

I N D I C E

	Pág.
RESUMEN.	229
INTRODUCCION.	231
ENSAYE DE LA FLUIDEZ DEL MORTERO DE INYECCION	231
LA UTILIZACION DE LOS SUPERPLASTIFICANTES EN EL MORTERO DE INYECCION, SU APLICACION EN EL CONCRETO ELABORADO CON AGREGADO PRECOLOCADO Y PROPIEDADES DE SUS RESISTENCIAS.	236
PROPIEDADES DE INYECCION DEL CONCRETO ELABORADO CON AGREGADO PRECOLOCADO DE ALTA RESISTENCIA. DISTRIBUCION DE LAS RESISTENCIAS.	240
CONCLUSION	243
AGRADECIMIENTO	244
REFERENCIAS	245

INTRODUCCION

El método del concreto elaborado con agregado precolocado (Prepacked concrete) no sólo se aplica a la construcción de concreto masivo, y en la reparación de estructuras, sino que también en obras sub-acuáticas importantes: tales como obras submarinas, estructuras portuarias, unión bajo el agua de elementos precolados. Debido a sus características, el concreto elaborado con agregado precolocado viene siendo actualmente utilizado en la práctica en aplicaciones donde se exige un concreto de alta densidad (heavy weight concrete) tal como en los reactores nucleares o bien como protectores de radiaciones.

La característica de este método consiste en inyectar el mortero en el espacio libre entre los agregados gruesos, los cuales son colocados de antemano. Para que sea posible la inyección es condición principal que el mortero tenga una fluidez adecuada. Hasta el momento, en lo referente al método del concreto elaborado con agregado precolocado, para satisfacer con la fluidez necesaria la relación agua-cemento del mortero estaba cerca del 50%. Pero la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregado precolocado que se obtenía a los 28 días, no pasaba de los 300 Kg/cm². Además, durante la inyección (según resultados de ensayos con el método existente), la zona más distante al tubo de inyección presentaba una caída en la superficie de ascenso del mortero. Este fenómeno se debe a la existencia de un gradiente de flujo. La resistencia del concreto disminuía debido a que entre el mortero inyectado y el agua con que se inunda el encofrado se producía un disturbio. Como consecuencia, el no poder elevar la resistencia constituye un motivo de preocupación para realizar el cálculo de estructuras con concreto elaborado con agregado precolocado. Esta limitación se debe: (1) a la restricción de la relación agua-cemento desde el punto de vista de la fluidez y (2) al fenómeno de la disminución de la resistencia por la existencia del gradiente de flujo (1,2). Por lo tanto, ha sido objeto de este trabajo estudiar el mérito de los superplastificantes para el logro de la alta resistencia del concreto elaborado con agregado precolocado. Durante la realización de este trabajo fue comprobado que el método de determinación del flujo (3) mediante el cono de fluidez -"Cuerpo de Ingenieros. Procedimiento de Ensaye CRD-C79-58", no constituye lo más adecuado en el caso de utilizar los superplastificantes. Para solucionar este inconveniente, en los ensayos se utilizaron un dispositivo de medición proyectado y construido por el autor, y el viscosímetro de rotación (Rotation viscometers) tipo Couette. Los resultados de los dos tipos de medición son discutidos y presentados en este trabajo.

2.- ENSAYE DE LA FLUIDEZ DEL MORTERO DE INYECCION.

Como se sabe, en el concreto elaborado con agregado precolocado, la fluidez del mortero se determina por el tiempo de flujo del cono de fluidez (flow cone), es decir, el tiempo que necesita los 1725 ml de mortero en fluir del embudo. Al momento, en construcciones de concreto elaborado con agregado precolocado, el tiempo de flujo que se considera como patrón oscila entre los 16

a 20 segundos. Esto se debe: (1) a la notable segregación de los materiales cuando el tiempo es inferior a los 16 segundos y (2) la dificultad en colmar los espacios entre los agregados cuando el tiempo es superior a los 20 segundos.

Años atrás, al mezclar el plastificante y polvo de aluminio al mortero, el límite del tiempo de flujo medido en el cono de fluidez (flow cone) estaba en los 30 a 40 segundos. Al pasar este tiempo se hacía difícil su medición por quedarse obstruido dentro del cono. Más, al utilizar el superplastificante en el mortero de inyección, su fluidibilidad cambiaba notablemente, siendo posible su medición en el cono de fluidez (flow cone) aún con 60 a 90 segundos de tiempo de flujo. También ha sido factible construir el concreto elaborado con agregado precolocado con este tipo de mortero ya que se ha podido inyectar y llenar los espacios entre los agregados; los cuales han sido colocados previamente dentro del cofrado. A fin de esclarecer estos fenómenos se realizaron los ensayos de fluidez, cuyos resultados son presentados en este capítulo.

Uno de los resultados del ensayo de fluidez se representa en la figura 1. Este ensayo fue realizado con mortero con distintas dosificaciones y medido en el viscosímetro de rotación (Rotación viscometers) tipo Couette. En el eje X (horizontal) se representa la tensión de corte y en el eje Y (vertical) la velocidad de corte. La curva representada es la llamada curva de consistencia e indica la fluidez del mortero. Al considerar a esta curva como "Bingham body", la viscosidad plástica estará dada por la inversa de la pendiente a la curva y la tensión de fluencia por la intersección de la curva con el eje X. Por lo tanto, la viscosidad se hace mayor cuanto menor es la pendiente y la tensión de fluencia se hace mayor cuanto más se traslada a la derecha el punto de intersección de la curva con el eje X. En la figura 1 se puede observar la influencia de la relación agua-cemento en la curva de consistencia y a la vez el grado de influencia del uso del superplastificante. Según se indica en ella, las curvas de consistencia (con distintas relaciones de agua-cemento) varían esencialmente con el empleo de los superplastificantes. Así, en el caso del mortero simple (plain mortar), la variación de la relación agua-cemento parece influir más a la tensión de fluencia que a la pendiente. En cuanto al uso del superplastificante, parece influir más a la pendiente que a la tensión de fluencia. Aunque no se ha incluido en la figura los datos de plastificantes comunes, se sabe que al utilizar el plastificante a base lignina el resultado es similar al del mortero simple.

A partir de la curva de consistencia, se ha tratado de obtener la fluidez del mortero (con diferentes dosificaciones) desde el punto de vista cuantitativo. Y en la figura 2 superior se ha indicado la relación cemento-agua con respecto a la viscosidad cinemática (cociente de dividir la viscosidad plástica por el peso específico) y en la figura 2-inferior la relación cemento-agua con respecto a la tensión de fluencia. Según estas gráficas, se puede concluir que: (1) respecto a la viscosidad cinemática, los morteros con superplastificantes poseen forma aproximadamente similar a los morteros simples, con valores trasladados paralelamente al eje de cemento-agua. Por ejemplo; el valor del mortero simple con relación cemento-agua 1,8 (relación agua-cemento 55%) y el valor del mortero con superplastificante con relación cemento-agua 3,1 (relación agua-cemento 32%) son valores aproximadamente iguales, (2) respecto a la tensión de fluencia, en general

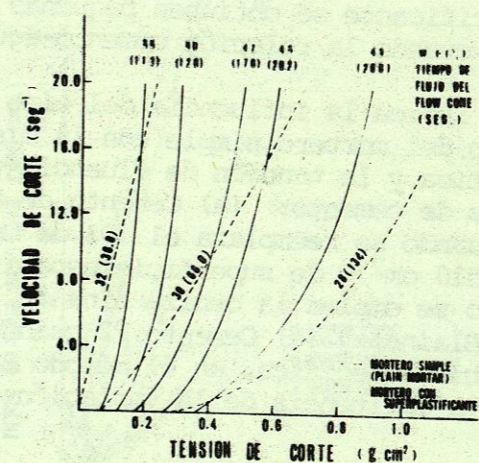


Fig. 1.- Curvas de consistencia con distintas relaciones de agua-cemento. (Ensayo realizado con "Viscosímetros de Rotación" tipo Couette).

