

ESTUDIO REOMÉTRICO DE LA REVERSIBILIDAD Y LOS TIEMPOS DE FRAGUADO EN CEMENTOS PORTLAND Y PUZOLÁNICOS

RHEOMETRIC STUDY OF REVERSIBILITY AND SETTING TIMES OF PORTLAND AND POZZOLAN CEMENT

¹Lenin Abatta, ²Christian Narváez, ³Luis Carrión, ⁴Reinaldo Delgado, ⁵Alexander Ibarra

¹⁻²⁻³⁻⁴⁻⁵ Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Sangolquí

E-mails: ¹lrabatta@espe.edu.ec , ²cpnarvaez1@espe.edu.ec , ³lmcarrion1@espe.edu.ec , ⁴rrdelgado1@espe.edu.ec , ⁵oaibarra@espe.edu.ec.

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.3 (13)

RESUMEN

Considerar el hormigón fresco como un fluido no newtoniano es una manera muy útil de conseguir avances en el campo de la ingeniería. El presente artículo presenta una comparación, utilizando métodos reométricos, de la reversibilidad y el tiempo de fraguado de un cemento Portland español y un cemento Pozolánico ecuatoriano Lafarge. Los resultados apuntan a una diferencia en los tiempos de fraguado.

Palabras Clave: Hormigón, fluido no newtoniano, reología, cemento.

ABSTRACT

Consider the fresh concrete as a non-Newtonian fluid is a useful way to make progress in the field of engineering. This article presents a comparison, using rheometric methods of reversibility and the setting times, of a Spanish Portland cement and Lafarge pozzolan cement from Ecuador. The results show a difference in the setting times.

Keywords: concrete, non-Newtonian fluid, rheology, cement.

1. INTRODUCCIÓN

Está bien establecido que el concreto es el material más comúnmente utilizado en la construcción. Existe una gran variedad de cementos que forman parte de la formulación del concreto. Entre ellos, están los Portland y los Puzolánicos. Estos tipos de cementos se diferencian porque estos últimos contienen polvo de piedra pómez (PPP), que es un material natural que proviene de las erupciones volcánicas.

En Ecuador existe una gran cantidad de este material debido a la actividad volcánica durante los últimos 3000 años. Cítese como ejemplo la actividad volcánica frecuente del Tungurahua. Consecuentemente es una buena estrategia aumentar la cantidad de PPP en la composición del cemento ecuatoriano manteniendo sus propiedades mecánicas, contribuyendo a generar cemento de bajo costo [3], reduciendo el impacto medioambiental.

Se ha demostrado que la presencia de PPP inhibe la corrosión de las barras de refuerzo de acero embebidas debido a la mayor densificación de la matriz de pasta de cemento por la acción puzolánica en las mezclas de hormigón PPP [4].

El rendimiento óptimo en las estructuras de hormigón requiere de una colocación cuidadosa y buena consolidación del hormigón fresco. En el estado fresco el comportamiento mecánico del hormigón se determina mediante el uso de métodos reométricos.

Considerar el hormigón fresco como un fluido no newtoniano es una manera muy útil de conseguir avances en el campo de la ingeniería civil [1] [2] [4].

En consecuencia, como un primer paso en el estudio de la reología de hormigón PPP se ha estudiado el comportamiento reológico de pastas de cemento / PPP frescas.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Para este estudio se utilizó el cemento Armaduro de Lafarge Cementos S.A., Ecuador, según la Norma INEN 490, cuya composición química y propiedades físicas de la PPP se muestran en la Tabla 1, y un cemento II/AV 42.5R Portland de fabricación española que se muestra en la Tabla 2. En el procedimiento se utilizó agua destilada para preparar las pastas de cemento. Al menos tres muestras de la misma mezcla se ensayaron con el fin de obtener resultados reproducibles. El protocolo de mezcla consistía en añadir el agua en el polvo de cemento y mezclar durante 300s a 75 rpm con un mezclador RZR 2102 (Heidolph Instruments, Alemania).

Se utilizó un reómetro DHR (TA Instruments, EE.UU.) para recopilar los datos reológicos. Este dispositivo está equipado con una placa Peltier para el control de la temperatura. Cada experimento se realizó sobre una muestra nueva a $25,00 \pm 0,05$ °C. Se utilizó geometría placa-placa (25 mm de diámetro y 1 mm de espesor de muestra).

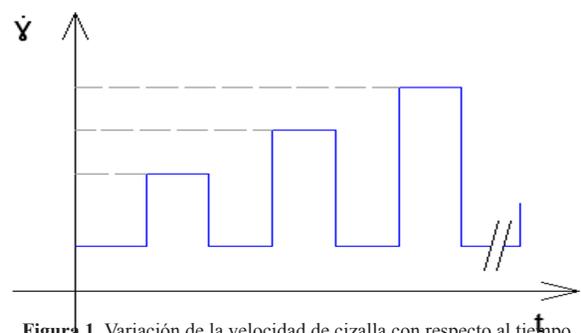


Figura 1. Variación de la velocidad de cizalla con respecto al tiempo.

El procedimiento de toma de datos para comparar la reversibilidad entre los dos tipos de cementos es el mostrado en la Figura 1.

El procedimiento de toma de datos para comparar el tiempo de fraguado consiste en aplicar una cizalla continua, tal como se muestra en la Figura 2.

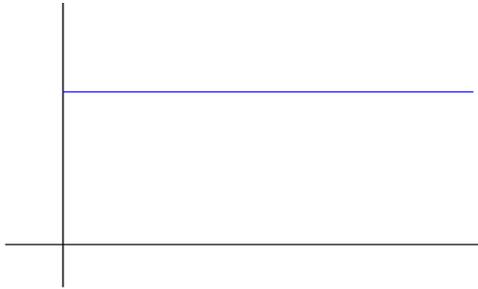


Figura 2. Cizalla continua con respecto al tiempo.

Con este procedimiento se determina el tiempo necesario para que la pasta de cemento empiece a fraguar mediante la observación de la variación de la viscosidad con respecto al tiempo.

Debido a la evolución química justo después del contacto entre el cemento y el agua, es necesario desarrollar un protocolo experimental adecuado que minimiza el impacto de la hidratación en el comportamiento reológico de los materiales.

Tabla 1. Características del cemento puzolánico Lafarge Armaduro.

	Composición química	
	Piedra	Pómez
	%	
Silica (SiO ₂)	64.6	
Alúmina (Al ₂ O ₃)	15.3	
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	3.4	
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	83.3	(min ASTM 618 70%)
Óxido de calcio (CaO)	8.3	
Magnesia (MgO)	1.6	

Trióxido de azufre (SO ₃)	0.0	
Óxido sódico (Na ₂ O)	3.1	
Óxido potásico (K ₂ O)	1.4	
Óxido de titanio (TiO ₂)	0.4	
Pérdida por ignición	1.5	(máx. ASTM 618 10%)
Propiedades físicas		
Densidad, kg/m ³	787*	---

Tabla 2. Características del cemento Portland II/AV 42.5R

Composición química		
%		
Silica (SiO ₂)	24.81	
Alúmina (Al ₂ O ₃)	6.51	
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	3.81	
Óxido de calcio (CaO)	58.73	
Magnesia (MgO)	0.16	
Trióxido de azufre (SO ₃)	3.07	
Óxido sódico (Na ₂ O)	0.27	
Óxido potásico (K ₂ O)	1.4	
Óxido de titanio (TiO ₂)	0.4	
Pérdida por ignición	1.5	(máx. ASTM 618 10%)
Propiedades físicas		
Densidad, kg/m ³	1070+20	---

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reversibilidad. Se ha realizado un análisis y comparación de reversibilidad de las muestras (pasta de cemento portland y puzolánico), hasta una velocidad de 200 s⁻¹. Este límite está justificado por los valores típicos de velocidad de cizalla correspondientes a las aplicaciones usuales del hormigón, tal como se muestra en la Figura 3.

Se observa en la Figura 3, que la velocidad máxima de aplicación del hormigón es aproximadamente 80 s⁻¹, sin embargo se hicieron mediciones con velocidades de hasta 200 s⁻¹ para comparar resultados con el cemento español, al cual se le aplicó el mismo tipo de ensayo en la Universidad de Málaga [5]. En aquel caso se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4.

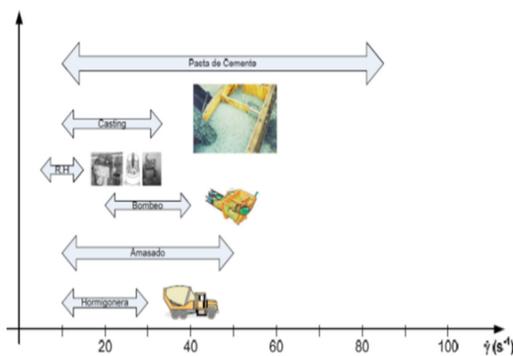


Figura 3. Rango de velocidades de cizalla a los que se ve sometido el hormigón.

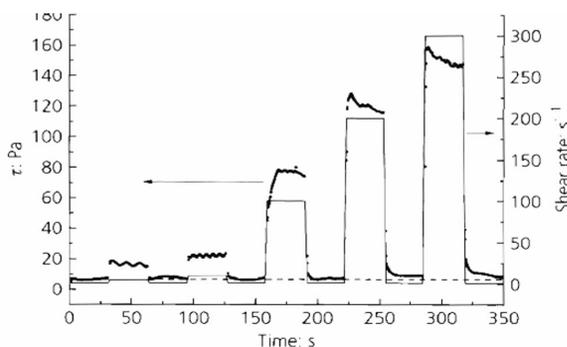


Figura 4. Prueba de reversibilidad Pasta de cemento II/AV 42.5R-España [5].

Los datos obtenidos en el laboratorio de reología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con el uso del reómetro DHR para el análisis del cemento de Lafarge, se muestran en la Figura 5.

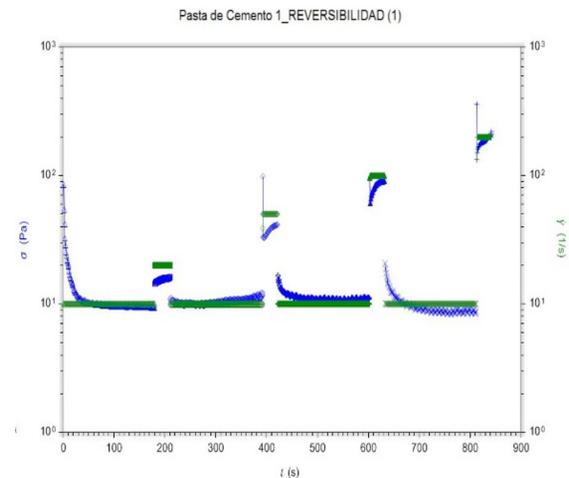


Figura 5. Prueba de reversibilidad Pasta de Cemento Lafarge Armaduro – Ecuador.

Tal como se observa en las Figuras 4 y 5 ambas pastas de cemento son reversibles hasta los 300 s⁻¹. Por lo tanto podemos afirmar que dentro de estos valores no hay problemas de segregación en los respectivos hormigones.

Tiempo de fraguado. El resultado correspondiente al cemento Portland español es el mostrado en la Figura 6.

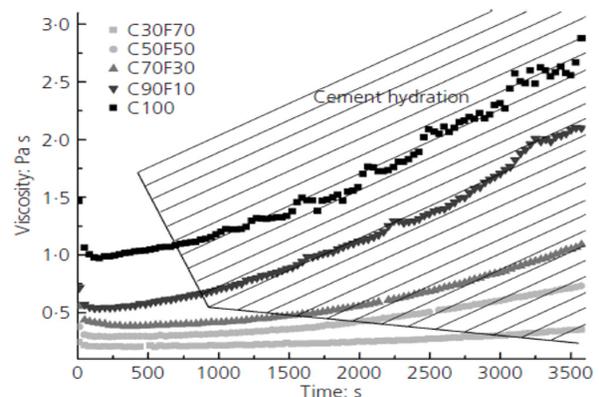


Figura 6. Tiempo de fraguado C100 Pasta de cemento II/AV 42.5R-España [Rubio Hernández y col. 2013].

Se observa que el C100 (pasta de cemento Portland), presenta un tiempo aproximado de fraguado de 12 minutos, mientras que al

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (3/13)

analizar la pasta de cemento puzolánico de Lafarge, el tiempo de fraguado supera las dos horas, tal como se muestra en la Figura 7.

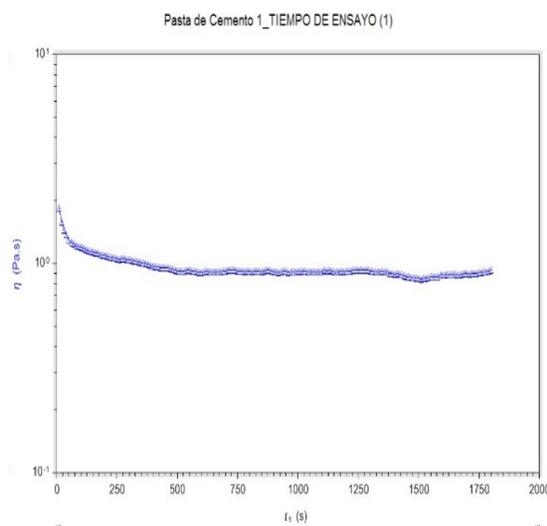


Figura 7. Tiempo de fraguado Pasta de cemento Lafarge – Ecuador.

4. CONCLUSIONES

Las pastas de cemento son reversibles hasta los 200 s-1. Dentro de estos valores no hay problemas de segregación en el cemento portland ni el cemento puzolánico, es decir que no existe separación de los agregados.

El tiempo promedio de fraguado del cemento II/AV 42.5R-España es de 12 minutos aproximadamente, mientras que el cemento puzolánico de Lafarge – Ecuador supera las dos horas.

REFERENCIAS

- [1]Farris R.J. Prediction of the viscosity of multi modal suspensions from viscosity data. Transactions of the society of rheology 12 (1968) 281–301.
- [2]Ferraris C. Concrete Rheology: What is it and why do we need it. Proc. of the 1st Int. Symp. On Design, Performance and Use of SCC – SCC'2005. China, May 26-28 2005, Changsha, Hunan, China pp. 229-236.

- [3]Hossain K.M.A. Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. Cement and Concrete Research 34 (2004) 283-291.
- [4]Hossain K.M.A. Chloride induced corrosion of reinforcement in volcanic ash and pumice based blended concrete. Cement & Concrete Composites 27 (2005) 381-390..
- [5]Rubio-Hernández F.J., Cerezo-Aizpún I., Velázquez-Navarro J.F. Mineral additives geometry influence in cement pastes flow. Advances in Cement Research 23 (2011) 55-60.
- [6]Rubio-Hernández F.J., Morales-Alcalde J.M., Gómez-Merino A.I. Limestone filler/cement ratio effect on the flow behavior of a SCC cement paste. Advances in Cement Research 25 (2013) 262-272.

BIOGRAFÍA

- 1 Lenin Abatta, Ingeniero Mecánico, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Asistente de Investigación del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
- 2 Christian Narváez, Máster en Ingeniería Aeroespacial, Universidad de Manchester, Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
- 3 Luis Carrión, Máster en Ciencias de la Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Río de Janeiro, Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
- 4 Reinaldo Delgado, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Politécnica Estatal de San Petersburgo, Docente Tiempo Completo, del Departamento de Ciencias de la Energía y

Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

5 Alexander Ibarra, Magíster en Energías Renovables, Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Docente Tiempo Completo, del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

Registro de publicación:

<i>Fecha de recepción</i>	<i>22 de julio 2015</i>
<i>Fecha aceptación</i>	<i>05 noviembre 2015</i>