

Estudio del comportamiento de concreto con mezcla de conglomerantes de cemento blanco y metacaolín¹

RESUMEN

Se presentan los resultados del uso del metacaolín como modificador en el conglomerante normal, cemento Portland, y la valoración de su posible utilización, para analizar y deducir de qué forma se pueden cambiar las características del concreto blanco y usarlo en la construcción en general, y poder establecer su durabilidad, uniformidad y calidad.

Palabras clave: Metacaolín (MK), cemento Portland, concretos adicionados, puzolanas, caolín.

1. Introducción

Los beneficios que el metacaolín (MK) aporta a los concretos, por poseer propiedades de puzolana, pueden verse reflejados en la disminución en peso del cemento utilizado en los diseños convencionales de concretos, para una misma resistencia establecida. Con unas dosificaciones óptimas de MK se puede aumentar la resistencia a edades tempranas y, de igual manera, aumentar la resistencia final disminuyendo las cantidades de cemento; también, se puede mejorar la manejabilidad de los materiales, brindar un mejor acabado del concreto a la vista y ayudar a la preservación del medio ambiente por la minimización en la producción de cemento.

Estos materiales alternativos permitirán reemplazar los materiales cementantes realizando cambios que mejoren algún aspecto dentro de la producción del concreto, sin perder sus características, pero con resistencias más altas en menor tiempo de fraguado. Se obtendrá un nuevo material que deriva de mineral más abundante en la naturaleza y que puede dar nuevas características al concreto; puede ayudar a disminuir el grado de contaminación de la producción del cemento, aportando a la conservación del medio ambiente y a un desarrollo sostenible en la construcción.

Autores

Germán Alexander Cardozo²

Leonardo David González³

Director

Héctor Alfonso Pinzón⁴

1 Proyecto curricular de Ingeniería Civil.

2 Ingeniero Civil, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Investigador grupo Geasoft. Correo electrónico: generalcar@gmail.com

3 Ingeniero Civil, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Investigador grupo Geasoft. Correo electrónico: leonardodaviding@gmail.com

4 Ingeniero Civil, docente Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, director del proyecto

2. Adiciones al concreto

Actualmente, muchos de los concretos contienen adiciones al cemento. Estos materiales son generalmente subproductos de otros procesos o materiales de origen natural. Las puzolanas naturales, que se encuentran en varios materiales que poseen propiedades puzolánicas (propiedades cementantes) o pueden ser procesados para poseerlas, están determinadas por la especificación ASTM C618; las puzolanas naturales tienen generalmente un origen volcánico y tienden a ser reactivas, si son enfriadas rápido. Comercialmente disponibles, incluyen el metacaolín y las arcillas, o también esquistos calcinados, que son producidos mediante la calcinación controlada de minerales de origen natural; el metacaolín es producido a partir de arcillas caoliníticas relativamente puras y se emplea entre el 5% y el 15% en peso de los materiales cementantes [1].

2.1 El metacaolín y su uso como adición

El MK es un material cementante suplementario, dado que es un aluminosilicato activado térmicamente que se produce al calcinar el caolín (composición química 45,5% SiO_2 , 1,30% Fe_2O_3 , 38,9% Al_2O_3 y 14,05% de pérdidas por ignición) a temperaturas entre 500 °C y 900 °C, en las que se produce una transformación de su estructura cristalina [2]. Fundamentalmente, su aplicabilidad se ha centrado en el aprovechamiento de su composición química y reactividad, para usarlo como una puzolana artificial en la producción de morteros y concretos, pues es conocida su importante contribución en las propiedades mecánicas y en la reducción de permeabilidad y durabilidad. Su actividad puzolánica, especialmente a edades tempranas, es comparable o superior al humo de sílice y a las cenizas volantes; además, tiene como gran ventaja su color blanco, que le permite ser usado en aplicaciones especiales, incluso en la producción de cemento blanco [3].

En general, el metacaolín reacciona con el hidróxido de calcio libre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ del proceso de hidratación del cemento para formar silicato bicálcico (C_2S) secundario, que posteriormente forma un gel de silicato de

calcio hidratado o gel tobermorita y el silicoaluminato bicálcico hidratado (gehlenita), que contribuyen con el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las mezclas [4].

Tabla 1. Composición química del caolín y del cemento.

Componente, %	Caolín(K)	Cemento (OPC)
SiO_2	45,46	19,83
Al_2O_3	38,87	6,35
Fe_2O_3	1,30	4,18
CaO	-	63,33
MgO	-	2,54
SO_3	-	2,20
Pérdida al fuego	14,05	0,00

Fuente: [14].

3. Estudios y avance de la tecnología del metacaolín

En el país se han realizado estudios relacionados con el tema desarrollado en este proyecto, principalmente a nivel universitario. Algunos antecedentes de las investigaciones son:

Grupo de investigación: 040302 G04 de Colciencias - Obtención de Nuevos Cementos Portland, con desarrollo de nuevos materiales compuestos basados en cemento Portland y metacaolín. Las curvas TG y DTG se obtienen en pastas hidratadas con 28 días de curado a 21 ± 1 °C. Los resultados mostraron que existe una reducción de la proporción de agua químicamente combinada debida al hidróxido de calcio con el aumento de la proporción de sustitución del cemento por metacaolín, así como la proporción de agua combinada correspondiente a los productos de hidratación (parámetro TH), siendo el 20% de sustitución la proporción que representa la mayor cantidad de agua químicamente combinada de los hidratos entre 105 °C y la temperatura final, donde aparece el pico característico del CH [5].

Otro antecedente se tiene en [6]; donde se trabaja en el desarrollo de nuevos materiales para la construcción civil, se produjeron concretos adicionados con un material puzolánico obtenido a partir de un tratamiento térmico de caolines colombianos y se determinó la susceptibilidad de estos materiales a la carbonatación, mediante la exposición a un ambiente controlado de CO_2 . Adicionalmente, se evaluó su desempeño a través de la comparación de las propiedades mecánicas y de durabilidad frente a concretos producidos con humo de sílice (HS), metacaolines importados y un concreto sin adición. Los metacaolines nacionales presentaron una resistencia a la compresión mayor que la del concreto patrón, pero menor que la del humo de sílice y los productos europeos y estadounidenses. La adición de origen nacional obtenida a partir de un caolín de alta pureza presentó el menor coeficiente de carbonatación en comparación con las demás mezclas en estudio; no obstante, la totalidad de los concretos adicionados son catalogados como concretos durables debido a su volumen bajo de poros permeables, baja absorción total y coeficiente de carbonatación menor de 3, en condiciones naturales ($[\text{CO}_2]: 0,03\%$) [6].

Otra investigación de referencia corresponde al concreto geopolimérico, un nuevo material para el desarrollo sostenible que conlleva desarrollar y evaluar un concreto geopolimérico de altas prestaciones, utilizando la técnica de activación alcalina aplicada a un mineral y a un subproducto industrial de origen nacional. Se busca así plantear qué tan factible es emplear este tipo de materiales en la construcción civil con criterios de sostenibilidad. Este proyecto da continuación a trabajos preliminares del Grupo de Materiales Compuestos y cuenta con apoyo de grupos del ámbito internacional, del Instituto Eduardo Torroja (IET), del Centro de Ciencias Medio Ambientales (CCMA) y de la Universidad Politécnica de Valencia [7].

4. Materiales y método

Dentro de las actividades desarrolladas se encuentra, inicialmente, la búsqueda de porcentajes adecuados de MK en la fabricación de concretos, de manera que no afecte su resistencia. El diseño busca incorporar un ma-

yor conocimiento a los sistemas constructivos tradicionales en concreto, con adiciones alternativas, las cuales permitirán ahorrar dinero en la materia prima del cementante, obtener igual o mejor resistencia del concreto y observar el terminado final para concreto a la vista con MK. Es muy importante la tabulación y análisis de resultados para realizar las tablas y gráficas que reflejarán las conclusiones en la etapa final del proyecto.

4.1 Materiales utilizados

Agregados pétreos: los agregados gruesos utilizados provienen de una cantera ubicada en Bogotá, en el sector del Tunjuelo, llamada el Diamante; los agregados finos proceden del departamento del Tolima y se conocen como arena del Guamo, Cantera el Guamal.

Materiales cementantes: el cemento utilizado en la investigación es cemento blanco de uso general, marca Argos; el metacaolín utilizado es un caolín activado de alta pureza en polvo de referencia P08-C, suministrado por la empresa Minerales Industriales S.A.

Aditivo: reductor de agua de alto rango para concretos Eucon 37, suministrado por Toxement, que cumple con la norma ASTM C-494 tipo A y F o la norma NTC 1299.

4.2 Metodología

A los materiales se les realizaron los ensayos de caracterización, de acuerdo con los procedimientos de las normas NTC, para el posterior diseño de mezcla.

El diseño de mezcla tiene por objeto encontrar la dosificación más económica del cemento, arena y agregado grueso, para que se produzca un material con la resistencia y manejabilidad requeridos. Se utiliza el método RNL (Road Note Laboratory), que hace uso de la curva de Fuller para obtener la mejor mezcla de arena y grava. El asentamiento es de 3,5 pulgadas y una relación agua/cemento de 0,53. Finalmente, se obtuvo una dosificación de mezcla para un metro cúbico con las siguientes proporciones:

- Volumen de cemento 0,131 m³, masa de cemento 376 kg.
- Volumen de arena 0,493 m³, masa de arena 715.994 kg.
- Volumen de grava 0,693 m³, masa de la grava 1023.465 kg.
- Volumen de agua 0,205 m³, masa del agua 205.78 kg, después de la corrección por asentamiento.

Finalmente, la relación de mezcla por peso es:

- Cemento: 1.
- Arena: 1.9.
- Grava: 2.7.

En estado fresco, se determina el asentamiento del concreto y la corrección por humedad, y se elaboran los especímenes en moldes metálicos. En estado endurecido, se toman mediciones de longitud y peso a los cilindros de concreto, que luego se llevan al cuarto de curado y, finalmente, de acuerdo con sus edades, se someten al ensayo de resistencia a la compresión.

Los ensayos de resistencia a la compresión se realizan a las edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días, para confirmar la resistencia del diseño patrón y el diseño con adiciones

de MK; las adiciones que se realizan en la investigación son del 5, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40 y 50 por ciento del peso del cemento en el diseño del concreto. Finalmente se utiliza el aditivo reductor de agua para corregir la relación agua/cemento con las adiciones de MK de 10, 15 y 20 por ciento del cemento del diseño.

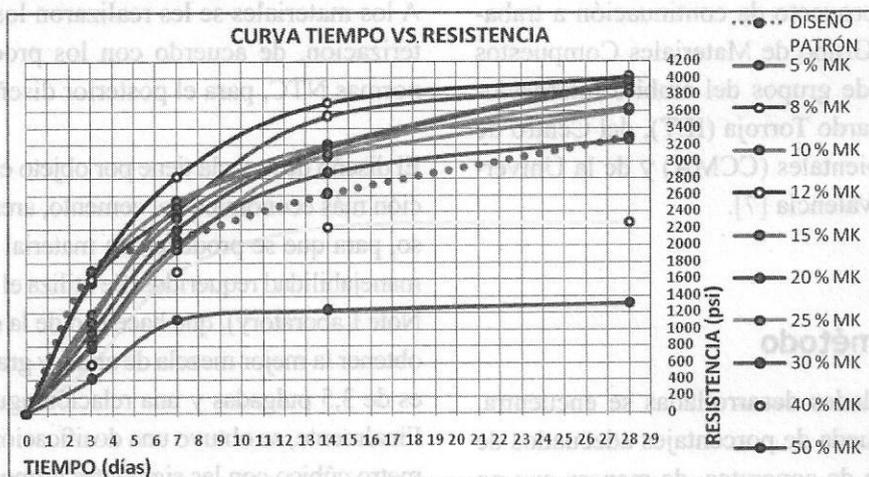
5. Análisis y resultados

El desarrollo de esta investigación se basa principalmente en la utilización de materiales alternativos de construcción, para lo cual se tienen en cuenta las siguientes observaciones:

5.1 Comparación de la resistencia a la compresión

En la primera edad de fraguado, a los tres días, se ve una disminución en la resistencia de todos los diseños con adición de metacaolín (Figura 1) y se nota que los más cercanos al concreto son los de porcentajes 8, 10 y 12. A la edad de 7 días, los rangos entre 5% y 20% ya superan el diseño patrón; a la edad de 14 días la resistencia a la compresión ya muestra una gran diferencia en su comparativo, luego que las mezclas de MK entre el 5% y el 30% ya superan considerablemente al diseño patrón.

Figura 1. Comparación tiempo vs. resistencia a la compresión con adiciones de MK.



Fuente: Los autores.

Por último, se puede observar que en la edad de diseño, todas las muestras mantienen grandes diferencias de resistencia, sobre todo en los rangos del 5% al 25%. Se observa que en los rangos superiores al 40% no se cumple con lo esperado y en el 30% cumple apenas con el diseño deseado.

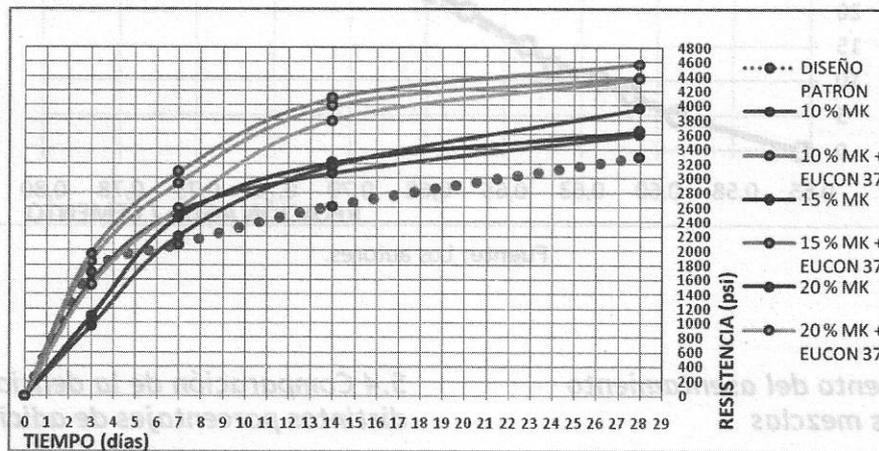
Después de analizar los primeros datos, se opta por utilizar el aditivo con los porcentajes de adición de MK de 10%, 15% y 20% (Figura 2), donde se refleja su mejoría a edad temprana, sobre todo en el 10%, que supera el diseño patrón. Los restantes mejoran considerablemen-

te su resistencia comparada con las mezclas sin aditivo, y en las edades siguientes se refleja un gran incremento de la resistencia de todas las mezclas analizadas.

5.2 Relación agua cemento de los diferentes diseños

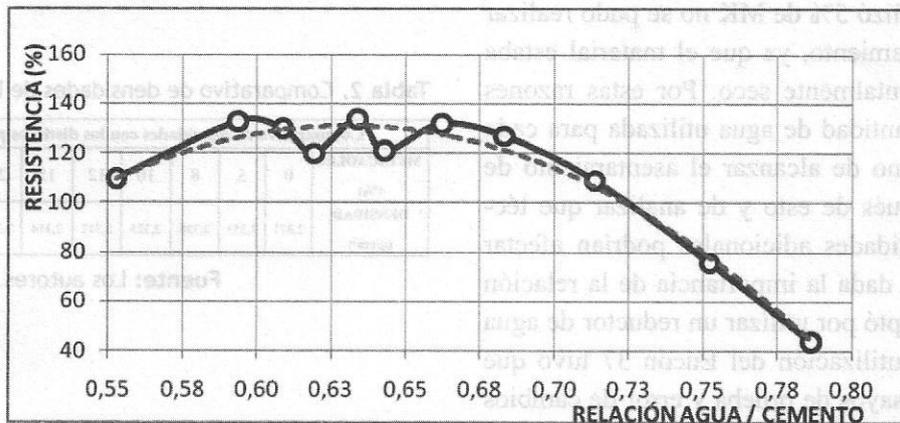
La Figura 3 demuestra que el porcentaje óptimo de relación agua/cemento es cercano a 0,64, valor que al ser trasladado al gráfico inmediatamente siguiente de relación agua/cemento (Figura 4) contra porcentaje de MK,

Figura 2. Comparación tiempo vs. resistencia a la compresión con adiciones de MK y aditivo Eucon 37.



Fuente: Los autores.

Figura 3. Relación agua/cemento vs. resistencia a la compresión.



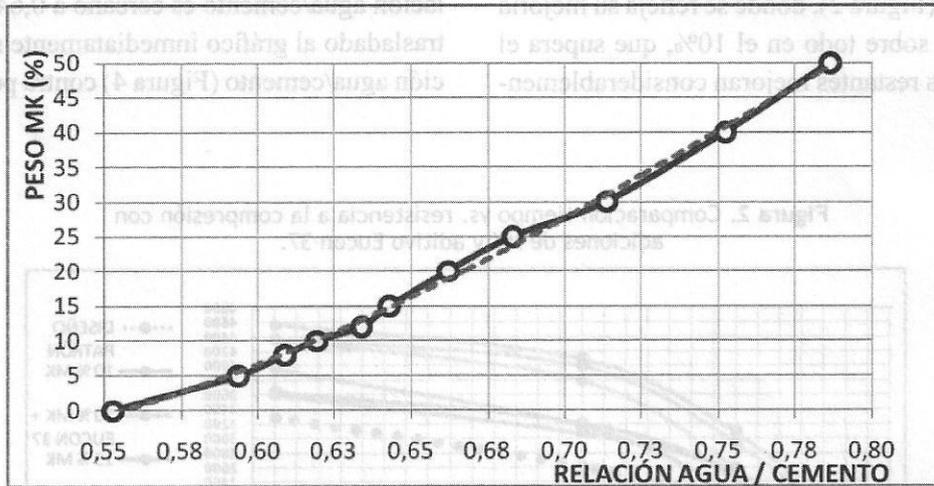
Fuente: Los autores.

se acerca a un resultado óptimo de mezcla del 15% de metacaolín que se encuentra dentro de los porcentajes trabajados durante la experimentación.

Al analizar el gráfico de relación agua/cemento (Figura 4) contra el porcentaje de MK se puede observar que tiene

una tendencia lineal creciente, que indica que a mayor cantidad de MK adicionado a la mezcla más se incrementa la cantidad de agua.

Figura 4. Relación agua/cemento vs. porcentaje de MK.



Fuente: Los autores.

5.3 Comportamiento del asentamiento en las diferentes mezclas

Durante el proceso de experimentación se pudo determinar que la adición de MK a las mezclas lleva a una reducción en el asentamiento, reducción casi total, pues se llegó a obtener asentamientos cercanos a cero, e incluso cuando se utilizó 5% de MK no se pudo realizar la prueba de asentamiento, ya que el material estaba visible y experimentalmente seco. Por estas razones se incrementó la cantidad de agua utilizada para cada mezcla con el ánimo de alcanzar el asentamiento de 3,5 pulgadas; después de esto y de analizar que técnicamente las cantidades adicionales podrían afectar la resistencia final, dada la importancia de la relación agua/cemento, se optó por utilizar un reductor de agua de alto rango. La utilización del Eucon 37 tuvo que desarrollarse en ensayos de prueba y error de cambios porcentuales, hasta alcanzar el asentamiento de diseño.

5.4 Comparación de la densidad con los distintos porcentajes de adición de metacaolín

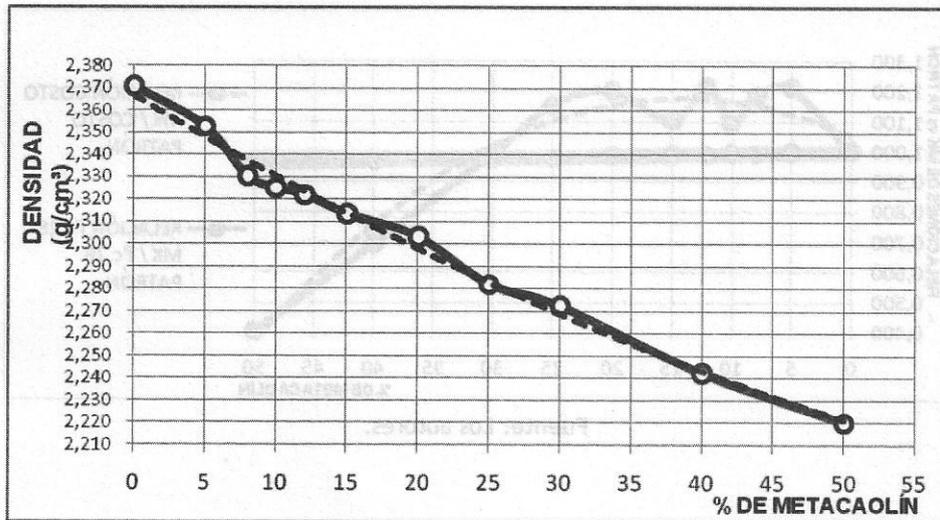
Analizando los resultados obtenidos de la experimentación, se puede apreciar que a medida que aumenta el porcentaje de metacaolín disminuye la densidad del concreto, como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparativo de densidades de los cilindros con MK.

Comparativo de densidades con los distintos porcentajes de MK											
METACAOOLIN (%)	0	5	8	10	12	15	20	25	30	40	50
DENSIDAD (g/cm³)	2,371	2,353	2,330	2,325	2,322	2,314	2,303	2,282	2,273	2,242	2,220

Fuente: Los autores.

Figura 5. Comparativo porcentual de MK vs. densidad del concreto con adición de MK.



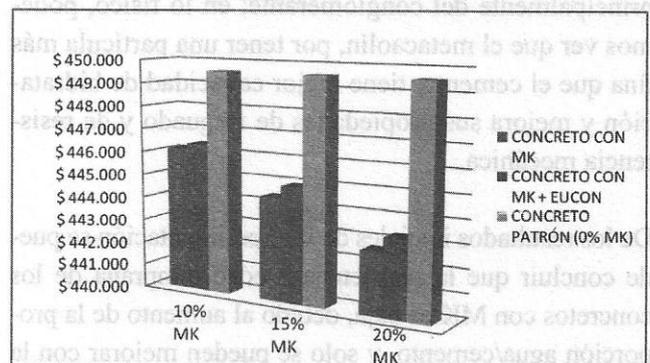
Fuente: Los autores.

Al analizar el gráfico comparativo de las densidades del concreto (Figura 5), se puede observar que la cantidad de MK es inversamente proporcional a la densidad, lo cual indica que la carga muerta de un elemento determinado puede ser más liviana.

5.5 Evaluación de costos

Se elaboraron análisis de precios unitarios para cada una de las diferentes mezclas realizadas, para los distintos porcentajes de metacaolín y de Eucon 37. En la Figura 6 se puede observar que el costo del concreto patrón es superior al de los concretos con adiciones de MK, incluso con el aditivo, y también se observa que no es muy grande la diferencia en costo entre el concreto con MK y el que utiliza el aditivo Eucon 37.

Figura 6. Comparación de costo unitario del m³ de concreto con adiciones vs concreto patrón.

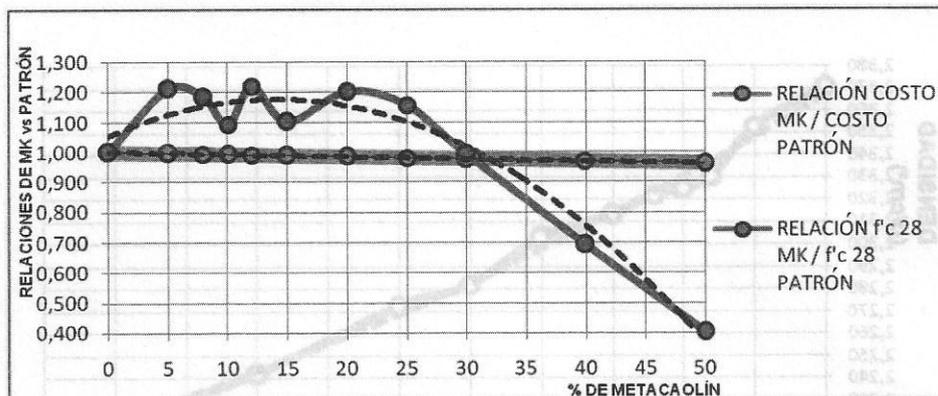


Fuente: Los autores.

5.6 Análisis costo vs. resistencia a la compresión

En este análisis se obtiene el óptimo porcentaje de metacaolín que se debe utilizar, teniendo como parámetro la resistencia final obtenida en la experimentación y el costo unitario de la fabricación de este concreto.

Gráfico 7. Optimización porcentual de MK vs. costo-resistencia.



Fuente: Los autores.

6. Conclusiones

Una de las características principales del fraguado del concreto es la reacción química de sus componentes, principalmente del conglomerante; en lo físico, podemos ver que el metacaolín, por tener una partícula más fina que el cemento, tiene mejor capacidad de hidratación y mejora sus propiedades de fraguado y de resistencia mecánica.

De los resultados iniciales de la experimentación se puede concluir que la resistencia a edad temprana de los concretos con MK es baja, debido al aumento de la proporción agua/cemento, y solo se pueden mejorar con la inclusión de un aditivo reductor de agua.

El silicato bicálcico es un componente que se encuentra en mayor proporción en el MK que en el cemento; en el de tipo Portland constituye aproximadamente el 50% en volumen y tiene la cualidad de transferir calor y velocidad de hidratación, que es lo que produce el endurecimiento del cemento; gracias a esto, se puede concluir que al aumentar este compuesto mejoran las propiedades de endurecimiento y resistencia mecánica temprana.

Es claro que, observando los datos de las gráficas de resistencia, a través del tiempo y con un buen curado, esta aumenta considerablemente con el MK. Ello es evidente cuando, al romper los cilindros de concreto a los siete días, se tienen resistencias hasta 20% mayo-

res que las del diseño patrón; asimismo, los resultados obtenidos a los 14 días muestran un aumento hasta del 35% de resistencia de diseño, y a los 28 días hasta de 25%.

En los diseños en los que se utiliza el aditivo reductor de agua Eucon 37, se observa que a la semana de realizadas las mezclas la resistencia del 10% de MK se acerca al 95% de la resistencia final esperada; a los 14 días las mezclas realizadas ya sobrepasan la resistencia de diseño, y al completar los 24 días de elaborados se pueden ver aumentos del 55% en la resistencia de diseño.

Otra característica del reductor de agua mezclado con el MK es que su valor máximo se encuentra, según lo experimentado, cerca del 15% de MK adicionado y no se presentan anomalías visibles en la mezcla del reductor de agua con el MK.

En cuanto a los costos de fabricación del concreto con MK, se resalta la reducción del precio por m³ frente al del patrón, lo que muestra que en grandes cantidades el precio se hace ideal. Al analizar el valor óptimo de costo contra resistencia, las curvas polinómicas muestran que el ideal de utilización del MK está cercano al 30%, ya que este porcentaje es el más económico y a la vez cumple con el requerimiento de resistencia mecánica de diseño.

Se observó que la relación agua/cemento frente a las cantidades de MK utilizadas es casi lineal, lo que indi-

ca que con mayor cantidad de MK aumenta la cantidad de agua necesaria en la mezcla; de las gráficas de relaciones agua/cemento se obtuvo que el valor adecuado es de 0,64, que corresponde a un valor cercano del 15% del concreto fabricado con MK.

Durante el proceso de fabricación del concreto blanco con adiciones de MK se deben tener en cuenta aspectos de importancia como el curado, manteniendo una constante hidratación; de igual manera, se debe controlar constantemente la dosificación tanto del MK como del agua y del aditivo reductor de agua, si se usa.

Al observar el terminado de las probetas se puede evidenciar una buena textura, mejor que la del concreto patrón; esto confirma lo dicho en el estado del arte cuando se habló de un acabado mucho más uniforme, lo cual puede optimizar su utilización en acabados arquitectónicos.

Gracias a los cambios de densidad observados durante la experimentación con estas mezclas de aglutinantes de cemento y MK, se puede inferir que las estructuras realizadas con MK son más livianas que las realizadas solo con cemento, lo que indica una mejora sustancial frente a las cargas vivas que debe soportar la estructura de las edificaciones.

Referencias

- [1] P. K. Metha y V. M. Malhotra. *Puzzolanic and cementitious materials*, EE.UU.: Gordon & Breach, 1996.
- [2] J. Restrepo; O. Restrepo y J. Tobón. "Efectos de la adición de metacaolín en el cemento Portland". *Revista de la Facultad de Minas*, 73(150) (2006): 131-141. Medellín, DYNA, Universidad Nacional de Colombia.
- [3] R. Mejía de Gutiérrez; S. Delvasto y R. Talero. "Una nueva puzolana para materiales cementicios de elevadas prestaciones". *Materiales de Construcción*, 50(259) (2000): 5-12. Madrid, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
- [4] J. Moya. *Últimos avances sobre el tratamiento térmico del caolín: Formación o no de puzolanas artificiales*. Madrid: Memorias Congreso Puzolanas Naturales, Cenizas Volantes y Similares en la Construcción, Cemento y Hormigón, 1998, pp. 71-75.
- [5] J. Torres y R. Mejía de G. "Influencia de la composición mineralógica de los caolines sobre el desempeño de morteros adicionados con MK". *Revista de la Facultad de Minas*, 74(153) (2007): 61-67. Medellín, DYNA, Universidad Nacional de Colombia.
- [6] Universidad del Valle. *Las memorias del Coloquio de Investigaciones en Materiales no Convencionales*. Cali: Universidad del Valle, 2005.
- [7] R. Talero; M. Bollati y F. Hernández. *Preparación de morteros y hormigones no tradicionales a base de cemento portland, metacaolín y yeso (15,5%)*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja, 1999.
- [8] F. Agudelo; L. Espitia y J. Segura. *Efecto del metacaolín en el comportamiento del concreto*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006.
- [9] American Society of Testing and Materials (ASTM). *Normas C 618, C 989, C 1240, v 04.02*. EE.UU.: West Conshohocken, 2008.
- [10] M. Frías y M. Sánchez de R. "Influencia del metacaolín en la estructura porosa de matrices a base de MK/cemento". *Materiales de Construcción*, 50(259) (2000): 57-67. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
- [11] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). *Norma NTC 30 - Cemento Portland. Clasificación y nomenclatura*. Bogotá: Icontec, 1966.
- [12] L. Cassar y otros. "Cemento blanco para concreto de alto desempeño". *Construcción y Tecnología* (enero de 2001). México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (Imcyc).

[13] R. Mejía de G.; J. Torres; J. Silva y S. Delvasto. "Influencia de la adición de metacaolín a morteros y hormigones". *Boletín Geológico y Minero*, 117(4) (2006): 715-722. España, Instituto Geológico y Minero de España.

[14] J. Torres; R. Mejía de G.; R. Castelló y C. Vizcayno. "Proceso de hidratación de pastas de OPC adicionadas con caolín tratado térmicamente". *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 43 (2007): 77-85.

[15] J. Torres y R. Mejía de G. "Influencia de la composición mineralógica de los caolines sobre el desempeño de morteros adicionados con MK". *Revista de la Facultad de Minas*, 74(153) (2007): 61-67. Medellín, DYNA, Universidad Nacional de Colombia.

[16] Universidad del Valle. *Las memorias del Colopio de Investigaciones en Materiales no Convencionales*. Cali: Universidad del Valle, 2005.

[17] R. Talero; M. Bolatti y F. Hernández. *Preparación de morteros y hormigones no tradicionales a base de cemento Portland, metacaolín y yeso* (1,2,3ª). Madrid: Instituto Eduardo Torroja, 1999.

[18] F. Agudelo; I. Espitia y J. Segura. *Efecto del metacaolín en el comportamiento del concreto*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006.

[19] American Society of Testing and Materials (ASTM). *Normas C 618, C 989, C 1240, v 04.02*. E.E.U.U.: West Conshohocken, 2008.

[10] M. Frias y M. Sánchez de R. "Influencia del metacaolín en la estructura porosa de matrices a base de MK/cemento". *Materiales de Construcción*, 50(259) (2000): 57-67. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

[11] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). *Norma NTC 30 - Cemento Portland. Clasificación y nomenclatura*. Bogotá: Icontec, 1966.

[12] L. Cassar y otros. "Cemento blanco para concreto de alto desempeño". *Construcción y Tecnología* (enero de 2001). México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (Imcyc).

[1] F. K. Meira y V. M. Malhotra. *Puzolanas and conventional mortars*. E.E.U.U.: Gordon & Breach, 1996.

[2] J. Restrepo; O. Restrepo y J. Tobón. "Efectos de la adición de metacaolín en el cemento Portland". *Revista de la Facultad de Minas*, 73(150) (2006): 131-141. Medellín, DYNA, Universidad Nacional de Colombia.

[3] R. Mejía de Guisáñez; S. Delvasto y R. Talero. "Una nueva puzolana para matrices cementicias de elevadas prestaciones". *Materiales de Construcción*, 50(259) (2000): 5-12. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

Durante el proceso de fabricación del concreto blanco con adiciones de MK se deben tener en cuenta aspectos de importancia como el curado, manteniéndolo una constante hidratación; de igual manera, se debe controlar constantemente la dosificación tanto del MK como del agua y del aditivo reductor de agua, si se usa.

Al observar el terminado de las probetas se puede evidenciar una buena textura, mejor que la del concreto patrón; esto confirma lo dicho en el estado del sitio cuando se habló de un acabado mucho más uniforme, lo cual puede optimizar su utilización en acabados arquitectónicos.

Gracias a los cambios de densidad observados durante la experimentación con estas mezclas de aglutinantes de cemento y MK, se puede inferir que las estructuras realizadas con MK son más livianas que las realizadas solo con cemento, lo que indica una mejora sustancial frente a las cargas vivas que debe soportar la estructura de las edificaciones.

Referencias