2** Se registran y anotan los valores de resistencia alcanzados con aproximación 0,02MPa para resistencias hasta 2 MPa y con aproximación a 0,05 MPa para resistencias mayores de 2 MPa.

**5.3** Se calcula el valor medio de las resistencias a compresión simple de cada serie o grupo de probetas, sumergidas  $R_i$ , y no sumergidas  $R_c$ , en MPa.

**5.4** Se obtiene el índice de resistencia conservada  $I$ , por efecto del agua, con la expresión:

$$I = 100 R_i / R_c$$

donde:

$I$  = Índice de resistencia conservada (en %).

$R_i$  = resistencia media a compresión simple de la serie sumergida (en MPa).

$R_c$  = resistencia media a compresión simple de la serie no sumergida, de control (en MPa).

**5.5** El resultado del ensayo  $I$ , se expresará en porcentaje entero más próximo.

**5.6 Cálculo de la densidad seca inicial  $\rho_i$  probetas sumergidas.** La densidad seca inicial en  $Mg/m^3$ , se calcula con la siguiente expresión (probetas de 152,4 mm de diámetro).

$$\rho_i = 5,482m_i / L (100 \pm \omega_i)$$

donde:

$m_i$  = Masa de la probeta después de la inmersión (g)

$L$  = Longitud (generatriz) de la probeta (mm)

$\omega_i$  = Contenido de humedad de la probeta después de la inmersión (%)

**5.7** Cálculo de la densidad seca  $\rho_c$  probetas de control. La densidad seca de las probetas de control, en  $Mg/m^3$ , se calcula con la siguiente expresión:

$$\rho_c = 5,482 m_c / L (100 + \omega_c)$$

donde:

$m_c$  = masa de la probeta antes de parafinar (g).

$L$  = longitud (generatriz) de la probetas (mm).

$\omega_c$  = contenido de humedad inicial de la probeta sin inmersión (%).

**5.8** Los valores de los resultados de las densidades, sumergidas y de control, se expresaron aproximados a  $0,01 Mg/m^3$ .

**5.9** Los resultados de los ensayos indicarán los siguientes datos:

- Tipo de material y unidad de obra en que se emplee.
- Tipo y porcentaje de conglomerante hidráulico.
- Designación y fecha de fabricación de las probetas.
- Procedimiento de fabricación y curado de las probetas.
- Dimensiones y masas de las probetas.
- Edad del material.
- Cargas de rotura, en kN (kgf).
- Tensión o resistencia de rotura de cada probeta, en MPa ( $kgf/cm^2$ ).
- Posibles defectos observados en el material o en la rotura de las probetas.
- Condiciones de inmersión.
- Densidad media de cada grupo de probetas.
- Índice de resistencia conservada (%).

## 6 PRECISIÓN

En la fecha de edición de esta norma de ensayo no se han establecido aún criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados.

## 7 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

BS 1924: Part 2 : 1990 "Stabilized materials for civil engineering purposes. Methods of test for cement-stabilized and lime-stabilized materials". Section four, clause 4.3 "Determination of the effect of immersion in water on the compressive strength".

## 8 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-310 "Compactación con martillo vibrante de materiales granulares tratados".

NLT-305 "Resistencia a compresión simple de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos".