ASENTAMIENTO PLASTICO UN DESCONOCIDO QUE SE HACE VER

Ing. Liliana Alvarez - Ingeniera Civil Uniagraria
Ing. Mary Angel Rodriguez - Ingeniera Civil Uniagraria
Ing. Alfonso Acosta - *Catedrático Universidad Agraria*
Ing. Germán Hermida - *Jefe Dept. Sika Colombia*

Supongamos que hemos decidido levantarle una estatua a Natalia París, nuestra devoción a la belleza femenina se ha propuesto inmortalizar ese cuerpo en una nueva Venus del Milo. Esta sí, íntegra. El material elegido para la escultura, siendo congruentes con nuestro oficio, es el concreto. Aquellas formas, volúmenes, hondonadas y escondidos recodos serán fundidos en un concreto blanco, a la vista por supuesto. Para llevar a cabo semejante empresa sabemos que buena parte del éxito está en la formaleta por ello se tomaron todas las precauciones y cuidados del arte. La formaleta en bronce contiene en su interior la impronta exacta de la mujer de los cuadernos y las cervezas.
Por su parte se ha escogido para la ocasión, un concreto fluido de más de 20 cm de asentamiento cuyos componentes endurecerán con el tiempo alcanzado una resistencia muy superior a del mármol (80 MPa). Los agregados de la mejor cantera cuentan con una densidad superior a 2.6 g/cm^3 mientras que el cemento blanco deja atrás los 500 kg/cm^2 al cumplir las cuatro semanas. El esqueleto de la diva lo conforma una estructura de acero grado 60 recubierto con un anticorrosivo, pero para aquellos preocupados aun por la durabilidad de Natalia, se garantiza una porosidad en el concreto inferior al 10%. El día de la fundida se dosifican en planta con el máximo de rigor todos los componentes mientras que la formaleta está recubierta en su interior por un desmoldante de alta tecnología que no deja manchas.
El concreto es entonces vertido entre el molde, vibrado y finalmente enrasado en la parte superior de la cabeza de Natalia. Al otro día, en medio de la expectación de todos, al abrir la formaleta… oh sorpresa! nos encontramos con que todo está en su lugar, excepto por la cabeza misma. La coronilla de la nueva Venus ha desaparecido dejando al descubierto el acero!

La persona que enrasó el material después de ser debidamente interrogada aseguró que el molde estaba completamente lleno, hasta el tope de concreto y que la enrasada se hizo sobre el borde superior.
Un ingeniero acucioso observa los cilindros que habían sido muestreados simultáneamente con el material de la estatua y nota que éstos también se han contraído. En realidad los cilindros de 30 cm de altura que también habían sido cuidadosamente enrasados se han contraído 3 milímetros. El ingeniero comprende que en el sentido vertical el material se ha perdido el 1% de la altura original. Así que sin dudarlo mucho dice:

- Quedaron faltando 2 cm, no?

Los incrédulos fabricantes de la formaleta, que sabían que la estatua tenía 2 metros de envergadura (qué generosos con Natalia), miden la profundidad del material faltante y la cifra coincide con la predicción del ingeniero.

Pues bien, el ingeniero midió sin saberlo el asentamiento plástico del concreto, un fenómeno presente siempre en el material pero ignorado en la mayor parte de los casos. Solo sufrimos y nos damos cuenta de su existencia, cuando nos interesa la altura final del material. Una altura que cambia de estado fresco a endurecido durante las primeras 24 horas.

Un cambio dimensional de esta envergadura (1%) si se le compara con retracciones en estado endurecido en el plano perpendicular a la vertical (0.04%) resulta enorme y es difícilmente explicable el que se le mencione con tan poca frecuencia en la literatura especializada.

Lo cierto es que el asentamiento plástico en general no fisura las estructuras (como si lo hace la retracción en el plano perpendicular a la vertical) y en un pavimento por ejemplo de 25 cm de espesor su magnitud será entonces de 2.5 mm, difícilmente perceptibles por un pasajero de un bus si se le compara con el efecto de las juntas longitudinales (estas si provocadas por los cambios dimensionales del material en el plano perpendicular a la vertical).

El asentamiento plástico se debe en su mayor parte a que una fracción del agua que hace parte del concreto migra hacia la superficie del material por su menor densidad (como vemos se trata de un desplazamiento vertical ocasionado por la acción de la gravedad). Este fenómeno conocido como exudación tiene lugar en mayor o menor medida en todos los concretos. Aquella lámina de agua que en estado fresco protege la matriz del concreto, se va evaporando gradualmente, de manera que parte de nuestro metro cúbico termina suspendido en la atmósfera.

