

Influencia de la temperatura de colocación sobre el estado fresco de hormigones elaborados con cemento fillerizado y compuesto

Cast in place temperature's influence on fresh concrete made with limestone filler and blended cement

E. A. SORIA, V. F. RAHHAL

Departamento de Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional del Centro

Fecha de recepción: 12-XII-02

Fecha de aceptación: 17-III-03

ARGENTINA

RESUMEN

Las propiedades de los hormigones en estado fresco desempeñan un papel fundamental durante las operaciones de colocación y compactación de los mismos y de ellas depende, en gran medida, que se alcance en el estado endurecido la resistencia y la durabilidad de diseño. Es sabido, además, que la temperatura que alcanza un hormigón durante dichas operaciones, afecta en mayor o menor grado a todas sus propiedades, de manera diferente.

En el presente trabajo se analizó la influencia de la temperatura de colocación sobre el asentamiento, la pérdida del asentamiento en el tiempo, los tiempos de fraguado y la exudación, en hormigones elaborados con cemento portland normal, fillerizado y compuesto, de procedencia comercial.

Los resultados han mostrado, en general, que con el aumento de la temperatura de colocación disminuyen la exudación y el asentamiento; mientras que la pérdida de asentamiento y los tiempos de fraguado se aceleran. Sin embargo, las magnitudes de dichas variaciones resultan a su vez muy influenciadas por el tipo de cemento utilizado, aun siendo de la misma clase resistente.

SUMMARY

Properties of fresh concrete play a relevant role on placing and consolidation; and its design strength and durability depends on them. It is well known too that the concrete temperature during placing affects all its properties in different ways and extent.

This paper presents the influence of placing temperature of concretes made with portland cement, limestone filler cement and blended cement, commercially available, on slump, slump loss, setting time and bleeding.

The results show that generally when concrete temperature rises, the bleeding and slump fall down and the slump loss and setting time are accelerated. However, regardless of the strength class the type of cement affects the value of these variations.

PALABRAS CLAVE: cemento fillerizado, cemento compuesto, temperatura de colocación, estado fresco, hormigonado en tiempo caluroso.

KEYWORDS: limestone filler cement, blended cement, placing temperature, fresh concrete, hot weather concreting.

1. INTRODUCCIÓN

Durante el hormigonado en tiempo caluroso las temperaturas que suelen alcanzar las mezclas de

1. INTRODUCTION

The increase of mix temperature during hot weather concreting affects the properties of fresh concrete.

hormigón afectan a sus propiedades en estado fresco. Cuando dichas propiedades varían respecto de las especificadas, las operaciones de transporte y colocación pueden dificultarse y, consecuentemente, las propiedades resistentes y de durabilidad del hormigón endurecido, pueden resultar adversamente afectadas. Por este motivo es muy frecuente encontrar en la mayoría de los códigos o recomendaciones un límite para la temperatura del hormigón en el momento de su colocación (1, 2). Muchas veces dichos límites pueden resultar difíciles de practicar, especialmente en regiones con clima caluroso.

En general, son conocidas las consecuencias de un incremento de temperatura sobre las propiedades del hormigón en estado fresco (1, 3, 4). Principalmente resultan afectados el asentamiento, la pérdida de asentamiento, la exudación y el fraguado.

Por un lado se ha observado que manteniendo el asentamiento constante, para un aumento de 15 °C en la temperatura de un hormigón, se requiere incrementar la cantidad de agua en 10 kg/m³ (1). Sin embargo, no se ha registrado una tendencia definida sobre la variación del asentamiento en hormigones con relación agua/cemento constante elaborados y curados a 35, 38, 41 y 44 °C (5).

Por otro lado, la pérdida de asentamiento es una variable muy crítica cuando la planta dosificadora no se encuentra al pie de obra y más aún cuando el hormigonado se realiza en tiempo caluroso. Uno de los recursos más utilizados para salvar este tipo de inconveniente es la incorporación de aditivos. El uso de adiciones minerales también afectan a la pérdida de asentamiento, reduciéndola en unos casos (6) y acelerándola en otros (7). En lo que respecta a la influencia del aumento de la temperatura, se han registrado aumentos en la velocidad de pérdida de asentamiento en hormigones con la misma relación agua/cemento y con un mismo tipo de cemento (7).

La exudación es un fenómeno estrechamente ligado al contenido de finos y de agua en un hormigón, por dicha razón el aumento del contenido de cemento asociado a la disminución de la relación agua/cemento, la disminuyen severamente; sin embargo, se ha observado que la procedencia del mismo no ha mostrado una tendencia definida en cuanto a su grado de afectación (8).

