ENTENDIENDO EL CONCRETO

2

CONCRETO EN ESTADO FRESCO EN LA OBRA:

LAS CONFUSIONES ENTRE TIEMPO DE VIDA ÚTIL, TRABAJABILIDAD, TIEMPO DE FRAGUA Y TIEMPO DE DESENCOFRADO.

Se explican los conceptos básicos en relación al comportamiento del concreto en estado fresco y las confusiones frecuentes en obra en cuanto al tiempo de vida útil, la trabajabilidad, fraguado y desencofrado, que originan conflictos entre el constructor, supervisor y proveedor de premezclado.

1.0 TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL CONCRETO EN OBRA

Con seguridad le ha ocurrido a algún colega Residente de obra que su Supervisor verifica la guía de remisión del camión de premezclado y basado en un cierto tiempo transcurrido decide que ya no puede usarse argumentando que ya tiene fraguado inicial, o que ya se cumplió el tiempo de vida útil garantizado por el proveedor de premezclado y debe desecharse. Otro caso frecuente es cuando se aprecia que luego de un tiempo el asentamiento o slump ha caído notablemente y también se considera que ya hay fraguado inicial y debe rechazarse el concreto.

El error conceptual proviene fundamentalmente de no entender en que consiste la vida útil del concreto en estado fresco y que parámetros la controlan en cada proceso constructivo.

El estado fresco en el caso del concreto representa la condición en que podemos usarlo en los procesos constructivos mientras se deje mezclar, transportar, colocar y compactar sin "resistirse" a estos procesos y es lo que se denomina técnicamente el estado plástico. En este estado también denominado "periodo latente" aún no empieza el proceso químico de hidratación que activa al cemento como pegante y ocasiona endurecimiento y rigidez permanente, y es la condición en que el constructor emplea esta mezcla para transportarla y colocarla en los encofrados y densificarla mediante la compactación para que adopte una forma definitiva antes de que empiece su proceso químico de endurecimiento y esto ya nos define un criterio de vida útil.

Pero por otro lado preguntémonos que pasa si el concreto aún no ha iniciado su proceso químico de hidratación, pero se ha vuelto una masa difícil de mezclar, transportar, colocar y compactar, principalmente por evaporación del agua o por pérdida de eficiencia de los aditivos y si lo usa el constructor en esta condición no va a lograr darle la forma, acabado y densificación requeridos y la estructura será rechazada, llevándonos a concluir que la "trabajabilidad" o facilidad de uso es un concepto físico que también define otro criterio de vida útil.

Podemos concluir pues que la vida útil del concreto fresco en obra no sólo depende del tiempo y del inicio del proceso químico de endurecimiento definido técnicamente como fraguado inicial, sino que la facilidad y habilidad de empleo en el proceso desde el punto de vista del mezclado, transporte, colocación y compactación, definido técnicamente como "trabajabilidad", es el otro factor condicionante de esta vida útil y ambos deben verificarse simultáneamente para poderla establecer objetivamente.

Pasaremos a desarrollar con mayor detalle estos conceptos a la luz de las normas y sustento científico.



2.0 ESTADO PLÁSTICO

Condición temporal del concreto fresco de duración variable durante la cual el material puede trasladarse, colocarse y compactarse a voluntad sin tener deformaciones permanentes, no resistiéndose a ser deformado al no haberse desarrollado aún la matriz resistente de la pasta de cemento y la rigidez correspondiente. Es el estado en que puede usarse sin problemas durante los procesos constructivos. Su duración depende del diseño de mezcla en particular, de la humedad, temperatura del concreto, temperatura ambiente y del tiempo. Se denomina también periodo latente.

3.0 FRAGUADO INICIAL

Condición temporal del concreto fresco de duración variable que marca el inicio del endurecimiento y del proceso químico de desarrollo de la matriz resistente de la pasta de cemento, en la que se originan deformaciones permanentes si se le aplica energía de desplazamiento (mezclado, vibrado, etc.) constituyendo el fin del estado plástico y de su vida útil durante el proceso constructivo. La norma ASTM C 403 y la nacional equivalente NTP 339.082 estandarizan el fraguado inicial como el tiempo en el cual la fracción de mortero del concreto desarrolla una resistencia a la penetración de 500 lb/plg2 (3.5Mpa) con un pin de 25mm de largo. Su duración depende del diseño de mezcla en particular, de la humedad, temperatura del concreto, temperatura ambiente y del tiempo. Una forma práctica aproximada de estimar si un concreto en obra ya está en esta condición, es verificar el momento en que al insertar un vibrador verticalmente por su peso propio y retirarlo lentamente queda un agujero visible (deformación permanente).

4.0 FRAGUADO FINAL

Condición definitiva del concreto fresco de duración variable que marca el endurecimiento completo y la consolidación de la matriz resistente de la pasta de cemento, donde se requiere gran energía de deformación (impacto, percusión, abrasión, etc.) para alterar la estructura formada. La norma ASTM C 403 y la nacional equivalente NTP 339.082 estandarizan el fraguado inicial como el tiempo en el cual la fracción de mortero del concreto desarrolla una resistencia a la penetración de 4000 lb/plg2 (28.0Mpa) con un pin de 25mm de largo. Depende del diseño de mezcla en particular, de la humedad, temperatura del concreto, temperatura ambiente y del tiempo. En la Tabla Nº 1 se pueden apreciar los rangos de tiempos de fraguado inicial y final en Lima para los periodos de Verano e Invierno en concreto a pie de obra sin aditivos y concreto industrializado o premezclado con aditivos.

5.0 TRABAJABILIDAD

Condición temporal del concreto de duración variable y apreciación relativa que se define como la mayor o menor facilidad para mezclarlo, transportarlo, colocarlo y compactarlo mientras está en estado plástico. No existe un valor estándar de trabajabilidad, definiéndola el proyectista o el constructor en función de la estructura y el proceso constructivo mediante la exigencia de un valor de slump o asentamiento para el concreto en obra, que da una idea de esta condición sin ser totalmente concluyente, ya que antes que una medida de trabajabilidad es un indicador de uniformidad del concreto entre tandas. Depende del diseño de mezcla en particular, de la humedad, temperatura del concreto, temperatura ambiente y del tiempo. No necesariamente la pérdida de slump de un concreto es evidencia de haberse llegado a la condición de fraguado inicial ya que son dos conceptos independientes pero que con frecuencia se confunden erradamente en obra. En la Tabla Nº 2 se pueden apreciar los rangos de pérdida de trabajabilidad en Lima para los periodos de Verano e Invierno en concreto a pie de obra sin aditivos y concreto industrializado o premezclado con aditivos.

	FRAGUADO INICIAL SIN ADITIVOS EN HORAS	FRAGUADO INICIAL CON ADITIVOS EN HORAS	FRAGUADO FINAL SIN ADITIVOS EN HORAS	FRAGUADO FINAL CON ADITIVOS EN HORAS	RANGO DE TEMPERATURA REFERENCIAL
VERANO	02:05	04:00	04:00	05:38	24°C a 28°C
INVIERNO	05:04	06:10	06:57	08:07	17°C a !8°C

Tabla Nº 1 .- Comportamiento Típico del Fraguado de Concreto f´c=210 kg/cm2 en Lima

	PÉRDIDA DE SLUMP SIN ADITIVOS EN PULGADAS/HORA	PÉRDIDA DE SLUMP CON ADITIVOS EN PULGADAS/HORA	TEMPERATURA REFERENCIAL DEL CONCRETO
VERANO	2.7"	1.7"	29°C
INVIERNO	2.3"	1.5"	17°C

Tabla Nº 2 .- Comportamiento Típico de pérdida de slump en Concreto f´c=210 kg/cm2 en Lima

6.0 RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y TRABAJABILIDAD

Todo aquél que tiene conocimientos de Tecnología del Concreto sabe que la Resistencia en compresión depende de la relación Agua/Cemento en peso pero pocos conocen que este parámetro que representa la concentración del pegante tiene una influencia primordial en la trabajabilidad de las mezclas.

En el Gráfico Nº 1 podemos apreciar la curva típica f´c vs Agua/Cemento del Comité ACI 211.1 conocida y empleada internacionalmente para hacer diseños de mezcla, donde hemos resaltado valores significativos que vamos a proceder a comentar a continuación.

En el Gráfico Nº 2 se muestra como se distribuye la estructura de hidratación de la pasta de cemento vs la relación agua/cemento cuando no se usan aditivos, y que permite entender varios aspectos del comportamiento de los morteros y concretos sobre los que normalmente no reflexionamos.

Observamos que en dicha estructura hay cemento hidratado (identificado en color verde oscuro), cemento sin hidratar (color verde claro), agua de hidratación (color azul), agua excedente para lubricación (color celeste) y poros capilares (color blanco).

