

EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE APLICACIÓN Y RESISTENCIA DEL CONCRETO LANZADO EN MINAS MEDIANTE LA METODOLOGÍA EFNARC

Shotcrete assesment in mines based on concrete strength and aplicacion technique using EFNARC methodology

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

Dr. Sergio Alán Moreno Zazueta¹

Dr. Juan Manuel Rodríguez Zavala²

Recibido: 14 de septiembre de 2016,

Aceptado: 21 de junio de 2017

Autor de Correspondencia:

Dr. Juan Manuel Rodríguez Zavala

Correo: juan.rodriguez@unison.mx

Resumen

El concreto lanzado es una mezcla de cemento, agregados y agua proyectado neumáticamente; es utilizado como medio de soporte en las obras mineras y la adición de fibras a la mezcla puede cambiar las propiedades de resistencia a la compresión del concreto. El objetivo es determinar valores de la resistencia a la compresión de las mezclas de cemento, agregados, agua y fibras plásticas y de acero mediante la metodología EFNARC y con ello determinar la pertinencia del uso de fibras además de evaluar las técnicas de lanzado in-situ del concreto. Los resultados indican que no existe variación significativa en la resistencia del concreto lanzado al utilizar fibras de acero o fibras plásticas. Modificaciones en la técnica de lanzado fueron sugeridas. Se determinó necesario continuar con pruebas que validen la calidad de los materiales utilizados en la fabricación del concreto lanzado.

Palabras clave: concreto lanzado, EFNARC, fibras

Abstract

Shotcrete is a cement, sand, gravel and water mixture pneumatically projected; it is used as a rock support in the mining tunneling and fiber addition can change the compression strength properties. Testing objective is to determine the compressive strength of the concrete mixtures with plastic and iron fibers using the EFNARC methodology in order to determine the relevance of the use of fibers. Furthermore, the review of shotcrete technique used in-situ. Results show no substantial variation in in the shotcrete strength when using plastic and iron fibers. Suggestions in the shotcrete application were make. More studies are required to verify the concrete and mixture quality for the shotcrete.

Keywords: shotcrete, EFNARC, fibers

INTRODUCCIÓN

El concreto lanzado es una mezcla de cemento, agregados y agua proyectado neumáticamente; es utilizado como medio de soporte en las obras mineras y la adición de fibras a la mezcla puede cambiar las propiedades de resistencia a la compresión del concreto [1].

La metodología EFNARC proporciona resistencias mínimas que el concreto debe de cumplir así como el procedimiento para el lanzado del concreto, el seguimiento de estos pasos deberá ser preciso para la buena práctica asegurando el mejor resultado [3].

El concreto lanzado puede ser aplicado tanto en húmedo como en seco. En la aplicación húmeda los elementos que la componen son alimentados ya como una mezcla mientras que la aplicación en seco el agua es aplicada en la boquilla de salida antes de ser proyectada a la zona de aplicación. Las mezclas húmedas y secas pueden tener adición de fibras siendo el rebote de material (mezcla que no se adhiere) de 10 y 25% respectivamente [2].

El concreto lanzado se usa para mejorar y/o mantener la calidad de la roca en los túneles mineros, una mala aplicación o baja calidad del concreto lanzado puede originar caídos de roca ocasionando desde pérdidas económicas mínimas hasta la muerte del personal; de aquí que una buena aplicación y calidad del mismo sean tan importantes. El objetivo del presente estudio técnico es aportar información referente a los valores de la resistencia a la compresión de las mezclas de cemento, agregados, agua, fibras plásticas y de acero aplicadas mediante la técnica de concreto lanzado por vía seca así como aportar mejoras en las técnicas de lanzado usadas in-situ mediante su análisis y evaluación. Aun cuando existen varias metodologías como las descritas por Zhang [4] se seleccionó para este estudio la metodología EFNARC (European Federation for Specialist Construction Chemical and Concrete System) por apegarse más a las condiciones del área de trabajo de una mina subterránea.

DESARROLLO

La metodología EFNARC (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) se ha usado para evaluar la calidad de los materiales y la secuencia operativa debiéndose aplicar de la siguiente forma:

Materiales: El cemento y agregado debe de cumplir con las normas nacionales válidas en el sitio que se aplica o la norma europea EN197 así como el agua de mezclado debe de estar dentro de la norma EN1008, para el refuerzo de acero la norma EN10080 y EN10138 fueron consultadas y para las fibras ASTM A 820 (norma estadounidense).

Ejecución del lanzado: Trabajos de preparación: La roca intemperizada y suelta se retira, la roca es mapeada registrando todas las características geoestructurales para





trabajos futuros, las fugas de agua son drenadas ya sea por medio de drenes, canales o sellado por inyección de concreto.

Lanzamiento de la mezcla: El sitio de aplicación es humedecido previamente, los huecos en la roca que sean de gran dimensión se cubren con una capa superficial para su posterior cubierta total, el lanzado empieza en la parte baja y continua hacia arriba para evitar la aplicación de concreto sobre los rebotes, la dirección de la boquilla mantiene 90 grados con respecto a la superficie de aplicación, la velocidad y distancia de lanzamiento se ha regula para evitar el exceso de rebote [5].

Muestreo: El método de muestreo de acuerdo a la normativa EN7034 se realiza con la elaboración de paneles de madera para el muestreo de 600x600x100mm. El molde debe de estar en posición vertical y ser llenado con la misma técnica y equipo en el sitio de colocación del concreto lanzado. Los moldes podrán ser removidos del sitio después de 12 horas de la aplicación del concreto lanzado. El curado deberá de ser de al menos 7 días. Los núcleos son extraídos del centro del panel sin incluir áreas cercanas a las orillas (125mm), ver figura 1.



Figura 1. Obtención de la muestra cilíndrica del panel de concreto lanzado.

Compresión uniaxial: Las pruebas de esfuerzo compresivo uniaxial se realizan de acuerdo a la norma EN4012 en los núcleos obtenidos de los paneles. El diámetro mínimo será de 50mm y la relación de esbeltez de 1 a 2.

RESULTADOS Y COMPARATIVOS

De acuerdo a la norma EN206 el esfuerzo compresivo del concreto lanzado deber cumplir con lo especificado en la tabla 1. Los resultados de la resistencia compresiva uniaxial se detallan en las tablas 2 a la 5 donde se puede ver de forma individual las resistencias arrojadas.



Tabla 1. Esfuerzo compresivo uniaxial mínimo requerido por la norma EN206.

Tipo de muestra	C24/30	C28/35	C32/40	C36/45	C40/50	C44/55	C48/60
Cilindro	245	286	326	367	408	449	490
Cubo	306	357	408	459	510	561	612
Núcleo	209	245	275	311	347	382	418

Tabla 2. Núcleos sometidos a carga uniaxial con fibras plásticas (14 días).

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Área (cm ²)	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
M1	11.19	5.58	2	24.47	2672	109.19
M2	11.12	5.56	2	24.28	2560	105.44

Tabla 3. Núcleos sometidos a carga uniaxial con fibras de acero (14 días).

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Área (cm ²)	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
M1	11.13	5.57	2	24.38	2300	94.32
M2	11.12	5.56	2	24.35	2744	102.69

Tabla 4. Núcleos sometidos a carga uniaxial con fibras plásticas (21 días).

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Área (cm ²)	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
M1	11.15	5.57	2	24.38	3752	153.89
M2	11.12	5.56	2	24.30	2676	110.11
M3	11.12	5.56	2	24.30	2432	100.07
M4	11.15	5.57	2	24.41	2864	117.34
M5	11.09	5.54	2	24.17	2556	105.75





Tabla 5. Núcleos sometidos a carga uniaxial con fibras de acero (21 días).

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Área (cm ²)	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
M1	11.15	5.57	2	24.41	2304	94.40
M2	11.10	5.55	2	24.18	3292	136.15
M3	11.13	5.56	2	24.33	2588	106.38
M4	11.16	5.58	2	24.45	3092	126.46
M5	11.16	5.58	2	24.45	2740	112.06

Aunque la variabilidad de muestra a muestra puede en algunos casos verse como una diferencia significativa esto no es real ya que los resultados medio de las pruebas arrojan una diferencia no significativa como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Resistencia compresiva uniaxial media de las muestras por tipo de fibra.

Fibra	Fraguado (días)	Resistencia media (kg/cm ²)
Acero	14	94.51
	21	115.51
Plástico	24	107.31
	21	117.43

Los resultados indican que no existe variación significativa en la resistencia del concreto lanzado al utilizar fibras de acero o fibras plásticas además, los métodos utilizados pueden ser mejorados con las sugerencias aportadas y apegándose de manera estricta a la metodología EFNARC.

Con referencia a las técnicas de lanzado del concreto se detectaron inconsistencias las cuales se detallan en la tabla 7.

Tabla 7. Observaciones que no cumplen con las directrices de la metodología EFNARC.