En los últimos años, los cementos utilizados han sufrido notables cambios, especialmente en cuanto a su finura y composición. Además, la creciente utilización de una o más adiciones minerales como reemplazo parcial del cemento portland, plantea la necesidad de prever cómo afecta la temperatura a las propiedades -en principio en estado fresco- de los hormigones elaborados con estos nuevos cementos.

When these properties are different from those specified, transportation and placing can be difficult and then strength and durability of hardened concrete will be adversely affected. For this reason it is common to find limits for the placing temperature of concrete in codes and recommendations (1, 2). Sometimes the application of these limits can result impractical, specially in hot weather regions.

There exists a wide information about the effect of concrete temperature increase on its fresh state properties (1, 3, 4). Slump, the loss slump, the time of setting and bleeding represent the most affected properties.

It has been observed that is necessary to increase the water content in 10 kg/m³ in order to keep constant the slump when an increase of 15 °C occurs in the concrete temperature (1). However, the slump variations in concretes elaborated with a water/cement ratio of 0.50 do not present a definite tendency when they were placed and cured at 35, 38, 41 and 44 °C (5).

On the other hand, the distance between construction and elaboration plant and the higher temperature represent a critical factor over the loss slump. Commonly, this inconvenience is solved using additives. The loss slump is affected in different way by the use of mineral additions (6, 7). In concretes elaborated with equal water/cement ratio and type of cement, it has been found that the increase of temperature produces an augment of the loss slump (7).

Bleeding is closely related to the fine particles and water content, as a consequence higher values of cement content decrease this parameter. However, it has been observed that the bleeding is not affected in a definite way by the cement source (8).

In the last years cements used to make concrete have changed, specially regarding its fineness and composition. Furthermore, due to a growing use of one or more mineral additions as partial replacement of portland cement it became necessary to review the influence of temperature on fresh concrete properties made with these new cements.

2. MATERIALES Y PROGRAMA EXPERIMENTAL

Materiales Para la ejecución de los ensayos se utilizó cemento portland normal (CPN 40), cemento portland fillerizado (CPF 40) y cemento portland compuesto (CPC 40), todos de diferente procedencia comercial (9). El detalle de la composición química y las características físicas de los mismos se muestra en la Tabla 1.

El árido grueso utilizado fue piedra partida granítica con un tamaño máximo de 19 mm y un módulo de finura de 7,63. Como árido fino se empleó una mezcla de arena fina y arena gruesa (50% en peso de cada una). Ambas arenas eran de origen silíceo y el módulo de finura de la mezcla resultó igual a 2,00.

Proporción de las mezclas Con los materiales descritos se elaboraron hormigones con un contenido unitario de material cementíceo de 370 kg/m³, una relación agua/material cementíceo (a/mc) en peso de 0,50 y una relación árido fino/agregado total de 0,41 en peso. Las mezclas se diseñaron con un asentamiento dentro del rango fluido (> 15 cm) medido en pastón de prueba a 20 °C, para obtener un asentamiento no menor a 7,5 cm en condiciones de tiempo caluroso, tal y como se recomienda (1). En ningún caso se utilizaron aditivos.

2. MATERIALS AND EXPERIMENTAL PROGRAM

Materials In the present study a portland cement (CPN 40), a limestone filler portland cement (CPF 40) and a blended portland cement (CPC 40), all commercially available, were used (9). Its chemical composition and physical properties are reported in Table 1.

Coarse aggregate used was a crushed granite stone with a maximum size of 19 mm and a fineness modulus of 7.63. Fine aggregate consisted on a mix of two natural sands (50% by weight of each one). Both sands were siliceous and the resulting fineness modulus was 2.00.

Mixtures Concrete mixtures were formulated with a total cementitious content of 370 kg/m³, a water to cementitious material ratio of 0.50 and a ratio of sand to total aggregate of 0.41 by weight. Mixes were designed to obtain a high slump (>15 cm) in a batch at 20 °C, because it is known that slump loss depends on time and temperature and it is recommended, unless required otherwise, a slump of not less than 7.5 cm when concrete is cast in hot weather conditions (1).

TABLA 1/TABLE 1
Composición química y propiedades físicas de los cementos
Chemical composition and physical properties of cements