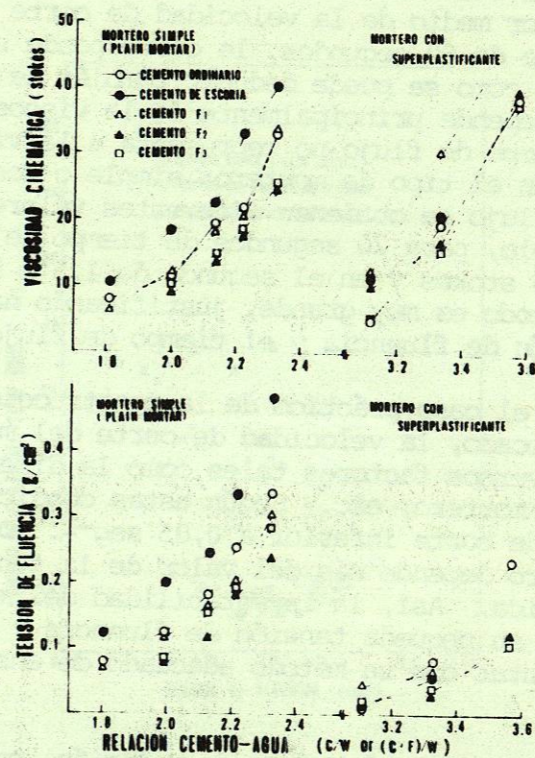


Fig. 2.- Relación entre el "Número Reológico" del mortero de cemento y relación cemento-agua.

ral, con el uso del superplastificante se obtienen pequeñas tensiones de fluencia y ésta se aproxima a cero cuando la relación cemento-agua es inferior a 3,1.

La figura 2 también indica la influencia del tipo de cemento utilizado en el ensaye. Así, en el caso del mortero simple con la misma relación de agua-cemento, la viscosidad cinemática y la tensión de fluencia van decreciendo de acuerdo a los siguientes tipos de cemento: (a) Cemento de alto horno (b) Cemento Portland (c) Cemento F1 (cuando se reemplaza el 30% de Cemento Portland por la ceniza fina (fly ash) de 2510 cm²/g de superficie específica, en el método Blaine) (d) Cemento F3 (cuando se emplea la ceniza fina de 3340 cm²/g de superficie específica, en el método Blaine) y (e) Cemento F2 (cuando se emplea la ceniza fina de 2920 cm²/g de superficie específica, en el método Blaine). Más, al utilizar el superplastificante, la influencia de la variación del tipo de cemento se hace insignificante.

Para definir lo establecido hasta el presente sobre el significado físico de los valores obtenidos en el "cono de fluidez" se representa en la figura 3 y 4 la relación de la viscosidad cinemática y la tensión de fluencia con respecto al tiempo de flujo. Se admite una correlación entre el tiempo de flujo y la viscosidad cinemática, más, el estilo es bien diferente entre el mortero simple y el mortero con superplastificante. En cuanto al tiempo de flujo y la tensión de fluencia no existe correlación alguna. Todo esto se puede explicar de la siguiente forma: En el caso del "cono de fluidez", cuando el tiempo de flujo es de 20 segundos, el valor medio de la velocidad de corte es de 430 seg⁻¹ y aun que el tiempo de flujo sea de 60 segundos, le corresponde una velocidad media de 143 seg⁻¹. Por lo tanto, como se puede deducir también de la curva de consistencia, el tiempo de flujo depende principalmente de la viscosidad cinemática. Más, en valor absoluto, el tiempo de flujo no representa a la viscosidad cinemática, por el hecho de que, según el tipo de mortero: simple o con superplastificante, para un mismo tiempo de flujo se obtienen diferentes valores de la viscosidad cinemática. Así, por ejemplo, para 20 segundos de tiempo de flujo corresponde en el primer caso de 15 a 25 stokes y en el segundo de 1,5 a 5 stokes. La velocidad de corte con este método es muy grande, justificando naturalmente la no correlación entre la tensión de fluencia y el tiempo de flujo.