Aunque la pérdida de altura del concreto al pasar de estado fresco a endurecido está relacionada fundamentalmente con la exudación y posterior evaporación, también se encuentran involucradas la retracción autógena por la reacción química que tiene lugar durante la primera hidratación y la retracción térmica al completarse el fraguado. Sin embargo la magnitud de la retracción autógena de concretos en un caso crítico, puede ser de 0,1% y la térmica de 0,001% es decir 10 y 1000 veces más pequeñas que las causadas por la evaporación del agua.

El asentamiento plástico se convierte en un parámetro crucial cuando se “rellena” un espacio cerrado o se funde para una altura determinada con un material cementante. Entre los ejemplos más dramáticos donde nos preocupa el asentamiento plástico se encuentran los rellenos o inyecciones de lechada (agua+cemento) entre tuberías de cables preesfozados. Estos conductos en general curvos se llenan de lechada completamente hasta rebosar, sin embargo al otro día nos percatamos que la lechada se ha retraído y que podemos “meter” una varilla por el conducto sin encontrarla. Este puede ser el caso extremo, pero en concreto y morteros tienen lugar situaciones similares. De esta forma si hemos nivelado la platina base de una maquina o una columna de acero y debemos rellenar el espacio bajo ésta, debemos asegurarnos de que no exista asentamiento plástico debido a que sí tiene lugar, nos quedará un vacío entre el plano inferior de la platina y la nueva placa de concreto sobre la que supuestamente debe descansar.

El caso de la estatua dedicada a Natalia se repite de manera idéntica cuando vamos a recalzar una columna o fundir un muro pantalla entre un pórtico ya existente, caso muy en boga en nuestro medio. El concreto nuevo fundido entre una placa inferior y otra superior se retraerá cerca de un 1% o mas de su altura original en estado fresco, quedando entonces sin hacer contacto con la placa superior.

Por este motivo los recalces y este tipo de muros se funden en dos etapas, siendo la segunda formada por un mortero o concreto expansivo que corrige esta disminución en altura. Los morteros o concretos expansivos pueden aumentar su altura inicial (de enrase) hasta en un 4%.

Métodos de medición.

Medir el asentamiento plástico podría hacerse en el caso de una lechada simplemente con regla y en el caso de un mortero o de un concreto con un micrómetro que nos provee una precisión de 1 décima de milímetro. Sin embargo para hacer estas mediciones, como la efectuada por nuestro ingeniero curioso, se debe esperar a que el material esté endurecido. Medir el cambio progresivo en la altura del material en estado fresco resulta mucho más complejo, tanto en el caso de retracción (asentamiento plástico) como de expansión (concretos o morteros expansivos).

Determinar la altura segundo a segundo del material en estado fresco cuando esta expuesto al medio ambiente resulta un reto que fue resuelto por los norteamericanos en 1975. Hoy en día este procedimiento se encuentra normalizado y aparece descrito en la ASTM C 827-95a. A pesar de que el procedimiento se apresta a cumplir su primera treintena, su uso no ha sido muy extendido debido a la relativa dificultad que el montaje del ensayo involucra.

En la ASTM C 827 la medición se hace sobre la parte superior de un cilindro de concreto o mortero que acaba de ser mezclado. El principio resulta ser muy sencillo comparado con la complejidad del montaje. Sobre la superficie del material en estado fresco (lechada, mortero o concreto) se coloca una esfera de un material no absorbente con una densidad inferior al concreto (esferas plásticas o de resultan apropiadas para la medida). Esta esfera, que se apoya sobre el material en estado fresco, actúa como un balón de voleibol en una piscina. Si el nivel de la piscina aumenta, el balón sube con él (Foto 1), si baja igual (Fotos 2). Sobre la esfera que se usa como referencia se dispara un rayo láser que la golpea proyectando una sombra tras ella. Esta imagen (la sombra de la esfera) es amplificada por dos lentes (una que conduce y otra que amplifica) multiplicando la imagen 100 veces sobre una escala que está ubicada a 5 metros de la segunda lente.

Foto 1. Expansión final en concreto modificado.	Foto 2. Asentamiento plástico (24 horas) concreto convencional.