Composición química (%) (<i>Chemical composition</i>) (%)	CPN	CPF	CPC	Propiedades físicas (<i>Physical properties</i>)	CPN	CPF	CPC
SiO ₂	21.38	21.17	20.84	Densidad relativa (<i>Relative density</i>)	3.15	3.08	3.03
Al ₂ O ₃	3.77	3.65	3.99	Relación agua/cemento (en peso). Pasta de consistencia normal (<i>Water/cement ratio</i> (in weigh). <i>Consistence of</i> <i>standard paste</i>)	0.24	0.25	0.23
Fe ₂ O ₃	4.84	3.47	4.09				
CaO	61.71	63.21	59.52	T _{fraguado inic.} / <i>T_{initial set}</i> (h:min.)	3:50	3:45	3:00
MgO	1.29	0.65	1.79	T _{fraguado final} / <i>T_{final set}</i> (h:min.)	6:45	6:45	7:30
SO ₃	1.95	3.76	1.93	Finura Blaine (<i>Blaine Fineness</i>) (m ² /kg)	348	309	384
K ₂ O	0.84	1.10	0.74	Retenido tamiz 75 µm (%) (<i>Retained sieve 75 µm</i>) (%)	1.70	2.30	2.00
Na ₂ O	0.12	0.11	0.09	Retenido tamiz 45 µm (%) (<i>Retained sieve 45 µm</i>) (%)	15.10	15.60	12.70
Pérdida por calcinación (<i>Loss on ignition</i>)	3.17	2.20	6.58				

Todos los hormigones elaborados presentaron una resistencia media a compresión a 28 días superior a los 32 MPa (Serie N 32,0 MPa, Serie F 37,6 MPa y Serie C 32,0 MPa). Dicha resistencia se obtuvo sobre probetas cilíndricas de 100 x 200 mm moldeadas a 20 °C. El curado de las probetas fue 24 horas en el molde y luego se sumergieron en agua saturada con cal hasta la edad de ensayo.

Metodología Para evaluar el efecto de la temperatura sobre las propiedades de las diferentes mezclas en estado fresco, se seleccionaron tres temperaturas de colocación del hormigón: 30 °C, que es el límite que permite el reglamento argentino (2), una inferior, de 20 °C y una superior, de 40 °C. En todos los casos, la temperatura del ambiente fue la misma que la del hormigón.

La denominación de las diferentes mezclas quedó definida por una letra que representa el tipo de cemento con el que se elaboró cada serie de hormigón y por un número que representa la temperatura de colocación de dicha muestra; así, por ejemplo, la Serie N 20 representa la mezcla de hormigón elaborado con cemento portland normal a la temperatura de 20 °C. Los ensayos que se realizaron a cada una de las series fueron los siguientes:

Temperatura y asentamiento inicial Una vez finalizado el mezclado de cada pastón, se determinó la temperatura a la salida de hormigonera y el asentamiento inicial, de acuerdo a las Normas ASTM C 1064 e IRAM 1536 (ASTM C 143) respectivamente. La determinación de la temperatura del pastón se realizó para verificar que se encontraba dentro del rango de ± 3 °C con respecto a la temperatura de referencia. El asentamiento inicial se midió siempre antes de que transcurrieran 10 minutos desde que el agua tomó contacto con el cemento.

Pérdida de asentamiento con el tiempo La variación del asentamiento de cada mezcla con el tiempo para cada una de las temperaturas de referencia, se determinó por medio de la medición del asentamiento con el cono de Abrams, a intervalos de 20 minutos, hasta que éste resultase inferior a 7,5 cm.

Exudación Para realizar este ensayo se siguieron los lineamientos generales de la Norma IRAM 1604 (ASTM C 232), manteniendo la temperatura de cada una de las mezclas dentro del entorno de variación de ± 3 °C con respecto a la temperatura de referencia. El ensayo se prolongó durante las tres primeras horas posteriores a la colocación del hormigón.

Tiempo de fraguado Se determinó el tiempo de fraguado de cada una de las muestras de acuerdo a la

Media compressive strength at 28 days was higher than 32 MPa for all concretes (32.0, 37.6, and 32.0 MPa for Serie N, Serie F, and Serie C, respectively). Strength was obtained in 100 x 200 mm cylinders cast at 20 °C. After casting, molds were stored in laboratory environment for 24 hours and then, specimens were immersed in water saturated with lime until the test age.

Test procedure *Three concrete temperatures were chosen to evaluate its effect on fresh concrete properties: 30 °C, temperature limit specified in the Argentine code (2), a lower value of 20 °C and an upper value of 40 °C.*

Each sample was identified with a letter representing type of cement used and a number representing the casting temperature, thus for example N 20 represents a concrete made with portland cement (CPN 40) and at a temperature of 20 °C. Tests performed for each one of the mixes were the following:

Temperature and initial slump *Once mixing had finished, temperature and initial slump were measured in accordance with ASTM C 1064 and IRAM 1536 (ASTM C 143). Concrete temperature was determined to verify that it was in a range of ± 3 °C with regard to the reference temperature. Initial slump was always measured before 10 minutes had passed since water came into contact with cement.*

Slump loss *The modification of the slump of each Serie, as a function of time and for the reference temperatures, was measured with Abram's cone test every 20 minutes, to be less than 7.5 cm.*