Recomendación EFNARC	Observación In-Situ
Equipo en buen estado	Se denotó falta de aditamentos como válvulas sensibles a los flujos de agua que pudieran ser reguladas contantemente
Visibilidad	La falta de regulación del abasto de agua produce una nube de polvos que dificulta la visibilidad y la buena aplicación
Adición de fibras	No existe una flujo constante de fibras que asegure su homogeneidad
Limpieza de las áreas	La eliminación de la roca suelta es un factor que aunque se lleva a cabo no se hace de forma adecuada
Humedecido de áreas de aplicación	El humedecido de las paredes y techo no se lleva a cabo dificultando la adherencia del concreto lanzado en la roca
Agua	La cantidad de agua agregada a la mezcla es variable lo que produce concreto muy aguado o concreto muy seco
Iluminación	No se cuenta con iluminación extra requerida para verificar que el concreto lanzado se coloque adecuadamente
Drenes	No se ve que se instalen ningún tipo de dren para evitar la presión hidrostática
Espesor	No se cumple con lo especificado en la metodología EFNARC

RECOMENDACIONES

La metodología EFNARC es muy clara en los procesos de aplicación y evaluación de las características del concreto lanzado siendo varios los puntos en que se observaron deficiencias:

Espesor mínimo: el espesor mínimo del concreto lanzado deberá de ser de 2 pulgadas por lo que ciertas zonas no cumplían con este requisito como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Espesor del concreto lanzado.





Proceso de lanzado del concreto: Durante el proceso de obtención de los paneles de concreto se observan ciertas irregularidades como pueden ser la reducción de la visibilidad, la aplicación vía seca del concreto lanzado minimiza la visibilidad por lo que no es posible la buena práctica recomendando la aplicación vía húmeda debido a las fallas en la regulación del agua. La supervisión de la aplicación de la capa de concreto lanzado es crucial ya que al disminuir la visibilidad es difícil seguir con la secuencia estipulada por EFNARC. La iluminación de los equipos in-situ no es la adecuada requiriendo de soporte en este rubro. El equipo no cuenta con dosificadores de fibras produciendo un concreto no homogéneo.

Resistencia del concreto: De acuerdo a los resultados de compresión uniaxial de las muestras obtenidas a partir de los paneles, estas están por debajo de las recomendaciones EFNARC debido a posibles factores como al uso de concreto de baja resistencia, irregularidades de la secuencia de aplicación, errores en la proporción de fibras y mezcla. Para descartar algunos factores se recomienda realizar pruebas al concreto suministrado para las labores de zarpeo, llevar un control estricto de las proporciones de mezclado y aplicar el concreto o zarpeo vía húmeda.

Otros: Es necesario realizar pruebas de paneles sin fibras y así tener una referencia de la resistencia del concreto. Para evitar la presión hidrostática habrá que instalar drenes o sellar las filtraciones. El uso de componentes metálicos de refuerzo (malla, falsos marcos) no tiene ninguna ventaja si la aplicación del cemento lanzado no tiene el espesor recomendado evitando en la medida el efecto sombra o espacios vacíos entre el cuerpo de la estructura de acero y la roca. La limpieza del área debe ser a conciencia para evitar los espacios vacíos de roca suelta además de un buen humedecido para incentivar la adherencia concreto-roca

CONCLUSIONES

A partir del desarrollo, de las observaciones de campo y de los lineamientos EFNARC se desprenden las siguientes conclusiones:

- a) La adición de fibras plásticas o de acero no proporciona un incremento significativo en la resistencia a la compresión del concreto lanzado,
- b) Al no realizarse pruebas en el concreto lanzado sin fibras no es posible hacer un comparativo
- c) Es recomendable el cambio de concreto lanzado de seco a húmedo
- d) Es necesario realizar pruebas al cemento utilizado para asegurar la calidad del mismo.
- e) Es indispensable que se lleve a cabo limpieza de las áreas así como el humedecido
- f) Se requieren drenes en zonas con agua y apegarse al espesor mínimo recomendado de concreto lanzado

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Roman Jorge López. "Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionada". Tesis de maestría, Instituto de Ingeniería. UNAM, 2015.
- [2] D.R. Morgan. "Advances in shotcrete technology for support of underground openings in Canada". In Shotcrete for underground support V, proc. Engineering foundation conference, Uppsala. Eds. J.C. Sharp and T. Franzen, New York. pp. 358-382. 1993.
- [3] EFNARC. European Specifications for sprayed concrete, Guidelines for specifiers and contractors, EFNARC, ISBN 0-9522483-6-0 © 1999.
- [4] Lihe Zhang. "Variability of compressive strength of shotcrete in a tunnel-lining". Shotcrete magazine Fall 2014, Vol. 16, No. 4, pp. 22-27, 2014
- [5] ESSC, "Execution of spraying", European specifications for sprayed concrete, ISBN 0-9522483-7-9 ©, 1999.