Lo que obtenemos es la sombra de la esfera proyectada de una forma bastante nítida sobre una escala graduada, de modo que un milímetro de movimiento (hacia arriba o hacia abajo) de la esfera se traduce en un movimiento de 10 cm en la escala. Con este sistema los movimientos del concreto en el sentido vertical se siguen minuto a minuto.

Debido al interés actual por medir tanto el asentamiento plástico como la expansión de concretos o morteros expansivos durante las primeras horas de su fraguado, se

desarrolló un proyecto de grado con el objetivo de montar el ensayo como realizar diferentes mediciones.
Este proyecto de grado desarrollado por los autores montó y mejoró la versión que aparece citada en la norma debido a que se implementó una mejor alineación de los lentes, con la última tecnología láser (Foto 3). Se diseñó y construyó una estructura que permite con facilidad su nivelación y el desplazamiento horizontal y vertical de las muestras para la correcta calibración del ensayo.

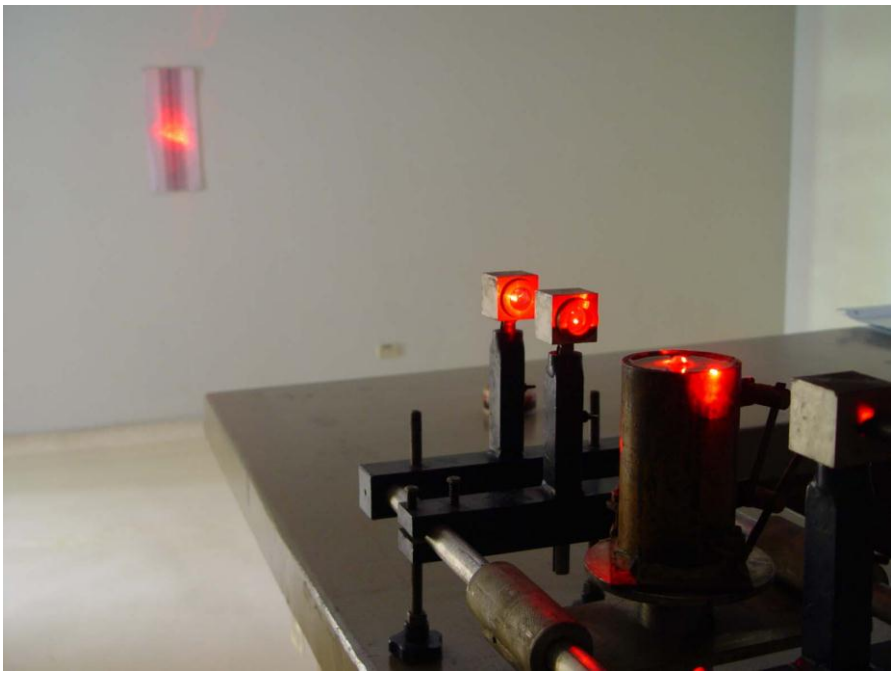

Foto 3. Ensayo para la determinación del asentamiento plástico ASTM C 827-95ª, amplificación de la imagen x100.

Cambios dimensionales en el eje vertical

Concreto Convencional
Para el concreto premezclado más frecuente en la construcción, es decir aquel con un asentamiento de 11 cm y una resistencia característica de 210 kg/cm2 la figura 1, muestra la evolución del asentamiento plástico durante las primeras 18 horas.
En la Figura 1 aparecen así los valores promedio de asentamiento plástico para diferentes series de mezclas que llegan al 0.8% de la altura inicial del espécimen. Como vemos este concreto tan frecuente en nuestro medio bajo las condiciones atmosféricas que aparecen en la figura sufre esta retracción inicial principalmente durante las primeras 3 horas a partir de la cual se estabiliza.