Bleeding *In order to perform these tests guidelines of the standard IRAM 1604 (ASTM C 232) were observed, maintaining mix temperature in a range of ± 3 °C with regard to the reference temperature. Duration of test was 3 hours after the concrete was placed into the container.*

Time of setting *Time of setting of each sample was determined in accordance*

Norma IRAM 1662 (ASTM C 403). Las determinaciones se realizaron a las temperaturas de referencia: 20, 30 y 40 °C.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Asentamiento inicial En la Tabla 2 se presenta el asentamiento inicial de cada una de las muestras. Puede observarse que éste se mantuvo en 17 ± 2 cm para todas las mezclas estudiadas, lo que, en la práctica, resulta ser el mismo. No obstante se observa una leve tendencia a la disminución del asentamiento con el aumento de la temperatura, la cual puede atribuirse a que todos los ensayos de asentamiento inicial se realizaron dentro de los 10 minutos de mezclada el agua con el cemento, y por lo tanto, si bien a mayor temperatura de la mezcla las reacciones de hidratación del cemento se ven aceleradas, a muy corto plazo este fenómeno es menos perceptible, como queda demostrado en el apartado siguiente de pérdida de asentamiento con el tiempo.

Las discrepancias encontradas entre los resultados obtenidos y algunos datos aportados por la bibliografía (1) pueden deberse precisamente a que, en este caso, se midió el asentamiento inicial dentro de los 10 minutos desde que el agua tomó contacto con el cemento; mientras que la norma ASTM C 172 permite un tiempo máximo para la toma de la muestra de 15 minutos, más 5 minutos para realizar el ensayo, a lo que se debe sumar el tiempo de mezclado. La suma de estos tiempos tienen una incidencia más significativa sobre el asentamiento inicial a medida que la temperatura de la mezcla aumenta (10).

Pérdida de Asentamiento con el tiempo En la Figura 1 se presentan los resultados obtenidos para las diferentes series. En ella, la pérdida de asentamiento está referida al asentamiento inicial de cada una. Teniendo en cuenta que el asentamiento inicial de todas las muestras ensayadas se mantuvo dentro del rango de 17 ± 2 cm, una pérdida de asentamiento del 50% daría hormigones con un asentamiento remanente del orden de $8,5 \pm 1$ cm, que representa un valor de asentamiento recomendado para el hormigón al momento de su

with IRAM 1662 (ASTM C 403). Tests were performed at reference temperatures of 20, 30, and 40 °C.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Initial slump Initial slump of each sample is reported in Table 2. It can be observed that initial slump was 17 ± 2 cm for all samples studied, but there is a decreasing tendency of slump when concrete temperature increases. However, initial slump can be considered equivalent from a practical point of view. This behavior can be attributed to the fact that tests were performed before 10 minutes had passed since water came into contact with cement and consequently, even though hydration of cement is accelerated due to an increase in concrete temperature, for short periods this phenomenon is less noticeable.

The differences between these results and bibliographic data (1) can be attributed to the fact that in this work the initial slump was measured before 10 minutes had passed since water came into contact with cement, while ASTM C 172 permits up to 15 minutes to take the sample and 5 minutes to do the slump test, in addition to mixing time. Summa of these periods have a significant effect over initial slump at high temperatures (10).

Slump loss Figure 1 presents the results obtained for the different cement types used. The slump loss is plotted as a percentage of initial slump. Taking into account that initial slump of all samples was in the range of 17 ± 2 cm, a slump loss of 50% gives concretes with a resulting slump of 8.5 ± 1 cm, representing a recommended slump for hot weather

TABLA 2/TABLE 2
Asentamiento inicial
Initial slump

Temperatura (Temperature (°C))	Asentamiento inicial (cm)/Initial slump (cm)		
	Serie N	Serie F	Serie C
20	19.0	19.0	19.0
30	18.0	17.0	18.0
40	16.0	16.0	18.0

