

# ESTABILIZACIÓN DEL PIGMENTO AZUL ULTRAMAR EN CEMENTO PÓRTLAND BLANCO

## STABILIZATION OF ULTRAMARINE BLUE PIGMENT IN WHITE PORTLAND CEMENT

JUAN GUILLERMO MORALES RENDÓN

*Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas*

OSCAR JAIME RESTREPO BAENA

*Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, ojrestre@unalmed.edu.co*

Recibido para revisar Agosto 14 de 2007, aceptado Octubre 29 de 2007, versión final Enero 31 de 2008

**RESUMEN:** Se prepararon muestras de cemento azul a partir de cemento Pórtland Blanco Tipo III, según Normas Técnicas Colombianas NTC y pigmento Azul Ultramar U-601 adicionado en un 2% en peso del cemento. El cemento se caracterizó químicamente por fluorescencia de rayos X, y físicamente mediante los ensayos típicos según las NTC. Al pigmento y al cemento se les determinaron sus coordenadas cromáticas por espectrofotometría mediante el sistema CIELAB. Se eligieron varios aditivos y adiciones (entre orgánicos, inorgánicos y minerales) para ser adicionados al cemento azul en diferentes dosificaciones en peso. Tanto a las muestras de cemento azul sin aditivo como a aquellas con las diferentes dosificaciones de aditivos, se les determinaron sus características físicas de desempeño y coordenadas cromáticas a diferentes edades de curado en agua saturada con cal (1, 3, 7 y 28 días). Adicionalmente se les determinó el color en las mismas edades a especímenes curados a las condiciones ambientales del laboratorio. Se presentó decoloración total en todos aquellos cementos adicionados con aditivos orgánicos, y decoloración parcial en los cementos adicionados con algunos de los aditivos inorgánicos y ciertas adiciones minerales. Tanto los tiempos de fraguado, como las resistencias a la compresión y demás variables de desempeño experimentaron cambios significativos, en algunos casos positivos y en otros negativos, como consecuencia y efecto de las diferentes dosificaciones utilizadas de cada uno de los aditivos.

**PALABRAS CLAVE:** Cemento Pórtland Blanco, pigmento azul ultramar, coordenadas cromáticas, adiciones.

**ABSTRACT:** Samples of blue cement were prepared from white Portland cement type III, according to Colombian Standards (CS) and ultramarine blue pigment U-601 like admixture in 2% in weight of cement. Cement was chemistry tested by fluorescence of X-ray, and physical properties according to CS. Pigment and cement were tested in chromatic parameters by spectrophotometer through CIELAB system. Some additives and admixtures were selected (among organic, inorganic and mineral) to be added to the blue cement in a ranging of weight of cement. Samples of blue cement without additives but also those samples with different dosages of additives in the selected range were tested in physical and chromatic properties for different ages (1, 3, 7 and 28 days) when specimens were immersed in water saturated with lime. Additional to this, chromatic properties to some specimens at the laboratory conditions were tested at the same ages of time. Blue color completely disappeared with all organic additives and partially disappeared in some inorganic additives and mineral admixtures. Setting time, compressive strength and others characteristic of cement were affected, in some cases positive and in others negative, like effect of the different quantities of additives and admixtures added to the blue cement.

**KEY WORDS:** White Portland cement, ultramarine blue pigment, chromatic properties, admixtures

## 1. INTRODUCCIÓN

Por ser un material de edificación estructuralmente sano, útil para muchas cosas y efectivo en cuanto a costo, el concreto de cemento Portland se emplea ampliamente en áreas de circulación peatonal y vehicular [19]. No obstante, a pesar de sus cualidades, el acabado de los trabajos en concreto no es atractivo arquitectónicamente. Por tal razón y con el fin de conseguir un mejor efecto estético se han desarrollado tratamientos y técnicas especiales en la colocación del concreto, aumentando la tendencia a utilizar las superficies de éste como elementos de acabado [23].

Un elemento que aporta factores diferenciadores muy apreciables es el color. Con la incorporación de nuevos colores al concreto, diferentes a su gris natural, pueden conseguirse resultados muy favorables y de gran valor estético.