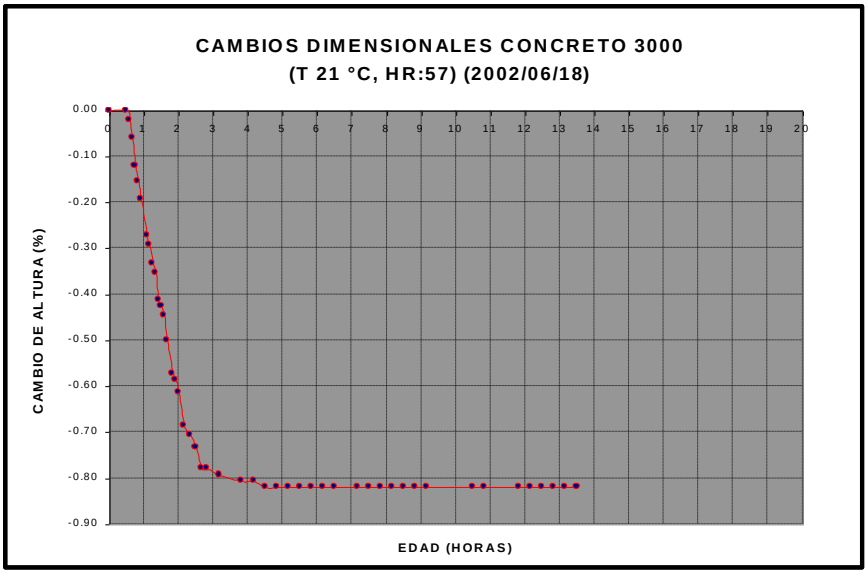

Fig. 1 Asentamiento plástico de un concreto convencional (210 kg/cm2).

Mortero modificado expansivo (Grout)

Este mortero con propiedades expansivas cuenta con una manejabilidad libre de 60 cm de diámetro utilizando el cono de Abrams y una resistencia final superior a 600 kg/cm^2. Los cambios dimensionales en el eje vertical de este mortero listo aparecen en la Figura 2 para diferentes series. Como vemos la expansión tiene lugar durante la primera hora y alcanza un valor pico entre el 1.4% y el 1.9% para un valor final de expansión entre el 1.3 y el 1.7%.

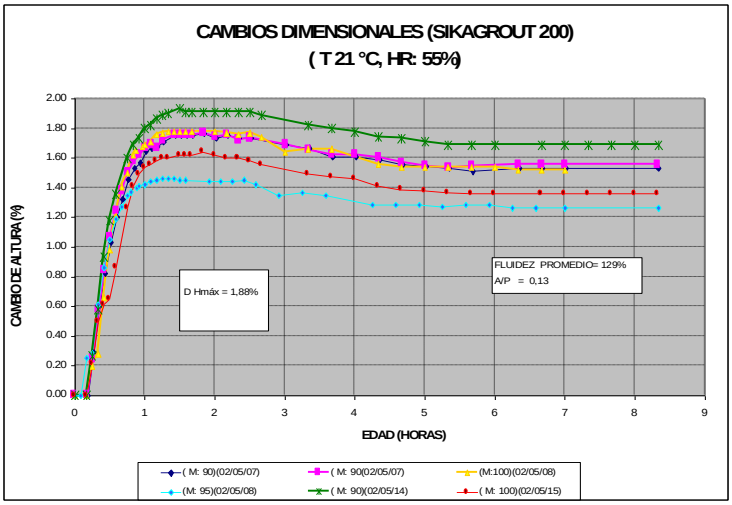

Fig. 2 Expansión de un mortero modificado.

De esta forma, la parte superior de Natalia desapareció durante las primeras horas de haber sido fundida y nos hubiésemos ahorrado semejante decepción (quien quiere a Natalia incompleta) utilizando un concreto o mortero expansivo.

La experiencia ganada durante la ejecución de los diferentes ensayos permitió entender que la norma adolece de un problema pues no puntualiza el intervalo de tiempo máximo entre haber mezclado el material a estudiar con el instante en que se inicia la medida. De este modo algunos Grouts expansivos que comenzaron a medirse a los 12 minutos de haber sido mezclados mostraron un menor valor de expansión

final que aquellos colocados a los 5 minutos de mezclados. Lo cierto es que ambos se expandieron la misma magnitud pero la demora en la colocación del ensayo hizo que nos "perdiéramos" de una fracción expansiva en el primer caso, pues el ensayo comienza calibrando en cero la altura.

El asentamiento plástico cada vez mejor conocido por nuestros ingenieros puede ser o no motivo de preocupación dependiendo de las condiciones en que se construya sin embargo, lo que si es cierto es que podemos hoy en día medirlo con exactitud en el tiempo.

Sobre la Natalia de concreto, esta vez si expansivo, decidimos posponer la fundida hasta decidir donde descansaría pues persiste aun la discusión alrededor de utilizarla como cariátide en las primeras pilas de un puente, como reemplazo del sabio Caldas en las Nieves o ponerla como ejemplo del buen concreto (fondo y forma) a la entrada del Club de Ingenieros.