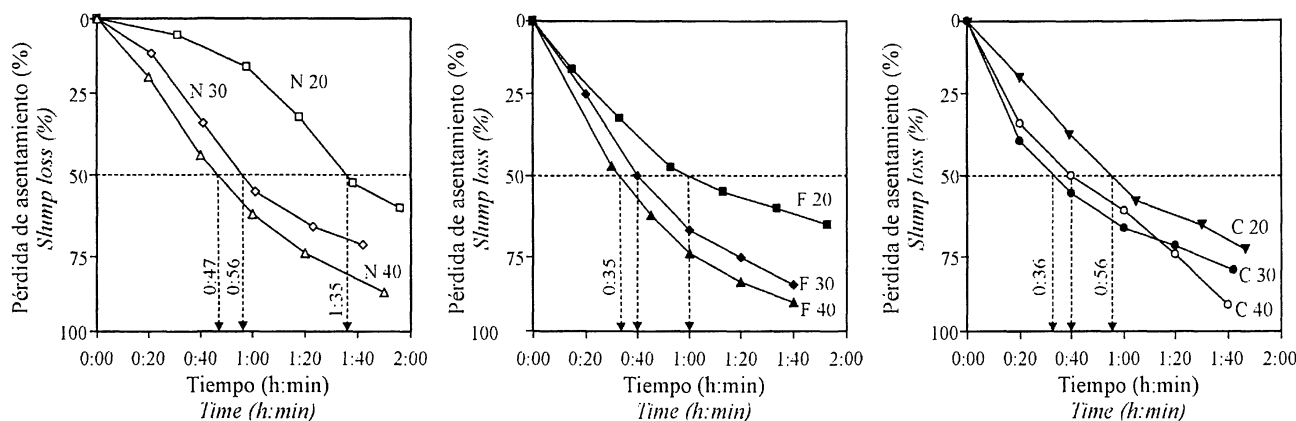


Figura 1.- Pérdida de Asentamiento con el tiempo y la temperatura. (a) Serie N, (b) Serie F y (c) Serie C

Figure 1.- Loss of slump as a function time and temperature. (a) Serie N, (b) Serie F and (c) Serie C.

colocación en tiempo caluroso (1). Por esta razón, en este trabajo se determinó el tiempo en el que cada una de las muestras alcanzó el 50% de su asentamiento inicial, como un parámetro para evaluar el comportamiento de las distintas series frente a los cambios en la temperatura de colocación.

De la Figura 1 se desprende que los hormigones elaborados con el cemento CPN son los que presentan un mejor comportamiento, pues para cualquiera de las temperaturas analizadas, pierden su asentamiento más lentamente que los hormigones elaborados con los cementos CPF y CPC.

Los hormigones de las series N y F presentaron un comportamiento similar, frente a los cambios de temperatura. Se pudo observar en ambas series que a mayor temperatura de la mezcla, mayor velocidad de pérdida de asentamiento. Sin embargo la mayor velocidad de pérdida de asentamiento de la serie F podría haberse debido, fundamentalmente, a la aceleración de las reacciones de hidratación provocada por el efecto filler (11).

En la Tabla 3 se resumen todos los valores obtenidos en donde cada mezcla alcanzó el 50% de su asentamiento inicial. Se observa que a 20 °C existen variaciones apreciables en las velocidades de pérdida de asentamiento entre las series; sin embargo, a 40 °C dichas variaciones han resultado notablemente atenuadas.

Exudación Se define como velocidad de exudación, al volumen de agua recogido por centímetro cuadrado por segundo durante los primeros 40 minutos del ensayo (ml/cm²/s), y como capacidad de exudación, a la relación porcentual entre la cantidad total de agua exudada en un tiempo de 3 horas y la cantidad de agua

concreting (1). Because of that, in this work the time at each sample reaches 50% of initial slump was determined as a measure of its performance when temperature of placing changes.

Figure 1 shows that Serie N has a better behavior than Series F and C at all temperatures analyzed, because its slump loss is more slow.

Serie N and F present a similar behavior when temperature changes. It can be observed that slump loss increases for both Series when concrete temperature increases. However Serie F had a greater slump loss than Serie N, fundamentally because filler effect accelerates hydration reactions (11).

The time to reach 50% of initial slump for each mix is reported in Table 3. When temperature is higher than 30 °C the behaviour of all concretes was similar, but at 20 °C the Series had remarkable differences in the slump loss rate, however to 40 °C the differences were reduced.

Bleeding Figure 2 shows bleeding curves for all concretes studied, where bleeding water is expressed as a percentage of the initial water content of the concrete sample. Tests were stopped after 3 hours in accordance with IRAM 1604. Bleeding rate is defined as the

TABLA 3/TABLE 3
 Tiempo en alcanzar el 50%. Asentamiento inicial.
 (Time to obtained 50%. Initial slump)

Temperatura (°C) Temperature (°C)	Tiempo/Time (h: min)		
	Serie N	Serie F	Serie C
20	1:35	1:00	0:56
30	0:56	0:40	0:36
40	0:47	0:35	0:40

