

EVALUACIÓN DE LOS CONCRETOS COLOREADOS Y BLANCOS

Autores : Enrique Pasquel Carvajal*, Carlos Guerra Cisneros**, Johny Bendezú Acero ***, Miguel Ángel Gonzáles Montoro ***

1. OBJETIVO: El objetivo principal de la presente investigación es la de evaluar las características de resistencia y durabilidad de los concretos coloreados y blancos

2. RESUMEN : Para el desarrollo de la investigación se usaron pigmentos a base de óxidos de Hierro y óxido de Cromo en dosificaciones de 2, 4, 6 y 8% respecto al peso del cemento Sol Tipo I, y para los concretos blancos se usaron los cementos Pórtland blanco Huascaran y Nare, a los cuales se les añadió dióxido de Titanio en dosificaciones de 2 y 4% respecto al peso del cemento para incrementar la blancura del concreto.

Se realizaron pruebas de control en estado fresco de asentamiento, contenido de aire, peso unitario y temperatura, así como ensayos en estado endurecido de compresión, flexión por tracción, abrasión, contracción y permeabilidad. Los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de los pigmentos hasta una dosificación de 8% beneficia hasta cierto punto las propiedades relacionadas a la resistencia mecánica y durabilidad del concreto. Por tal razón los concretos coloreados y blancos que tienen principalmente una función estética, también pueden cumplir a la vez una función estructural. Estos concretos tienen un costo inicial mayor debido al pigmento incorporado, pero la permanencia del color integral del concreto significa un ahorro en comparación con los gastos que implica aplicar y mantener capas de desgaste, recubrimiento o acabados pintados.

3. INTRODUCCIÓN: El uso del concreto coloreado es cada vez más frecuente en la construcción, y las razones están dadas por las ventajas de todo tipo que ofrece, entre las que se cuentan la durabilidad del material y la permanencia del color, que no pierden su intensidad, ni se deterioran con el paso del tiempo. Su propiedad principal es la variada tonalidad de colores con las que contribuye a lograr una arquitectura armónica y compatible con el paisaje natural o artificial. Los tonos en el concreto coloreado pueden ser tan durables como los que se encuentran en la naturaleza, la evidencia de la durabilidad de los colores en el concreto puede verse en proyectos de concreto coloreado en todo el mundo que han mantenido su atracción durante 25 años o más (Ref. 1). Integralmente mezclados en el concreto, los pigmentos son partículas microscópicas de alrededor de una décima de diámetro de un grano de cemento Pórtland, su tamaño

pequeño los ayuda a adherirse al cemento Pórtland para llegar a formar parte permanente de la mezcla de concreto. Combinado con la durabilidad intrínseca del concreto, el color integral proporciona una belleza durable para complementar cualquier diseño.

El uso del color se está incrementando en casi todos los tipos de concreto, desde el vaciado en obra, pasando por el premoldeado hasta los productos manufacturados de concreto, tales como bloques para mampostería, muros de retención segmentados y adoquines entrelazados. No es sorprendente ver cuánta belleza y valor agrega el color al concreto. En muchos proyectos arquitectónicos, el concreto coloreado es una alternativa económica a los materiales costosos de acabados de construcción, tales como la piedra o el azulejo, si se usan en combinación con texturas, agregados expuestos, patrones estampados, revestimientos de forro arquitectónicos y otros acabados decorativos.

4. ASPECTO TEÓRICO

4.1 Concreto Arquitectónico: Es el concreto que esta expuesto permanentemente y que, por consiguiente, requiere de un cuidado especial en la selección del encofrado y de los materiales que se utilizan para preparar el concreto, así como del colocado y el acabado, a fin de obtener la apariencia arquitectónica deseada (Ref. 2).

4.2 Concretos Coloreados: Es un concreto arquitectónico que puede ser producido usando cementos o agregados que tienen diferentes características de color, inherentes o agregadas, añadiendo pigmentos de colores, o una combinación de estos. Cuando son usados los agregados de colores, ellos deberán ser expuestos en la superficie del concreto.

4.3 Pigmentos Para Concreto: Los pigmentos específicamente preparados para su uso en concretos y morteros están disponibles como materiales naturales y sintéticos, deben poseer ciertas características que les permite resistir a la agresividad del cemento a las reacciones álcali, a los rayos ultra violeta del sol, al intemperismo, etc. Están hechos para darle un color adecuado al concreto, sin afectar de manera importante las propiedades físicas requeridas de la mezcla. Los requisitos que estos pigmentos deben cumplir se encuentran en la norma ASTM C-979 (Ref. 3). El comité ACI 212.3R-25 (Ref. 4) se refiere a los siguientes pigmentos para ser utilizados en concretos, los cuales pueden combinarse entre ellos para obtener tonos intermedios.

Tonos de Color	Pigmento
Grisés o negros	Oxido de fierro negro Mineral negro Carbón negro Dióxido de Manganeso
Azul	Azul cobalto Azul ultramarino
Rojo claro o rojo oscuro	Oxido de fierro rojo
Marrón	Oxido de fierro marrón Dióxido de Manganeso
Marfil, crema	Oxido de fierro amarillo
Verde	Oxido de cromo
Blanco	Dióxido de titanio

Cuadro N° 1: Pigmentos que pueden ser utilizados para colorear el concreto.

4.4 Dosificación del Pigmento: Lo máximo prescrito para dosificar la proporción de un pigmento debe ser igual o menor que 10% del peso del cemento. Cuando una combinación de pigmentos es usada para producir un color e intensidad deseado, la proporción de la dosificación total de todos los pigmentos combinados no excederá a ninguno de las máximas dosificaciones de proporciones de los componentes individuales del pigmento (Ref. 3).

4.5 Cemento Blanco: El clinker Pórtland para este cemento se produce seleccionando materias primas que contienen proporciones muy bajas e incluso nulas, de óxidos de hierro y manganeso. En el país los cementos blancos son utilizados básicamente para trabajos arquitectónicos y decorativos, en donde no se requieren grandes consumos de cemento, ya que su precio es relativamente alto.

3.6 Ventajas del Concreto Coloreado: Las ventajas que nos ofrece este material son diversas como: garantiza la uniformidad de color en toda la mezcla, se coloca en cualquier elemento estructural, variedad de colores, fraguado y desarrollo de resistencias normal, se le puede dar el acabado deseado (lavado, sopleteado, estampado, etc.), colores permanentes estables, bajos costos de mantenimiento, etc.

5. ASPECTO METODOLÓGICO

La investigación fue desarrollada íntegramente en las instalaciones de la empresa Unión de Concreteras S.A. Los materiales utilizados tales como arena, piedra, agua y cemento cumplieron con los requerimientos de las normas ASTM y NTP aplicables. Los cementos blancos Huascarán y Nare, así como los pigmentos, fueron adquiridos localmente. En el cuadro 2 se detalla la procedencia de los insumos utilizados.

Descripcion	Procedencia	P.E. (Kg/m3)	Area Especifica BET*/ Blaine ** en (cm2/gr)	Absorción de Aceite (g/100g)
Cemento Gris Sol T-I	Cemento Lima	3140	3200**	-
Cemento Blanco Huascarán T-I	Agregados Calcareos	3140	3600**	-
Cemento Blanco del Nare T-III	Cementos del Nare	3140	3900**	-
Agua	Potable	1000	-	-
Arena	Jicamarca - Unicon	2640	-	-
Piedra # 5	Jicamarca - Unicon	2731	-	-
Piedra # 67	Jicamarca - Unicon	2710	-	-
Polyheed RI	MBT	1220	-	-
Bayferrox Amarillo 918 LO	Bayer	4000	150000*	22
Bayferrox Rojo 732	Bayer	4600	120000*	23
Bayferrox Negro 318	Bayer	4400	130000*	11
Oxido de Cromo Verde GN	Bayer	5200	120000*	11
Dióxido de Titanio R-706	Du Pont	4000	130000*	-

Cuadro Nº 2: Materiales utilizados para la investigación.

Se realizaron mezclas de concreto de 72 lt por tanda, con dos replicas por cada tipo de concreto, las resistencias características ($f'c$) fueron de 210 Kg./cm² en los concretos coloreados ($a/c = 0.69$) y en el caso de los concretos blancos para la dosificación de la mezcla de concreto se uso una relación $a/c = 0.56$ de acuerdo a la recomendación que da el comité ACI 303R-91(Ref. 5), obteniéndose resistencias variables de acuerdo al tipo de cemento que se utilizo.

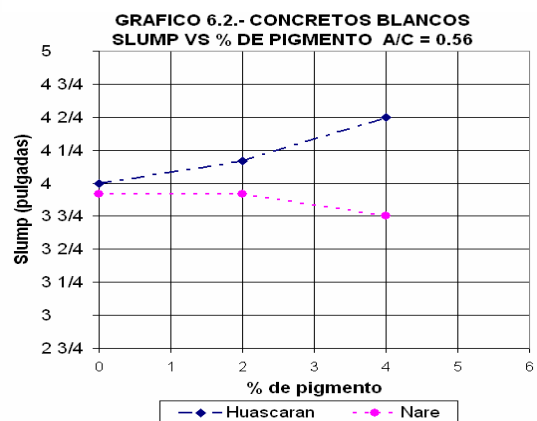
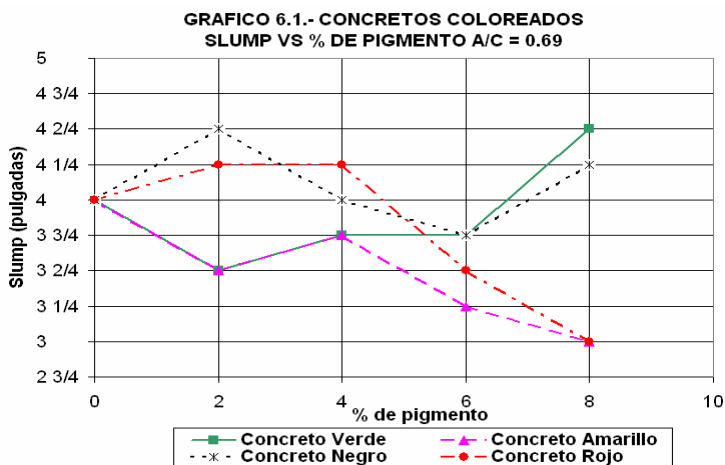
Para la elaboración de los concretos coloreados se uso el cemento Pórtland de color gris Sol, con los pigmentos Bayferrox Amarillo 918 LO, Bayferrox Rojo 732, Bayferrox Negro 318 y Oxido de Cromo Verde GN, los cuales se dosificaron en 2, 4, 6 y 8% respecto al peso del cemento, además se hizo una mezcla de control sin pigmento, con las mismas proporciones de los materiales.

Para la elaboración de los concretos blancos se usaron los cementos Pórtland blancos Huascarán y Nare, además también se utilizo el dióxido de Titanio como pigmento con la finalidad de incrementar la blancura del concreto, el cual fue dosificado en 2 y 4% respecto al peso del cemento. Adicionalmente se realizo una mezcla de control con el

cemento gris Sol con las mismas proporciones de los materiales que se usaron para hacer los concretos blancos.

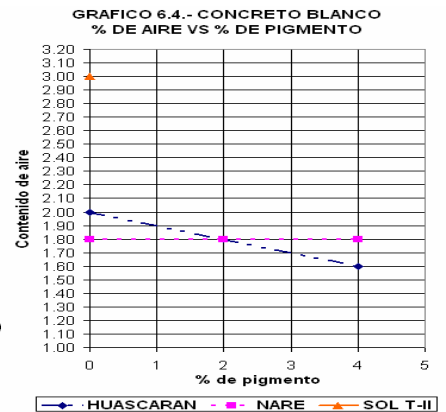
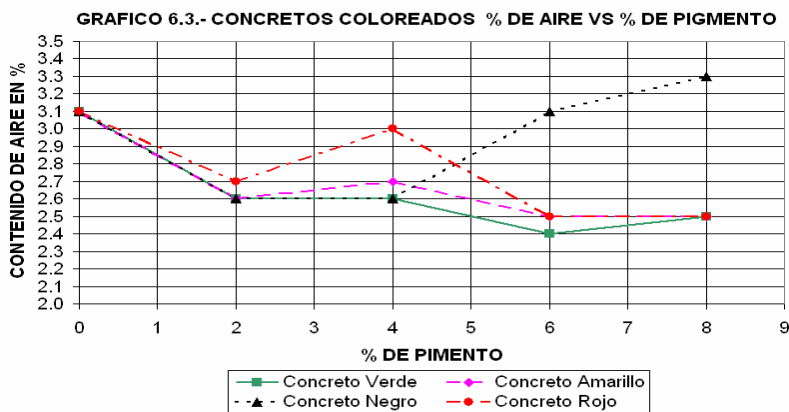
Para comparar las características de resistencia y durabilidad de los concretos coloreados y blancos respecto a los controles se realizaron ensayos en concreto fresco de asentamiento, contenido de aire, temperatura y peso unitario, y en los concretos en estado endurecido se realizaron ensayos de compresión, flexión por tracción, abrasión, todos estos a los 28 días de vaciado según las normas ASTM aplicables (Ref. 6-12). Para el ensayo de contracción se realizaron lecturas a 1, 28, 32, 35, 42, 56 y 98 días según ASTM C157-93 (Ref 13) y ASTM C490-96 (Ref. 14). Así mismo se midió la permeabilidad del concreto a los 28 días utilizando un permeabilmetro Torrent. Finalmente se llevaron a cabo pruebas cualitativas sobre la influencia de las condiciones atmosféricas de curado sobre la tonalidad final del color.

6. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

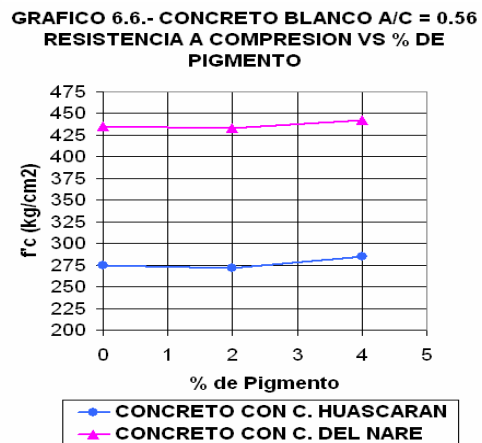
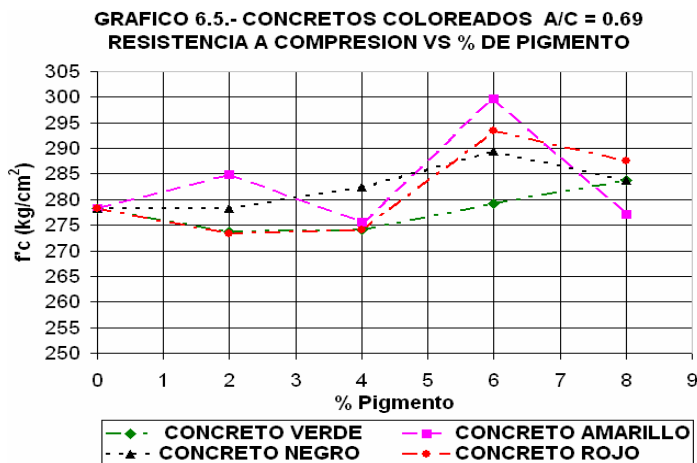


En el Gráfico 6.1 se observa que para el caso de los concretos negro y verde existe una variación en el revenimiento de $\pm 1/2''$ el cual se encuentra dentro de los límites de la tolerancia para un concreto de 4'' de asentamiento (Ref 15). La trabajabilidad probablemente es favorecida por la forma esférica de las partículas de estos pigmentos (Ref 16).