Si recordamos que el concreto f´c=210 kg/cm2 que es el más usado en nuestro medio, está en el rango de relación Agua/Cemento 0.60 a 0.70, podemos verificar que para los llamados concretos convencionales, A/C> 0.60 (210kg/cm2, 175kg/cm2, 140kg/cm2, 120kg/cm2, 100kg/cm2, etc.), siempre sobra agua para lubricación de la mezcla y ello explica porqué no hay problema en producir estos concretos sin aditivos con asentamientos del orden de 4" pues la estructura de la pasta colabora en esto.

En la medida que requerimos concretos de mayor resistencia y consecuentemente relaciones agua/cemento menores (A/C < 0.60 ' 245kg/cm2, 280kg/cm2, 315kg/cm2, etc.), hallamos que cada vez hay menos agua excedente para lubricación, siendo que para una A/C del orden de 0.42 (350kg/cm2 a 420kg/cm2) ya no existe esta agua.

En términos prácticos, para relaciones A/C ? 0.50 si no se emplean aditivos plastificantes y/o superplastificantes es imposible lograr concretos para obra con la trabajabilidad adecuada pues la estructura de la pasta no permite esto al ya no haber agua excedente para lubricar y plastificar.

En consecuencia, para estos concretos el aditivo plastificante o superplastificante es el que maneja exclusivamente la trabajabilidad y controla su duración. Sólo en casos particulares como es el de concretos especialmente "secos" para pavimentos viales o industriales o al emplear equipos de compactación de alto rendimiento, o porque las estructuras a vaciar están en pendiente, se deben emplear mezclas con relación A/C baja y bajo asentamiento, afrontándose las dificultades inherentes en el manejo de su trabajabilidad pues así lo requiere el proceso constructivo.