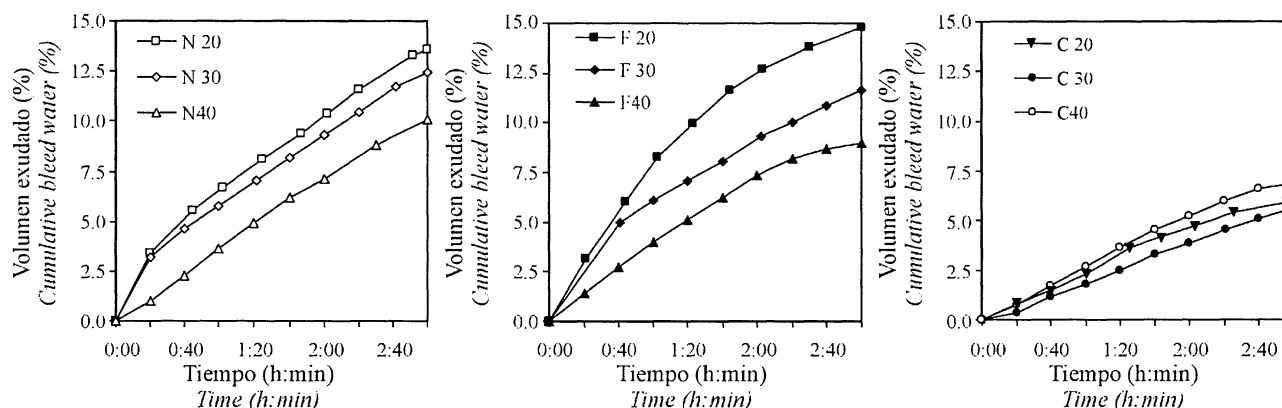


Figura 2 – Exudación del hormigón a diferentes temperaturas de colocación. (a) Serie N, (b) Serie F y (c) Serie C.

Figure 2.- Bleeding of concrete to different casting temperatures. (a) Serie N, (b) Serie F and (c) Serie C.

TABLA 4/TABLE 4
 Velocidad y capacidad de exudación
 Rate and capacity bleeding

Temperatura Temperature (°C)	Velocidad de exudación (Bleeding rate) (ml/cm ² /s)* 10 ⁻⁶			Capacidad de exudación (Bleeding capacity) (%)		
	Serie N	Serie F	Serie C	Serie N	Serie F	Serie C
20 °C	109	114	33	13.5	14.8	6.0
30 °C	97	108	27	12.4	11.6	5.6
40 °C	51	58	36	10.1	9.0	6.9

total de la muestra, medida a partir del momento en que se terminó de llenar el molde. La Figura 2 muestra las curvas de exudación obtenidas para los diferentes hormigones estudiados, en las mismas se expresa el volumen de agua exudado como porcentaje del agua inicial de cada muestra. Los ensayos se finalizaron a una edad de tres horas, tal y como lo especifica la Norma IRAM 1604. La Tabla 4 presenta los valores de velocidad y de capacidad de exudación obtenidos para todas las series estudiadas.

volume of water collected expressed in ml. per sq. cm of exposed surface per second during the first 40 minutes of test (ml/cm²/s), and bleeding capacity is defined as the ratio between total amount of bleed water after 3 hours and initial water content of the concrete sample, measured after concrete was placed into the container (%). Results of bleeding rate and bleeding capacity for all Series are summarized in Table 4.

Se observa que las series N y F presentan un comportamiento similar, ambas tienen una gran capacidad de exudación a 20 °C y con el aumento de la temperatura este parámetro disminuye; también se observa una disminución de la velocidad de exudación con el incremento de la temperatura. La pérdida de la capacidad de exudación con el aumento de la temperatura es diferente según sea el tipo de cemento. La Serie F presenta una mayor pérdida de capacidad de exudación. Esto pudo deberse, fundamentalmente, a que a mayor temperatura de colocación del hormigón, la velocidad con que se producen las reacciones de hidratación se aceleran, dejando en consecuencia menor cantidad de agua para exudar, afectando también a los tiempos de fraguado, como se podrá apreciar a continuación. La velocidad de exudación también disminuye a medida que aumenta la temperatura de colocación. En la Tabla 4 se observa que dicha disminución en ambos casos, es del orden del 50% cuando la temperatura de la muestra pasa de 20 a 40 °C.

En cuanto a la Serie C, se puede ver en primer término que presenta una capacidad de exudación mucho menor que las otras series (entre 5,6 y 6,9%), lo cual se debe, fundamentalmente, a la mayor finura del cemento CPC 40. A efectos prácticos se puede decir que no resultó afectada por el aumento de la temperatura entre los rangos estudiados. La velocidad de exudación de esta serie tampoco resultó afectada por el aumento de la temperatura ya que los valores obtenidos estuvieron comprendidos entre 27 y 36 x 10⁻⁶ ml/cm²/s.

Tiempo de fraguado La Figura 3 y la Tabla 5 resumen los resultados obtenidos para los tiempos de fraguado de cada una de las series analizadas. En ellas se observa un comportamiento similar de todas las series frente al aumento de la temperatura, en el sentido de que al aumentar la temperatura de colocación, los tiempos de fraguado disminuyen.