Uno de los mayores usos del color en concretos es el caso de los prefabricados (adoquines, bloques, terrazo, tejas, etc.) los cuales demandan una significativa cantidad de pigmentos. No obstante a partir de los años 80, principalmente en Norteamérica y Europa, se experimentó un mayor auge de la incorporación del color en el concreto vaciado en grandes edificaciones.

Una de las mejores prácticas para garantizar la uniformidad del color es el uso de los equipos de producción indicados en cuanto a dosificación de los elementos colorantes, su dispersión en el proceso y la medición de las coordenadas cromáticas del producto terminado. Dadas sus condiciones tecnológicas y logística de producción, podría afirmarse que la mejor opción sería incorporar el color en el cemento Portland, de forma tal que el usuario final no tenga que preocuparse por garantizar las condiciones adecuadas de la manipulación, uso y homogenización de los elementos colorantes, incurriendo con ello en sobrecostos innecesarios e incrementado las probabilidades de mayor variabilidad en el producto.

Para obtener la estabilización, se partió de dos materiales base como lo son el cemento Portland blanco y el pigmento azul ultramar, los cuales mezclados homogéneamente en ausencia de agua generan un cemento de tonalidad azul. Esta mezcla para efectos de seguimiento comparativo de la evolución de las coordenadas cromáticas en el tiempo se consideró como la muestra de referencia, mientras que el cemento blanco sin ningún tipo de adición como la referencia para el seguimiento de las variables de desempeño características del cemento Portland, acorde a lo exigido por las Normas Técnicas Colombianas NTC.

Con base en los resultados reportados en la bibliografía y en algunas experiencias industriales sobre el efecto que ciertos aditivos y adiciones ejercen sobre las variables de desempeño del cemento durante su proceso de hidratación, se seleccionaron varios de ellos teniendo principalmente como base su efecto en el cemento. Se pretendía con esto, contrarrestar o evitar el efecto que el cemento tiene sobre el pigmento una vez inicia su proceso de hidratación. Estos ensayos se propusieron desde la base científica de las reacciones planteadas que se considera tienen lugar entre los productos hidratados del cemento y los aditivos y adiciones que a este se le mezclen, incluidos los pigmentos.

Con ello se planteó modificar de alguna manera la cinética y tipo de reacciones que ocurren al interior de las pastas de cemento durante su proceso de hidratación y que alteran las características químicas y físicas del pigmento en detrimento de su estabilidad. La gran mayoría de los aditivos seleccionados se adicionaron al cemento de forma seca dada su naturaleza, únicamente uno de ellos se adicionó de forma líquida. Vale la pena aclarar que aunque se pretendió obtener un cemento de color azul en su estado seco, lo cual exigió aditivos o adiciones secas, esto no obstaculizó de ninguna manera el uso de aditivos líquidos que contribuyeran con la estabilización del pigmento, lo que significó fue que su adición se realizó durante la preparación de la pasta.

La elaboración de los prototipos y sus respectivos ensayos estuvieron de acuerdo a lo especificado en las NTC, los cuales consistieron en cubos de 5,0 cm de cara. Estos se curaron en agua saturada con cal y simultáneamente en condiciones ambientales de humedad relativa mínimo del 95% y temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  del cuarto de curado. Adicional a los cubos, los prototipos en los cuales se realizó la medición de los tiempos de fraguado y los cuales son troncoconos de diámetro inferior 70 mm, diámetro superior 60 mm y altura de 40 mm, fueron conservados bajo las mismas condiciones del cuarto de curado. A todos los prototipos se les realizó seguimiento de sus coordenadas cromáticas. A los cubos curados en agua saturada se les chequearon adicionalmente las respectivas variables físicas de desempeño en los tiempos típicos como lo son 1, 3, 7 y 28 días, tiempo en el cual se asume el cemento ha reaccionado en un 80%.

Los resultados mostraron efectos de incrementos y disminución en los tiempos de fraguado, lo cual puede ser positivo en ambos casos, dependiendo de la aplicación. Igualmente, para las resistencias se observaron algunos incrementos considerables para ciertas edades y dosificaciones. La evolución del color, en general, mostró una tendencia hacia la decoloración total con algunas decoloraciones parciales, del orden del 35% para ciertos aditivos, lo cual se consideró como los únicos casos en los que se logró la estabilización parcial del pigmento.

Si bien el objetivo de obtener la estabilización del pigmento azul ultramar en el cemento Pórtland se logró parcialmente, el presente trabajo de investigación abre la puerta a las posibilidades que representa la estabilización del pigmento desde el aspecto químico y la cinética de las reacciones involucradas en el proceso, complementado de alguna forma los avances alcanzados en investigaciones previas con el mismo objetivo común pero desde un enfoque diferente.

Los resultados obtenidos mediante el uso de los diferentes aditivos para varias dosificaciones y de disímil naturaleza

constituyen un significativo aporte como referente para futuras investigaciones no sólo en el campo de la estabilización del pigmento azul ultramar, sino también en el efecto que estos aditivos ejercen sobre algunas de las principales características del proceso de hidratación del cemento Pórtland, especialmente del blanco, y sus aplicaciones.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se parte inicialmente con la definición y consecución de los materiales a utilizar, siendo estos:

Cemento Pórtland blanco tipo III

Pigmento Azul ultramar U-601

Aditivos de tipo orgánico (4)

Aditivos de tipo inorgánico: hidróxidos, sales alcalinas y sulfatos (4)

Adiciones Minerales (3)

Se establece la dosificación del pigmento adicionado al cemento, para este caso, 2% en peso del cemento, dado que con esta cantidad se obtuvo una tonalidad satisfactoria durante la preparación del cemento azul.

Se definen, con base principalmente en lo observado en la literatura [19] y eventualmente normas técnicas, las cantidades a adicionar de los aditivos seleccionados.

Se toma una muestra patrón de cemento blanco y se prepara la muestra patrón de cemento azul mediante la adición y homogenización del pigmento.

Se preparan las diferentes muestras de cemento azul y aditivos mediante la adición de cada aditivo en las dosificaciones definidas a muestras de cemento azul tomadas de la muestra patrón. Esto se hizo con el fin de garantizar que en cada muestra hubiese la misma cantidad de pigmento y poder realizar análisis comparativos especialmente en la evolución en el tiempo de las coordenadas cromáticas.

La adición de uno de los aditivos que se encontraba en estado líquido, se realizó al momento de preparar las pastas de cemento,

los demás, en estado sólido, se adicionaron a la mezcla seca.

Se preparan las probetas acorde a lo estipulado en la NTC 220 y se procede con la medición de las variables físicas de desempeño acorde con las mismas. Adicional a lo establecido en las normas, se realiza medición del color.

Se trabaja con dos tipos de probetas:

Cubos de 50,8 mm., los cuales se curan bajo dos condiciones:

Sumergidos en agua saturada con cal para edades de 1, 3, 7 y 28 días acorde a lo establecido en la NTC 220. Adicionalmente se miden las coordenadas cromáticas para cada edad. Estas se definen como las condiciones más críticas para la estabilización del pigmento.

Al ambiente a las condiciones del cuarto de curado, humedad relativa mínima del 95% y temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a los cuales solo se les mide color a las mismas edades.

Troncoconos provenientes del ensayo de fraguado, los cuales se mantienen a las condiciones del cuarto de curado y sólo se les mide color a las mismas edades que a los cubos.

Se toman los datos de cada edad para evolución de las características de desempeño del cemento y evolución del color para cada muestra y cada probeta en cada ambiente. Se consignan los datos para su posterior análisis, verificación y validación.

[33] La medición del color se realizó mediante el sistema CIELAB, el cual fue el primer método internacionalmente aceptado, desarrollado por la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), como la tolerancia de color  $L^*a^*b^*$  (CIELAB).

Dado que el objetivo planteado en el presente trabajo fue la estabilización del pigmento, la forma directa de cuantificarla se realizó a través de la medición del color en las diferentes probetas que normalmente se utilizan para medir las variables típicas de desempeño del cemento Portland a sus

distintas edades. De esta forma, las probetas permitieron la medición de ambas variables.

Los cambios evidenciados durante cada una de las edades, especialmente en las probetas sumergidas en agua, tanto en las mediciones del color como en el de las variables físicas, constituyeron un control que permitió determinar nuevos ensayos con diferentes dosificaciones para algunos de los aditivos. Igualmente, descartar por completo el uso de otros.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos para las variables de desempeño del cemento, se tabularon y promediaron para una sola dosificación, es decir, como cada dosificación se trabajó por triplicado, los datos generados también se obtuvieron por triplicado. Estos datos se promediaron y se reportó el promedio como el resultado definitivo de la dosificación correspondiente a las tres muestras que la representaban.

Si bien se midieron las variables de desempeño típicas de un cemento, para efectos prácticos sólo se analizan en detalle las variables de tiempos de fraguado y resistencias a la compresión por ser las que mayor información arrojan al momento de determinar los efectos de los aditivos y el pigmento sobre el cemento.

#### 3.1 Efectos del pigmento

##### 3.1.1 Variables de desempeño

Dada la baja concentración, 2% en peso del cemento, adicionada del pigmento, se observa que sus efectos en las variables de desempeño del cemento son poco significativas, incrementos del orden del 8% en fraguados y flujo con relación agua cemento constante y del orden del 5% en resistencias, no se consideran de alta relevancia en comparación con la muestra patrón de cemento blanco, diferente a lo reportado por Restrepo J.C. [23] para dosificaciones del 5, 10, 15 y 20% de pigmento y su efecto en las resistencias.

### 3.1.2 *Evolución del color*

#### 3.1.2.1 *Cubos sumergidos en agua saturada con cal*

Tal y como lo mencionan Large, E.W., [30], Posada, N [21] y Restrepo, J.C., [23] el pigmento azul ultramar experimenta un cambio químico que genera, como efecto, la pérdida total de color al desaparecer por completo la tonalidad azul característica del pigmento, medido a través de la coordenada  $b^*$ . Tal cambio se evidenció en el presente trabajo de investigación para las muestras compuestas por cemento Pórtland y pigmento sin aditivos.

Adicional al efecto de decoloración, se percibió un olor característico (no identificable) y cierta tonalidad verde especialmente para edades de curado de tres y siete días, acorde a lo encontrado por Restrepo, J.C., [23] en su trabajo de investigación.

#### 3.1.2.2 *Cubos y troncoconos al ambiente*

Para este caso se observa una permanencia del color en su totalidad para los cubos al ambiente y una leve decoloración parcial hasta una edad de tres días, la cual se estabiliza de allí en adelante conservando la tonalidad del prototipo. En las referencias sobre investigaciones anteriores no se menciona nada al respecto.

## 3.2 **Efectos de los aditivos orgánicos**

### 3.2.1 *Variables de desempeño del cemento*

La adición de compuestos orgánicos retrasa (alarga) los tiempos de fraguado inicial y final para todas las dosificaciones y para cada uno de los aditivos utilizados. Los resultados corroboran lo reportado por diferentes autores en otras investigaciones donde se manifiesta su efecto sobre la reacción de hidratación del cemento [1], [3], [4], [5], [6], [7].

Con respecto a las resistencias su efecto es bastante significativo y complejo. Para uno de los aditivos en todas las dosificaciones se alcanzaron resistencias muy por debajo de la muestra patrón, llagándose incluso a presentar

desarrollos del orden de cero como consecuencia de la poca o prácticamente nula actividad hidráulica. En la práctica esto se evidenció a través del desmoldamiento de las probetas una vez se desmoldaban y sumergían en el agua. Por otro lado, los otros aditivos del mismo tipo para dosificaciones del orden del 0,1% y 0,5% generaron resistencias inclusive superiores a la muestra patrón para algunas edades, presentando cierta coherencia con lo mencionado por Amanmyrat J. et al [6]. No obstante, para dosificaciones superiores al 0,5% su efecto en las resistencias es en todo los casos, bastante nocivo, afectando negativamente el desarrollo del proceso de hidratación. En el caso de las sales orgánicas, se observa un comportamiento contrario dependiendo de la concentración, para concentraciones del orden del 0,1% se presenta una disminución en los tiempos de fraguado y un incremento en las resistencias a 3, 7 y 28 días, sin embargo, para mayores dosificaciones, 0,5% y 1% los efectos son contrarios y bastante significativos generando altos retardos en los tiempos de fraguado y muy poca actividad hidráulica con cero desarrollo de resistencias.