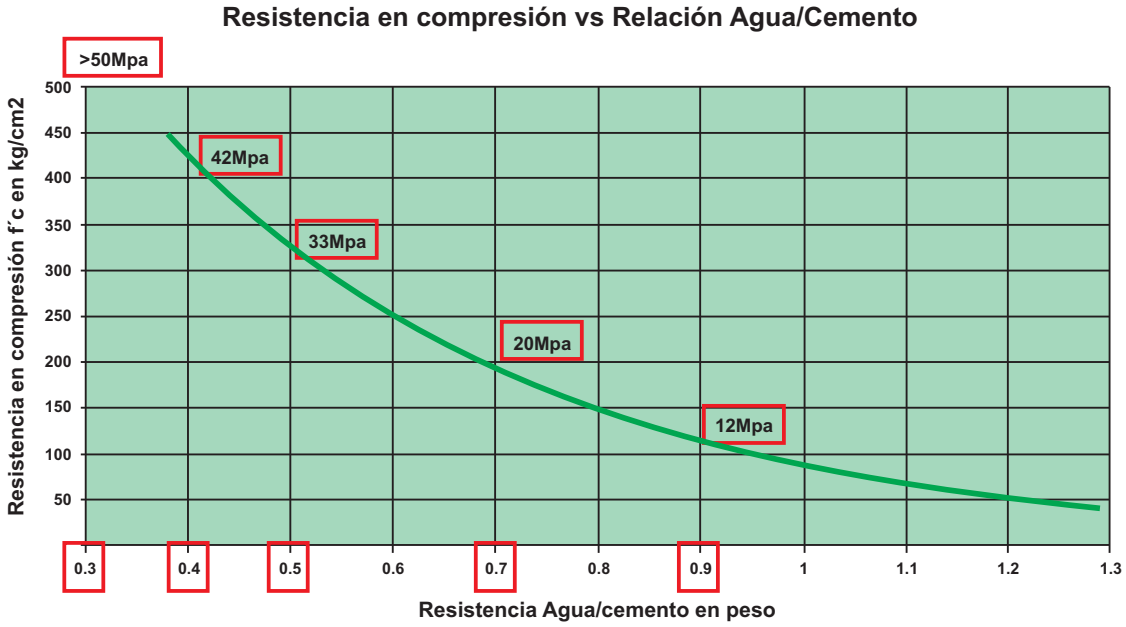


Gráfico Nº 1 .- f´c vs Agua/Cemento Comité ACI 211.1

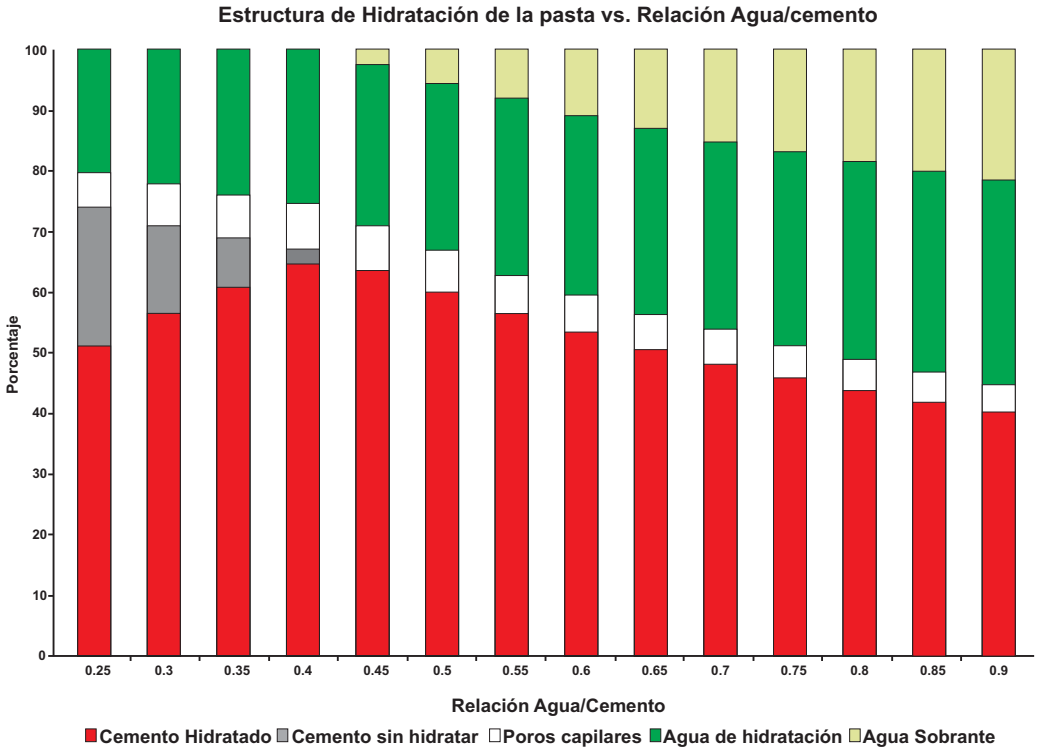


Gráfico Nº 2 .- Estructura de la pasta de cemento hidratada vs Agua/Cemento

7.0 DESENCOFRADO

Etapa del proceso constructivo que consiste en retirar las formas y soportes que sostienen el concreto durante la construcción cuando el material ya ha desarrollado la suficiente resistencia para soportar su peso propio y las cargas resultantes de las etapas siguientes del proceso. El cuando desencofrar no puede establecerse en base a criterios de endurecimiento, fraguado inicial o sólo tiempo, ya que no tienen estandarización directa con la resistencia, debiendo definirlo el proyectista en función de un % del f´c, que debe ser previamente verificado in-situ para cada caso particular, pudiéndose con la estadística suficiente correlacionarlo con un tiempo específico.

El criterio práctico válido para desencofrar los costados de elementos verticales es efectuarlo 8 horas después de verificado el fraguado final, que con las tendencias mostradas en la Tabla Nº 1 representa hacerlo entre las 13 horas a 16 horas de concluido el vaciado (cuando se emplea concreto premezclado con aditivos), razón por la que muchas especificaciones los establecen en un tiempo mínimo de 24 horas conservadoramente.

8.0 TIEMPO DE EMPLEO DEL CONCRETO SEGÚN NORMAS Y ESPECIFICACIONES

El Código ACI 318 y nuestra Norma NTE E.060 establecen que el concreto premezclado debe mezclarse y entregarse de acuerdo con la norma ASTM C 94 y la NTP 339.114, precisando ambas : "No se podrá emplear concreto que tenga más de 11/2 horas mezclándose desde el momento en que los materiales comenzaron a ingresar al tambor mezclador".

En ninguna de las normas mencionadas se hace referencia a fraguado inicial, sino que establecen un tiempo máximo de uso del concreto desde que se mezcló en la planta para garantizar que aún sea trabajable sin necesidad de agregarle agua in-situ.

Efectivamente, si se leen con cuidado los acápites 12.7 de la NTP 339.114 y 11.7 de ASTM C 94, se podrá encontrar lo siguiente: ¨Estas limitaciones pueden ser obviadas por el comprador si el concreto tiene un asentamiento tal que después de 11/2 h o después de que se haya alcanzado el límite de 300 revoluciones, éste puede ser colocado sin la adición de agua a la tanda. En clima cálido o bajo condiciones que contribuyan al rápido endurecimiento del concreto el comprador podrá especificar un tiempo menor de 11/2h".

