



Control de calidad en el proceso de fraguado de cementos usando un sensor de fibra óptica

Quality Control in the Cements Setting Process by Using an Optical Fiber Sensor

L. Barba^{1*}, L.P. Vargas¹, C.O. Torres¹

¹Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia

Recibido marzo 5 de 2012; aceptado abril 4 de 2011

Resumen

Este trabajo propone un método basado en fibras ópticas para medir algunas características importantes en el proceso de endurecimiento de diferentes clases de cemento, con el objeto de efectuar control de calidad de los mismos teniendo en cuenta los parámetros suministrados por los fabricantes. El método consiste en desarrollar un montaje óptico en el cual se confina un haz de luz láser a través de una fibra óptica multimodo de índice escalonado, y se mide en el otro extremo la potencia óptica a la salida de la fibra utilizando un medidor de intensidad lumínica. Inicialmente se procede a elaborar la mezcla de concreto para llenar una cubeta de dimensiones fijas, agregando agua y arena en las cantidades especificadas por el fabricante. La fibra óptica es introducida debajo de la mezcla y se va calculando el nivel de intensidad a la salida en determinados intervalos de tiempo. La variación que sufre el nivel de intensidad a medida que la mezcla se va endureciendo es utilizada para determinar algunas características dinámicas del cemento como puede ser el tiempo de fraguado.

Palabras claves: fraguado de cementos, sensores, fibras ópticas multimodo.

Abstract

This work proposes an optical fiber-based method, to measure some important characteristics on hardening process of several types of cement, with the aim of making quality control of cements taking into account the information given by manufacturers. The method is based on an optical experiment, in which a laser beam is guided through a step index – multimode optical fiber, and the output optical power is measured at the end of the fiber by using an optical power detector. Initially, the cement mixture is done to fill up a box of fixed size, putting water and sand according to the specifications given by manufacturers. The optical fiber is introduced below the mixture, and the intensity level is calculated in the other side at some time intervals. The variation suffered by the intensity level when the mixture is hardening, can be used to determine some dynamic characteristics of the cement, like hardening time.

Keywords: hardening process of cements, sensor, multimode optical fiber.

1. Introducción

El cemento es uno de los materiales más importantes y populares en la construcción de edificaciones hoy en día. Se presenta en forma de un polvo finísimo, de color gris que, mezclado con agua, forma una pasta que endurece tanto bajo el agua como al aire. El cemento al ser mezclado con agua forma una pasta, que tiene la propiedad de rigidizarse progresivamente hasta constituir un sólido de creciente dureza y resistencia, al cual se le da el nombre de concre-

to. El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo. Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una revoltura de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire [1].

* barba.leiner@unicesar.edu.co

La fibra óptica es una varilla delgada y flexible de vidrio u otro material transparente con un índice de refracción alto, constituido de material dieléctrico (material que no tiene conductividad como vidrio o plástico), es capaz de concentrar, guiar y transmitir la luz con muy pocas pérdidas incluso cuando esté curvada. Está formada por dos cilindros concéntricos, el interior llamado núcleo (se construye de elevadísima pureza con el propósito de obtener una mínima atenuación) y el exterior llamado revestimiento que cubre el contorno (se construye con requisitos menos rigurosos), ambos tienen diferente índice de refracción. Una de las grandes aplicaciones de la fibra óptica son las telecomunicaciones, debido a que las ondas de luz tienen una frecuencia alta y la capacidad de una señal para transportar información aumenta con la frecuencia, además de la inmunidad a interferencias electromagnéticas y la baja atenuación que presentan.

Asimismo, las fibras ópticas también se emplean en una amplia variedad de sensores, que van desde termómetros hasta giroscopios. Su potencial de aplicación en este campo casi no tiene límites, porque la luz transmitida a través de las fibras es sensible a numerosos cambios ambientales, entre ellos la presión, las ondas de sonido y la deformación, además del calor y el movimiento. Las fibras pueden resultar especialmente útiles cuando los efectos eléctricos podrían hacer que un cable convencional resultara inútil, impreciso o incluso peligroso [5].

Se han hecho numerosos trabajos para optimizar la pasta de cemento usada para estructuras civiles [3], [4]. Existen técnicas convencionales para medir las propiedades dinámicas de la mezcla de cemento, entre ellas la utilización de las agujas de Vicat y Gillmore [1], [2]. La desventaja de estas técnicas es que con ellas sólo se puede medir el tiempo inicial y el tiempo final, luego de que la mezcla está completamente solidificada, impidiendo un monitoreo constante de las características dinámicas.

Los sensores de fibra óptica juegan un papel importante en el monitoreo de estructuras civiles como puentes y otras edificaciones, aprovechando unas de sus mayores características como son su inmunidad al ruido e interferencias electromagnéticas y su buena sensibilidad a diferentes factores externos [5], [6]. Muchos trabajos han sido propuestos para determinar orificios y ranuras en estructuras de concreto usando técnicas de desplazamiento [7] [8]. También métodos de interferometría se han empleado con fibras ópticas para medir movimientos, vibraciones y otras cantidades físicas [9] [11]. En este trabajo se aprovecha la propiedad de endurecimiento a través del tiempo del cemento para medir sus características dinámicas utilizando un sensor de fibra óptica que consistirá en ubicar un hilo de fibra dentro una caja con varios gramos de cemento y calcular la variación de la potencia lumínica que se propaga a través de la fibra por causa de la presión que se ejerce sobre la fibra causando en ella deformaciones que conllevan a pérdidas de la potencia transmitida.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma. En la sección 2 se describe el montaje óptico empelado, incluyendo materiales usados y el principio básico de funcionamiento. En la sección 3 se muestran los resultados de utilizar el sensor. Las conclusiones y trabajos futuros se exponen en las secciones 4 y 5 respectivamente. Por último se presentan los agradecimientos y referencias.

2. Montaje óptico

El montaje óptico consta de una caja plástica sobre la cual se agrega la mezcla de cemento, luego de que es elaborada, un hilo de fibra óptica es puesto sobre la caja, exactamente en el fondo de la misma y la cual debe recibir la presión y el peso de la mezcla de cemento luego de ser agregada en la caja. Además se tienen dos sistemas de posicionamiento en cada extremo de la fibra que permiten introducir un haz láser sobre la guía de onda de la fibra y capturar la intensidad lumínica de salida en el otro extremo de la fibra a través de un detector de potencia, respectivamente. La Figura 1 muestra el diagrama esquemático del montaje desarrollado. Además se usa un dispositivo atenuador o “scrambling mode” (fabricado por la corporación Newport) en el extremo inicial de la fibra después de insertar la luz láser.

2.1. Materiales

Los materiales usados en el experimento corresponden a una fuente de luz láser de emisión en el rojo con una longitud de onda de 633nm y una potencia máxima de salida de 5mW, dos sistemas de acople conformados por dispositivos de movimientos milimétricos en tres ejes, un dispositivo mecánico de atenuación, un detector de intensidad, un medidor de potencia y unas cajas de plástico de dimensiones conocidas, donde se pone la mezcla de concreto. Para preparar la mezcla se utilizan las clases de cemento comercializadas en Colombia, el más conocido es el cemento diamante fabricado por CEMEX. La mezcla de concreto se prepara teniendo en cuenta las cantidades específicas de materiales recomendadas para esto.

2.2. Principio de funcionamiento

La característica principal que se estudia en este trabajo es la elasticidad que presenta la mezcla de concreto en el momento de su elaboración, propiedad que se va perdiendo gradualmente a medida que pasa el tiempo, transformándose en una masa rígida que comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

Para abordar el tema del principio básico de funcionamiento hay que tener en cuenta las propiedades de transmisión de la fibra óptica y, dentro de éstas, hay que mencionar los factores

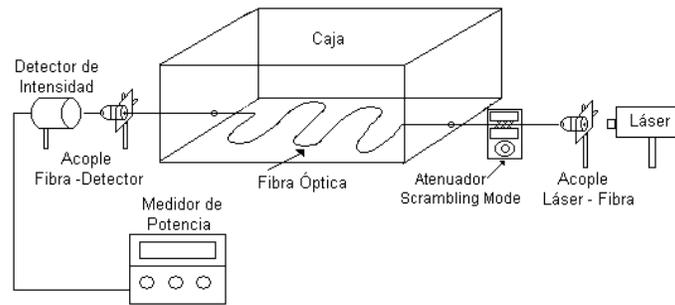


Figura 1. Esquemático del montaje desarrollado

causantes de pérdidas en la potencia transmitida o atenuación. La atenuación de la luz que viaja a través de la fibra depende de tres factores: scattering de Rayleigh, absorción debida a impurezas (especialmente agua) y microhaces debidos a pérdidas inducidas por las condiciones mecánicas de las fibras. Este último factor se debe a las fuerzas laterales localizadas a lo largo de la fibra, originando lo que se conoce como microcurvaturas.

La idea básica de funcionamiento del sistema viene dada por la variación que se genera en la luz transmitida dentro de la fibra por las flexiones y microcurvaturas sufridas por la fibra, causadas por las fuerzas laterales que ejerce la mezcla de concreto. A medida que se incrementa la presión sobre la fibra, debido a un grado de compactación mayor en la mezcla, las microcurvaturas en el tramo de fibra se hacen más pronunciadas, lo que genera una variación de intensidad y por ende una variación en la potencia lumínica medida en el otro extremo de la fibra. La Figura 2 muestra el efecto que tienen las microcurvaturas sobre la señal lumínica que se está transmitiendo por la fibra.

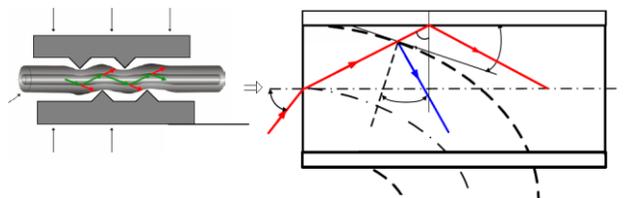


Figura 2. Efecto de las microcurvaturas sobre el haz de luz en la fibra.

Los defectos que provocan las llamadas pérdidas por microcurvaturas (en este caso causadas por la presión que ejerce la mezcla de concreto sobre la fibra) son las irregularidades entre el núcleo y el revestimiento, las fluctuaciones de diámetro (error de elipticidad) y fundamentalmente las tortuosidades del eje de la fibra (error de concentricidad). Las pérdidas consistentes presentan la particularidad de que afectan toda la banda de información y varían poco con la longitud de onda.

A través de las variaciones de intensidad se obtiene una curva de intensidad en función del tiempo que permite de-

terminar el tiempo de fraguado del cemento y compararlo con las especificaciones dadas por el fabricante.

En este punto es de anotar que el atenuador “scrambling mode” produce una tensión sobre la fibra a través de unos dientes que hacen cambiar la distribución de intensidad de la luz dentro de la guía de onda de la fibra, lo cual permite que la fibra asimile el comportamiento de propagación de una fibra óptica con varios kilómetros de longitud. Aquí la sensibilidad de la fibra a los distintos factores externos, como las microcurvaturas, se incrementa generando una variación de intensidad mayor para una presión mínima, permitiendo que esa variación sea más fácilmente cuantificable por el sensor óptico.

3. Resultados

Se hicieron varias pruebas para obtener las curvas de tiempo – potencia que evalúan las características dinámicas del cemento empleado. La Figura 3 muestra las fotografías del montaje desarrollado con los distintos dispositivos.

El proceso inicial comienza con la preparación de la fibra óptica para posicionarla dentro del montaje y poder transmitir un haz de luz láser a través de ella. En la Figura 3b se observa el acople láser – fibra y los elementos empleados para hacer este acople. Como se ilustra en la Figura 3c, la fibra sigue una trayectoria curva dentro de la caja con el objetivo de aumentar la sensibilidad de la misma a los factores externos. Para evaluar el resultado se utilizó una caja rectangular de dimensiones 15 x 10 x 5 cm de lado.

La Figura 4a muestra una gráfica de potencia contra tiempo donde se aprecia la variación de la intensidad lumínica en la salida de la fibra a medida que la mezcla de concreto va perdiendo su elasticidad y se va endureciendo. Los datos mostrados aquí se obtuvieron para un montaje óptico sin el uso del atenuador “scrambling mode” de la Figura 1.



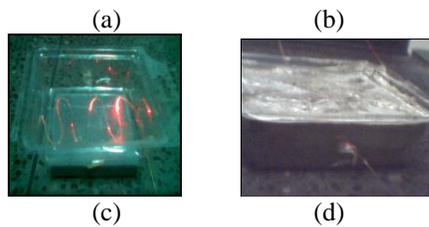


Figura 3. (a) Montaje completo, (b) acople láser – fibra, (c) trayectoria de la fibra en la caja antes de agregar la mezcla, (d) caja con la mezcla de concreto agregada.

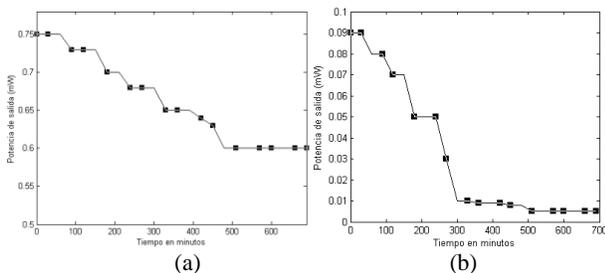


Figura 4. (a)Potencia óptica en función del tiempo de salida para el montaje óptico sin usar el atenuador “scrambling mode”, (b) potencia óptica en función del tiempo de salida para el montaje óptico usando el atenuador “scrambling mode”.

La gráfica muestra una variación de la potencia de salida entre un valor máximo de 0.75mW hasta un punto mínimo de 0.6mW, siendo este punto mínimo alcanzado después de 7.5 horas. Cuando se alcanza este punto final el sistema entra en un estado estable donde la potencia no sufre ninguna otra variación, lo que nos indica que la mezcla de concreto deja de ejercer las fuerzas laterales adicionales sobre fibra debido a que ha alcanzado su punto máximo de endurecimiento.

Análogamente se gradúa el montaje óptico para alcanzar una potencia máxima de salida de 0.75mW. En este momento se inserta el atenuador y se disminuye la potencia hasta alcanzar un valor de 0.09mW. A partir de este instante se agrega la mezcla y se comienza a monitorear la potencia en el extremo final de salida. En la Figura 4b se observa la curva de potencia contra tiempo obtenida cuando se usa en el montaje óptico el atenuador “scrambling mode”.

Como se puede observar, el estado estable del sistema es alcanzado en 8 horas a una potencia mínima de salida de 0.005mW.

4. Conclusiones

Se desarrolló un sensor de fibra óptica para medir las características dinámicas del cemento, y determinar el tiempo de fraguado del mismo. Los resultados fueron comparados con las informaciones suministradas por los fabricantes y se logró comprobar por este medio óptico que el tiempo de fraguado del cemento utilizado (el más vendido en Colombia - Cemento Diamante) oscila entre 7 y 8 horas. De las

pruebas realizadas y de los resultados obtenidos, se concluye que la inclusión del atenuador en el montaje mejora la sensibilidad de la fibra a las fuerzas laterales producidas por la mezcla de concreto, las cuales generan las microcurvaturas que varían la potencia de salida. Como trabajo futuro se planea hacer otros estudios sobre el cemento en el cual se van variando la cantidad de los elementos que componen la mezcla de concreto después que se ha iniciado el proceso de medición en el montaje óptico, y así calcular el efecto que sufre la potencia de salida a estas variaciones.

Referencias

- [1] George R. White. *Concrete Technology* 3rd edition. Albany, NY: Delmar, Hobar Publications, 1977.
- [2] B.C. Ounima. *Reinforced concrete structures*, Vol 1., Delhi, Standard publishers distributors, 1985.
- [3] Bresler, B., *Reinforced Concrete Engineering*, New York, Wiley-Interscience, 1974.
- [4] Ronit Bloom and Arnon Bentur. *ACI Materials Journal*, **92**, No 2, 1195, p.211-217.
- [5] Brian Culshaw, John Dakin, *Optical fibers sensors, volume three, components and subsystems*, London, Artech house publishers, 1966.
- [6] Pierre Choquet, François Juneau, John Bessette, “New generation of Fabry-perot optic sensors for monitoring structures.” *Proceedings , SPIE 7th Annual international symposium on smart structures and materials*, Newport Beach ,CA, March 2000, p.5-9.
- [7] Insang Lee, Yuan Libo, Farhad Ansari & Hong Ding. *Cement and concrete components*, **19** ,1997, p.59-68.
- [8] R. Acuña, J. Causado, p. Torres. *Revista Colombiana de Física*, **38**, No 2, 2006, p. 866-869.
- [9] Qinnghbin Li and Farhad Ansari. *Experimental mechanics*, **42**, no 1, March 2002, p. 37-42.
- [10]V. Salas, C. Torres. *Revista Colombiana de Física*, **38** No. 3, 2006, p. 1335-1338.