It can be seen that Series N and F had a similar behavior, because they have a high bleeding capacity at 20 °C and this parameter is reduced as temperature increases, as well as bleeding velocity. It can be observed that series had different rates of bleeding capacity loss when temperature was increased. Serie F had a greater decrease in bleeding capacity. This could be due to the fact that when placing temperature increases, the rate of hydration of cement is accelerated and consequently there is less water to bleed. Bleeding rate also decreases when placing temperature increases. Table 4 shows that in both Series this reduction is close to 50% when temperature passes from 20 to 40 °C.

On the other hand Serie C shows a much smaller bleeding capacity than the other series (between 5.6 and 6.9%) and from a practical point of view it is not affected by an increase of temperature, among the range analyzed. Bleeding rate of this serie was neither affected by an increase of placing temperature (bleeding rate was between 27 and 36 x 10⁻⁶ ml/cm²/s)

Time of setting *Figure 3 and Table 5 summarize the times of setting obtained for all Series studied. It can be seen that all Series had a similar behavior when temperature increases. When temperature increases, the time of setting decreases.*

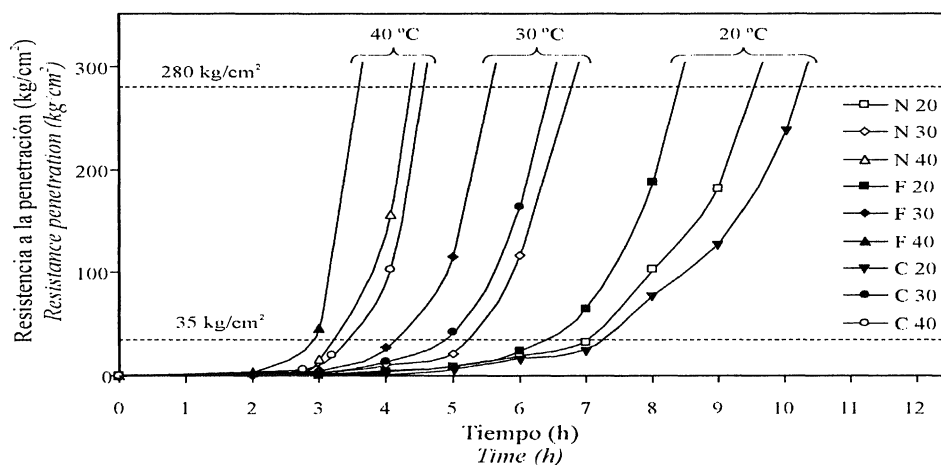


Figura 3.- Tiempo de Fraguado de los hormigones a las diferentes temperaturas de colocación (Series N, F y C).

Figure 3.- Set Time of Concretes to different casting temperatures (Series N, F and C).

TABLA 5/TABLE 5
Tiempo inicial y final de fraguado
Initial and final setting times (h.min)

Temperatura (Temperature) (°C)	Serie N		Serie F		Serie C	
	T _{inic.} / T _{init.}	T _{final} / T _{final}	T _{inic.} / T _{init.}	T _{final} / T _{final}	T _{inic.} / T _{init.}	T _{final} / T _{final}
20 °C	7:02	9:30	6:25	8:25	7:15	10:10
30 °C	5:10	6:50	4:10	5:30	4:55	6:30
40 °C	3:12	4:25	2:55	3:40	3:25	4:35

La magnitud del cambio en el tiempo de fraguado inicial es el mismo para todas las muestras estudiadas cuando se pasa de 20 a 40 °C (entre 210 y 230 minutos), aunque no ocurre lo mismo cuando se analiza el tiempo final de fraguado; en este caso, al pasar de 20 a 40 °C, se observa que el hormigón de la Serie C resultó más afectado pues presentó una disminución de 335 minutos, frente a las Series N y F que presentaron disminuciones de 305 y 285 minutos respectivamente. Las curvas de fraguado representadas muestran una pendiente cada vez mayor a medida que se incrementa la temperatura.

Por otra parte, también se puede observar que un incremento de solo 10 °C en la temperatura de cualquiera de las mezclas estudiadas produce que el hormigón «más caliente» alcance su final de fraguado antes que el hormigón «más frío» haya alcanzado el inicio de fraguado.

Todo lo expuesto anteriormente plantea la necesidad de estudiar las mezclas a las temperaturas que se prevé van a ser colocadas en obra, con el objeto de poder acotar y optimizar perfectamente los tiempos de transporte y colocación.

4. CONCLUSIONES

El diseño de una mezcla de hormigón involucra un número de variables que pueden afectar, en mayor o menor medida, el comportamiento de la misma en estado fresco y, en consecuencia, en estado endurecido. La temperatura a la que será colocada la mezcla, no debe considerarse un tema menor, pues, de acuerdo a las propiedades del estado fresco analizadas en este trabajo, se ha podido concluir que:

– El valor obtenido de asentamiento inicial en este trabajo se vio afectado muy levemente por la temperatura de colocación de la muestra. Sin embargo, la pérdida de asentamiento en el tiempo resultó fuertemente influenciada por el aumento de la temperatura de las mezclas.