Abundando aún más, en la publicación especial ASTM STP 169D "Significance of Tests and Properties of Concrete & Concrete - Making Materials" ("Significado de los Ensayos y Propiedades del Concreto y los Materiales para su elaboración") se precisa que este tema está orientado a garantizar trabajabilidad y el control de la adición de agua y no tiene que ver con el fraguado inicial. Esta publicación especializada concluye en lo siguiente : "Las especificaciones ASTM reconocen que muchos de los requerimientos tales como el del tiempo límite de 90 minutos pueden ser obviados por el especificador. Este es el tipo de tema que debería ser discutido en una reunión de coordinación previa al trabajo".

En consecuencia, el definir si se acepta el uso del concreto en obra luego de 90 minutos del inicio del mezclado es potestad absoluta del constructor, que no depende del fraguado inicial sino que éste debe juzgar si



9.0 TIEMPO DE VIDA ÚTIL GARANTIZADO POR LOS PROVEEDORES DE PREMEZCLADO

El tiempo de transporte promedio de un mixer en Lima hasta las obras oscila en promedio entre 30 minutos a 45 minutos, luego, en el caso más crítico con un tiempo de fraguado inicial de 1.5 horas sin el uso de aditivos, el constructor tendría una vida útil antes del fraguado inicial del orden de 45 minutos para el transporte, colocación y compactación del concreto en obra.

El tiempo promedio de espera de los camiones de premezclado en las obras en Lima antes de poder vaciar es del orden 25´ y el tiempo de vaciado neto es del orden de 45´ en promedio.

Por consiguiente, los constructores insumen en las labores que son de su responsabilidad del orden de 70´ en promedio que sumados al promedio de tiempo de transporte nos resulta un total de 115´. El sentido común nos dice que sin el uso de retardador, los constructores deberían desechar a su costo casi todo el concreto que reciben, dado que o ya se produjo el fraguado inicial o se cumplió el límite de 11/2 hora por manejo de trabajabilidad.

Considerando esta realidad, todas las empresas de premezclado en el medio emplean aditivos plastificantes-retardadores en su producción a fin de darle un tiempo de vida útil mayor, tanto en relación al fraguado inicial como al mantenimiento de la trabajabilidad de modo que se reduzca la probabilidad de tener que eliminar concreto.
La mayoría de empresas ha establecido como un estándar de vida útil 2.5 horas empleando aditivos, sin embargo hay que tener en cuenta que este es un tiempo de vida comercial ya que se aprecia en la Tabla Nº 1 que el fraguado inicial en Lima con aditivos demora no menos de 4 horas y en consecuencia en la práctica el problema luego de 2.5 horas es de pérdida de trabajabilidad y no de fraguado inicial.

10 CONCLUSIONES

El tiempo límite de 90 min para el uso del concreto establecido por ACI 318 y la Norma E 060, está referido a su trabajabilidad para emplearlo en el proceso constructivo luego de transcurrido dicho tiempo, dependiendo este criterio exclusivamente de la percepción del constructor y su proceso constructivo.

Ambas normas establecen que dicho límite puede ser obviado por el constructor si considera que el concreto continúa trabajable y puede seguir colocándose sin necesidad de retemplarlo con agua.

Ninguna norma fija un tiempo mínimo o máximo de fraguado inicial para el concreto, ya que depende del diseño de mezcla, temperatura del concreto, temperatura ambiente, humedad y el tiempo, debiendo ser evaluado en lo aplicable para cada caso particular que así lo requiera aplicando la metodología estandarizada por ASTM C 403 y la nacional equivalente NTP 339.082.

La realidad de las condiciones locales en Lima demuestran que el uso de concreto premezclado sin aditivos plastificantes-retardadores ocasionaría que los clientes dispusieran solamente de un tiempo del orden de 30´ a 45´ para la espera del camión y el proceso de vaciado, periodo que en la práctica es superado ampliamente en la mayoría de las obras.

La trabajabilidad de los concretos está influenciada por su relación Agua/Cemento, y a mayor resistencia y menor relación Agua/Cemento, es más trascendente la eficiencia de los aditivos, ya que las mezclas tienden a perder trabajabilidad más rápido, lo que puede afectar sensiblemente el proceso constructivo y producir estructuras con defectos.

Es un error especificar tiempo de desencofrado ya que este es un concepto variable, siendo lo correcto el precisar a que porcentaje del f´c puede efectuarse, lo cual si es medible.