### 3.2.2 *Evolución del color*

#### 3.2.2.1 *Cubos sumergidos en agua saturada con cal*

Se observa decoloración total de las probetas desde muy temprana edad para todos los aditivos, con excepción de la sal orgánica, la cual presenta una decoloración parcial aunque bastante significativa con respecto a la tonalidad inicial. Si bien estos aditivos alteran el proceso de hidratación, no tienen ningún efecto o muy poco sobre la estabilidad del pigmento

#### 3.2.2.2 *Cubos y troncoconos al ambiente*

Para la mayoría de las probetas el color se mantiene en su totalidad salvo algunas excepciones donde se observa una leve fluctuación muy probablemente como efecto del secado y eventualmente algunas manchas

ocasionadas por el material utilizado como desmoldante.

### **3.3 Efectos de los aditivos inorgánicos: hidróxidos, sales alcalinas y sulfatos**

#### *3.3.1 Variables de desempeño*

Los resultados obtenidos con el uso de este tipo de aditivos en diferentes dosificaciones dan cuenta de lo complejo de las reacciones asociadas a los intercambios iónicos que se presentan entre estos compuestos y los componentes del cemento y los productos, resultado del proceso de hidratación, tal y como lo reportan algunas investigaciones [7], [8], [9], [10], [11].

Como consecuencia de su naturaleza, propiedades y dosificaciones, los efectos de su adición son evidentes, acelerando en unos casos y retrazando en otros, los tiempos de fraguado, igual situación se presenta para las resistencias. A diferencia de los aditivos de tipo orgánico, estos aditivos, aunque generan en algunos casos disminución en el desarrollo de resistencias, en general permiten su evolución.

#### *3.3.2 Evolución del color*

##### *3.3.2.1 Cubos sumergidos en agua saturada con cal.*

Si bien, no se obtiene la estabilidad total de pigmento, la evolución de las coordenadas cromáticas, permiten inferir, para algunos casos, que los efectos del intercambio iónico entre los aditivos y el cemento, surte cierto efecto al permitir una estabilización parcial del pigmento para edades de 28 días. Esta situación podría asociarse al efecto de que algunos iones metálicos disminuyen la solubilidad del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  acorde a lo planteado por Spierings, et. al., [7] y Large, E.W., Restrepo, J.C., y Posada, N. [30], [21], [23] respectivamente, donde manifiestan el efecto de este hidróxido sobre la destrucción de la estructura de los pigmentos ultramar. Para

otros los casos la decoloración es total y no se observan efectos de estabilización. Se nota también el efecto de la concentración (dosificación) del aditivo sobre la estabilización. Ciertas dosificaciones permiten mayores grados de conservación de la tonalidad que otras.

##### *3.3.2.2 Cubos y troncoconos al ambiente*

Al igual que para los aditivos orgánicos, no se observa decoloración significativa, salvo algunas excepciones leves para algunos casos.

### **3.4 Efectos de la adición del pigmento a la pasta de cemento y aditivos**

Esta práctica en términos generales no presentó ningún comportamiento diferente a los comportamientos observados cuando el pigmento se incorporó a la mezcla desde la misma preparación en seco. Tanto los tiempos de fraguado como las resistencias no evidenciaron diferencias significativas. La evolución del color, en la cual se esperaba algún comportamiento diferente como una mejor estabilidad, no presentó cambios sustanciales positivos.

### **3.5 Efectos de las adiciones minerales**

Vale la pena mencionar que para las condiciones del presente trabajo, donde el cemento Pórtland utilizado es blanco, se genera la exigencia de que el color de las adiciones minerales utilizadas presente una tonalidad que no interfiera en mayor grado con la tonalidad del cemento final. En su defecto, el no cumplimiento de esta condición genera una limitación significativamente en cuanto a las dosificaciones a utilizar.

#### *3.5.1 Variables de desempeño*

En general los tiempos de fraguado no presentaron mayores variaciones, excepto para una de las muestras en cuya dosificación se utilizó la adición como sustitución del cemento

en un 20% dado su carácter puzolánico y color, y donde era de esperarse tal retraso. En cuanto a las resistencias, se observa el mismo comportamiento al presentarse una disminución de las mismas para todas las edades y lo cual es típico de las puzolanas cuyo efecto en las resistencias es a edades superiores a los 28 días.

Las otras adiciones minerales generan incrementos significativos y leves en las resistencias para algunas edades respectivamente, denotando también actividad puzolanita a pesar de las bajas dosificaciones utilizadas, especialmente por efectos de incidencia en el color final de las muestras.

### 3.5.2 *Evolución del color*

#### 3.5.2.1 *Cubos sumergidos en agua saturada con cal*

Una de las adiciones minerales, de carácter puzolánico, obtenida a partir de la activación térmica, no generó ninguna estabilidad en el pigmento al presentarse decoloración total de la probeta. Esto de alguna forma es contrario a lo sugerido por Large, E.W., [30]. Situación diferente se experimentó para las otras adiciones minerales, donde ambas generaron cierta estabilidad del pigmento al presentar una decoloración parcial de las probetas, 36% y 43% para los respectivos niveles de adición.

Una de las adiciones tiene como limitante su tonalidad (gris), lo cual impide su dosificación en mayores cantidades a las utilizadas en el presente trabajo. La otra, evidencia una situación bastante particular al generar una mayor estabilización para una dosificación específica.

#### 3.5.2.2 *Cubos y troncoconos al ambiente*

Al igual que en todos los demás ensayos, se conserva la tonalidad de las probetas para cada edad, observándose cambios leves de la misma, excepto para una de las adiciones, que presentó una significativa decoración para los troncoconos y no para los cubos al ambiente

como fue la constante para la gran mayoría de la probetas con todas las dosificaciones y aditivos. Como hipótesis del fenómeno se plantea su alto nivel de sustitución por cemento y el efecto del secado (a secar disminuye su tonalidad), aunque no pueden descartarse efectos de mayor reactividad ni fallas en las mediciones.

Como se discutió en su momento, los resultados obtenidos con la adición de los diferentes aditivos y adiciones seleccionados en sus respectivas dosificaciones, corroboran muchas de las conclusiones planteadas en las diferentes investigaciones realizadas a lo largo del tiempo tal y como se presentó en el capítulo del estado del arte.

Si bien, en el presente trabajó, cuyo objetivo era la estabilización del pigmento, no se validó o corroboró los mecanismos de reacción planteados en las investigaciones para el proceso de hidratación del cemento con los aditivos y adiciones seleccionados, sí se midieron y corroboraron los efectos planteados en las investigaciones como consecuencia de tales mecanismos. Las variaciones observadas en variables típicas como los tiempos de fraguado y las resistencias a la compresión dan cuenta de ello, al igual que el fenómeno de mayor o menor decoloración evidenciado durante toda la fase experimental.

De otro lado, la hipótesis planteada de interferir en los mecanismos de reacción ocurridos durante el proceso de hidratación del cemento por medio del uso de compuestos que por su naturaleza tuvieran el potencial de afectar tal proceso y que como consecuencia se obtuviera la estabilización del pigmento, arrojó resultados positivos al obtenerse en varias oportunidades una estabilización parcial del mismo.

Finalmente, se corrobora con los resultados, lo planteado por muchos de los investigadores sobre la complejidad del proceso de hidratación del cemento Pórtland, lo que continúa siendo un gran reto para las futuras investigaciones al respecto.

#### 4. CONCLUSIONES

Las adiciones minerales, dependiendo de su estructura, origen y dosificación, generan diversos efectos sobre la estabilidad del pigmento. Una de ellas presenta un nivel aceptable de estabilización al conservar la tonalidad de las probetas inmersas en agua en un 57% de la original. La segunda, para una dosificación determinada, muestra un nivel bastante aceptable, 64%, mientras que para las demás dosificaciones presenta niveles de estabilización relativamente bajos, 41% y 34%. La tercera presenta un nivel de estabilización bastante bajo, 28%, y poco aceptable.

Dos de los aditivos inorgánicos, generan niveles de estabilización aceptables al conservar la tonalidad de las probetas sumergidas en agua en niveles superiores al 50% de la tonalidad inicial (68%, 59% y 56%) para algunas de sus dosificaciones. Las demás dosificaciones y aditivos de este tipo presentan valores medios y bajos menos aceptables, cuyo rango oscila entre el 10% y 48% de conservación del color.

Solo uno de los aditivos orgánicos, la sal, para una de las dosificaciones utilizadas, generó un efecto parcial de estabilización al conservar la tonalidad en un nivel del 48%.

Los aditivos orgánicos puros presentaron niveles de estabilización del pigmento relativamente bajos y poco aceptables en comparación con los obtenidos con otros aditivos y adiciones.

Los resultados de decoloración total obtenidos en las mezclas de pigmento azul con cemento Portland y sin ningún tipo de aditivo, corroboran lo evidenciado en investigaciones anteriores sobre la inestabilidad de este pigmento en mezclas con cemento Portland.

En general, los aditivos de tipo orgánico al igual que sus sales generan retardos en los tiempos de fraguado de las pastas de cemento. Igualmente la evolución de las resistencias se ve afectada por su adición pero a diferencia de los fraguados, con incrementos y

disminuciones de las mismas, asociados a la dosificación y estructura química de los mismos.

Los aditivos inorgánicos, sales e hidróxidos alcalinos y algunos sulfatos, afectan significativamente el proceso de hidratación de las pastas de cemento Portland, retrasando y acelerando los fraguados e incrementando y disminuyendo las resistencias como efecto, muy probablemente, de los intercambios iónicos de sus elementos con los del cemento y sus productos generados durante su proceso de hidratación.

Las adiciones minerales, en especial aquellas con actividad puzolánica, generan incrementos en las resistencias acordes con los niveles de adición y/o sustitución dosificados. Efectos similares se observan en los fraguados.

Los diferentes niveles de decoloración experimentados en la mayoría de las probetas sumergidas en agua y la estabilidad del color de la totalidad de las probetas al ambiente, denotan la necesidad de un medio de difusión como el agua para que el pigmento sea químicamente atacado por los agentes agresores que afectan su estructura.

Si bien los mecanismos de reacción entre los compuestos del cemento y sus productos de hidratación con el pigmento azul ultramar no son claros, los resultados muestran que es factible intervenir sobre tales mecanismos generando retrasos e inhibición en la ocurrencia del mismo promoviendo otro tipo de reacciones y obteniendo como resultado la estabilización del pigmento.

#### REFERENCIAS

[1] N.B. SINGH, Influence of calcium gluconate with calcium chloride or glucose on the hydration of cements, Department of Chemistry University of Gorakpur, India, in Cement and Concrete Research, vol. 5, pp. 545-550, 1975.