Ahora bien, en el caso práctico de la construcción del concreto elaborado con agregado precolocado, la velocidad de corte del mortero de inyección estará influenciada por diversos factores tales como la dimensión de los agregados, velocidad de ascenso del mortero, etc. Según estas condiciones, un cálculo aproximado da una velocidad de corte inferior a 0,05 seg⁻¹. Desde este punto de vista, la fluidez del mortero depende más del valor de la tensión de fluencia que de la viscosidad cinemática. Así, la inyectabilidad del mortero con superplastificante estaría dada por su pequeña tensión de fluencia y como consecuencia, surge la conveniencia de contar con un método adecuado de ensaye que permita su medición.

La figura 5 representa el Modelo de medición, proyectado y construido por el autor, a fin de realizar la medición de la fluidez del mortero cuando su velocidad de corte es pequeña. Según este método, el valor medio de la velocidad de corte correspondiente a los 20 segundos del tiempo de flujo es del orden

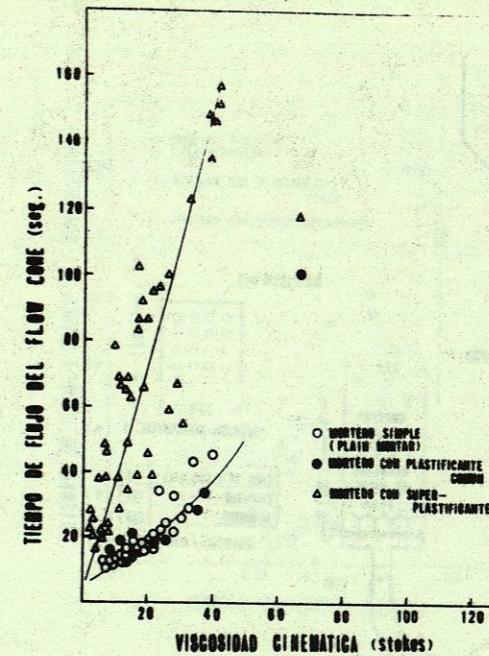


Fig. 3.- Relación entre la viscosidad cinemática y el tiempo de flujo (flow cone)

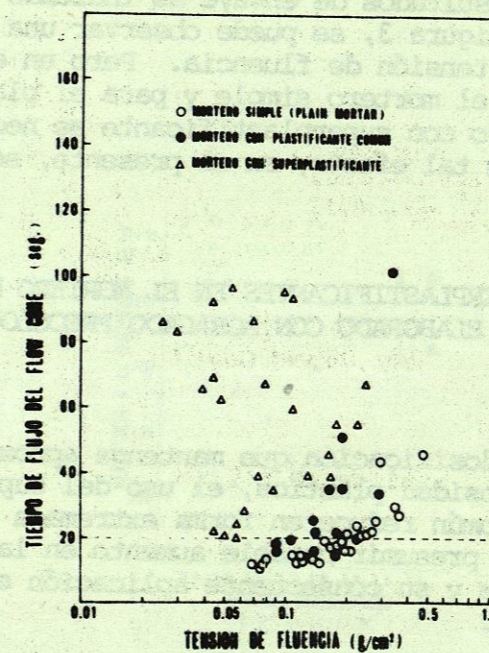


Fig. 4.- Relación entre la tensión de fluencia y el tiempo de flujo (cono de fluencia).