The change on initial time of setting have the same magnitude for all Series when temperature of concrete passes from 20 to 40 °C (the change is about 210 to 230 minutes). Final time of setting do not show the same behavior as initial time. In this case when temperature increased from 20 to 40 °C concrete of Serie C was the most affected, presenting a final setting time decrease of 335 minutes while Serie N had a decrease of 305 minutes and Serie F had a decrease of 285 minutes. It can be observed in Figure 3, because setting curves have a more pronounced slope when mix temperature increases.

Additionally, it can be notice that an increase of just 10 °C in the temperature of any of these Series induces the “hotter” concrete to reach its final time of setting before the “colder” concrete has reached its initial time of setting.

All the facts above described show that it is necessary to study mixes at the placing temperature expected in the construction site as a mean to select transportation and placing times.

4. CONCLUSIONS

Mix design of concrete involves a number of variables that can affect its performance on fresh state and consequently on hardened state. Temperature of the mix should not be considered a negligible topic, because from the results obtained for fresh state properties analyzed here, it is possible to conclude that:

– Initial slump of concrete in this work was very lightly affected by concrete temperature while slump loss was strongly influenced by the increase in mix temperature.

– La medida de asentamiento esta fuertemente influenciada por el momento en que se realiza esta medición, especialmente a medida que la temperatura de la mezcla aumenta.

– El tipo de cemento utilizado afectó notablemente la pérdida de asentamiento de las mezclas colocadas a 20 °C; el mejor comportamiento lo presentó el CPN, seguido por el CPF y luego por el CPC. Al aumentar la temperatura de las mezclas, la influencia del tipo de cemento utilizado se redujo.

– La velocidad y la capacidad de exudación en general disminuyeron con un aumento de la temperatura de cada mezcla, hecho que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar un hormigón con posibles riesgos de fisuración por contracción plástica.

– El tiempo de fraguado del hormigón, a temperaturas de alrededor de 40 °C, depende en mayor medida de la temperatura que del tipo de cemento utilizado en su elaboración.

– *The slump test is strongly influenced by the time at which the test is performed, specially when mix temperature increases.*

– *Cement type strongly affect slump loss of concrete at 20 °C, the best behavior was presented by Serie N, followed by Serie F and then by Serie C. When temperature increased, the influence of cement type was attenuated.*

– *Bleeding rate and bleeding capacity generally decreased when mix temperature increased. It must be take into account when a concrete is designed and exists risk of plastic shrinkage cracking.*

– *Time of setting of concrete at temperatures close to 40 °C is more dependent on the temperature than on cement type.*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ACI Committee 305, Hot weather concreting. ACI Materials Journal, Vol. 88 n° 4 (1991), pp. 417-436.
- (2) Reglamento CIRSOC 201. Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. Tomos 1 y 2, Ed. INTI, Argenitna, 1982.
- (3) A. Neville. Tecnología del concreto. Tomo I. Ed. Limusa, México, 1981.
- (4) P. K. Metha y P.J.M. Monteiro. Concrete structure. properties and materials. Ed. Prentice Hall, Estados Unidos, 1993.
- (5) H. J. Al-Gahtani, A.-G. F. Abbasi y O.A.B. Al-Amoudi, Concrete Mixture Design for Hot Weather: Experimental and Statistical Analyses. Magazine of Concrete Research. Vol. 50 n° 2 (1998), pp. 95-105.
- (6) D. Ravina y I. Soroka, Research on Concrete in Hot Environments at the National Building Research Institute, Haifa, Israel. ACI Special Publication, Vol. 139 n° 7 (1993), pp. 107-129.
- (7) R. Rivera. Effect of Temperature on the Properties of Mortars and Superplasticized Concrete Containing Low-Calcium Fly Ash. ACI Special Publication. Vol. 91 n° 9 (1986), pp. 219-230.
- (8) P. J. Wainwright y H. Ait-Aider, The Influence of Cement Source and Slag Additions on the Bleeding of Concrete. Cement and Concrete Research. Vol. 25 n° 7 (1995), pp. 1445-1456.
- (9) Norma IRAM 50.000. Cemento. Cemento para uso general. Ed. IRAM. Argentina, 2000.
- (10) J. M. Scalón. Concrete Problems Associated with Hot Climates. ACI Special Publication Vol. 139 n° 8 (1993), pp. 131-141.
- (11) V. Bonavetti, V. Rahhal, O. Cabrera, E. Irassar. Seminario – Cementos con Filler Calcareo. Ed. FIO-UNICEN, Argentina (1995).

* * *