- [2] N.B. SINGH, Effect of gluconates on the hydration of cement, Department of Chemistry University of Gorakpur, India, en *Cement and Concrete Research*, vol. 6, pp. 455-460, 1976.
- [3] SAVERIA MONOSI, GIACOMO MORICONI, MARCO PAURI AND MARIO COLLEPARDI, Influence of lignosulphonate, glucose and gluconate on the  $C_3A$  hydration, Department of Materials and Earth Sciences, University of Ancona, Ancona, Italy, *Cement and Concrete Research*, vol. 13, pp. 568-574, 1983.
- [4] SAVERIA MONOSI, GIACOMO MORICONI, MARCO PAURI AND MARIO COLLEPARDI, Influencia del gluconato, lignosulfonato y glucosa sobre la hidratación del  $C_3A$  en presencia de yeso con y sin adición de cal, Department of Materials and Earth Sciences, University of Ancona, Ancona, Italy, *Cement and Concrete Research*, vol. 14, pp. 105-112, 1984.
- [5] MARIA C. GARCI JUENGER, HAMLIN M. JENNINGS, New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes, Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales, Northwestern University, Illinois, USA, en *Cement and Concrete Research*, vol. 32, pp. 393-399, 2001.
- [6] AMANMYRAT JUMANDERDIYEV, M. HULUSI OZKUL, ALI R. SAGLAM, NAZMIYE PARLACK, The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Estambul, Turquía, en *Cement and Concrete Research*, vol. 35 pp. 874-882, 2005.
- [7] G.A.C.M. SPIERINGS AND H.N. STEIN, The influence of  $Na_2O$  on the hydration of  $C_3A$ . I Paste hydration, Laboratory of General Chemistry Technological University, Eindhoven, The Netherlands, en *Cement and Concrete Research*, vol. 6, pp. 265-272, 1976.
- [8] G.A.C.M. SPIERINGS AND H.N. STEIN, The influence of  $Na_2O$  on the hydration of  $C_3A$ . II Solution hydration, Laboratory of General Chemistry Technological University, Eindhoven, The Netherlands, en *Cement and Concrete Research*, vol. 6, pp. 487-496, 1976.
- [9] K. OGAWA and D.M. ROY, Hidratación del  $C_4A_3\check{S}$ , formación de etringita y su mecanismo de expansión. Conclusiones del efecto del CaO, NaOH y NaCl, Onoda Cement Co., Ltd., Tokyo, Japón and Materials Research Laboratory, The Pennsylvania State University, En *Cement and concrete research*, vol. 12, pp 247-256, 1982.
- [10] S. LONG, C. LIU AND Y. WU, Esca study on the early  $C_3S$  hydration in NaOH solution and pure water, China Building Materials Academy, Beijing, China, en *Cement and Concrete Research*, vol. 28. No 2, pp. 245-249, 1998.
- [11] LUCIANO GOBBO, LILIA SANT'AGOSTINO, LEONARDO GARCEZ,  $C_3A$  polymorphs related to industrial clinker alkalies content, Instituto de Geociencias, Universidad de Sao Paulo, Brasil, en *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp. 657-664, 2004.
- [12] MURAT, M. Preliminary investigation on metakaolinite, en *Cement and Concrete Research*, vol. 13, pp 259-266, 1983.
- [13] DE SILVA, P. S. y GALSSER, F.P. Hydration of cements based on metakaolin: thermochemistry, en *Advances in Cement Research*, vol.3, No 12, pp 167-177, oct. 1990.
- [14] LITTLE, DALLAS, Fundamentals of the stabilization of soil with lime, National Lime Association, bulletin No. 332, U.S.A.
- [15] POSADA, N, SANMARTIN TORO, N, Coloración de Cemento con Pigmento Azul Ultramar, en *DYNA*, Año 70, No 139, p 35-41, Julio de 2003.
- [16] RESTREPO, O. J., Pigmento Azul Ultramar, Caracterización del proceso y producto. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, Oviedo, España. 1995.

- [17] RESTREPO, J.C., Tesis de Maestría, Fabricación de Hormigones Pigmentados con Azul Ultramar, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 2004.
- [18] ENDRIB, H. Inorganic Coloured Pigments Today, Ulrich Zorl, 1998, ISBN 3-87870-448-8.
- [19] TAYLOR, H.F.W. Enciclopedia de la química industrial. La Química de los Cementos. Traducción de F. Romero Rossi, Escuela de Ingenieros Industriales de Bilbao, Universidad de Deusto. Ediciones URMO, Bilbao, España. 1967.
- [20] LEA'S, Chemistry of cement and concrete, Fourth Edition, Peter C. Hewlett, 2001.
- [21] DUDA, H. W. Manual tecnológico del Cemento. Barcelona, Técnicos asociados S.A. España, 1997.
- [22] NEVILLE, A. M. Tecnología del cemento. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Tomos I y II. Ciudad de México: Nueva Serie. 1977.
- [23] REZOLA IZAGUIRRE JULIAN, Cemento Pórtland Artificial Blanco y sus Aplicaciones, Madrid, 1975.
- [24] LARGE, E.W. Ultramarine Blue. Standard Ultramarine & Color Co. American Perfumer. Septiembre 1962.