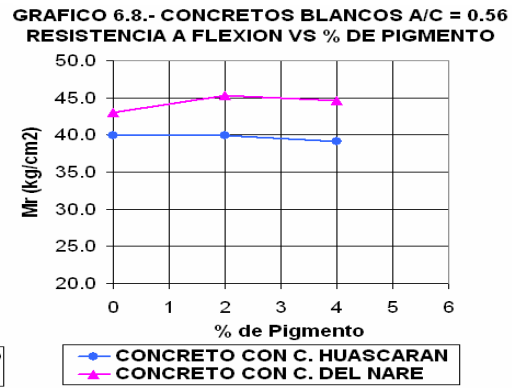
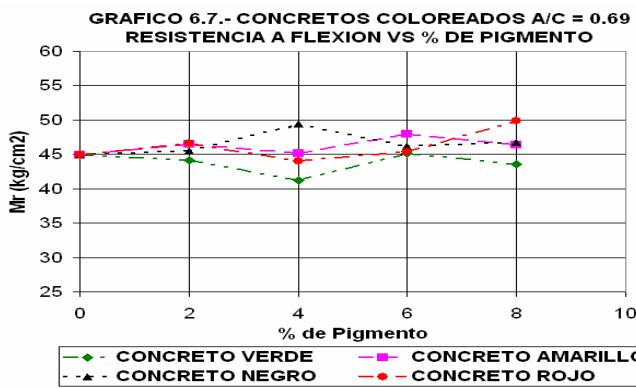
Para el caso de los concretos rojo y amarillo, el revenimiento disminuye en 1'' para la máxima dosificación de 8%, esto se debe probablemente a que estos pigmentos tienen una mayor absorción y una forma acicular por lo que requieren una mayor cantidad de agua para un asentamiento dado (Ref 16). En el Gráfico 6.2 se observa que el uso del pigmento blanco en su máxima dosificación de 4% no influye de manera significativa en la consistencia del concreto fresco.



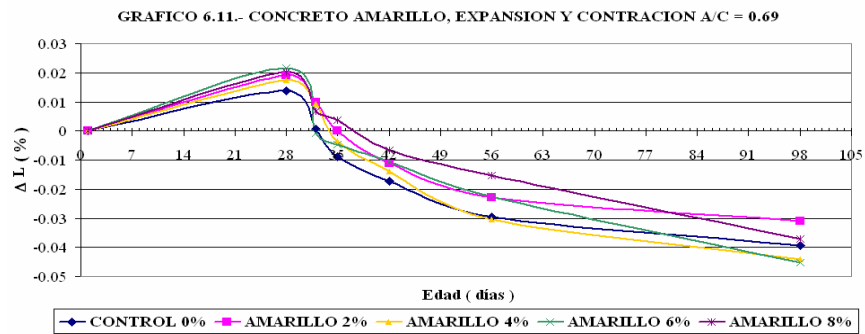
En el Gráfico 6.3 y 6.4 se puede apreciar la disminución del contenido de aire en los concretos coloreados y blancos a medida que se aumenta la dosificación del pigmento, esto debido probablemente al aumento de la compacidad al tener los pigmentos un tamaño de partícula mucho menor que la del cemento, según se aprecia en el cuadro 2 (Ref 16).



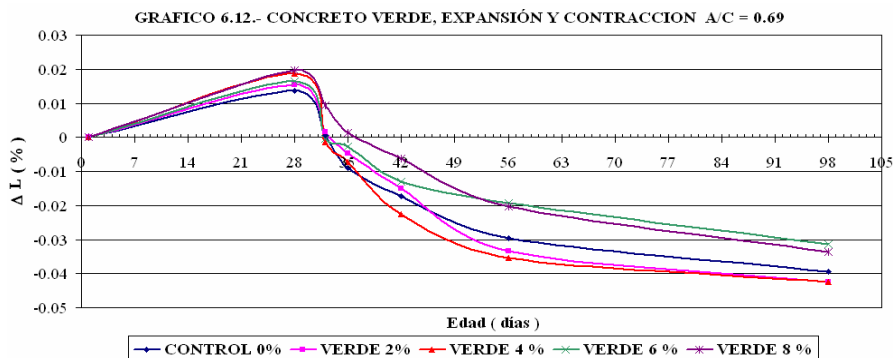
En el Gráfico 6.5 se observa el aumento de la resistencia a compresión del concreto coloreado a medida que se aumenta el porcentaje de pigmento. Para la máxima dosificación del pigmento de 8%, el incremento es en promedio de un 5% respecto al concreto sin pigmento (control) para una misma relación a/c de 0.69. El Grafico 6.6 muestra una tendencia similar, en ambos casos esto es debido probablemente al aporte beneficioso de las partículas finas de pigmento en " llenar " u ocupar los espacios disponibles, mejorando a su vez la distribución del cemento. Por otro lado, la relación agua/ cemento efectiva disminuye a medida que aumenta la cantidad de pigmento en la mezcla de concreto, ya que éstos absorben cierta cantidad de agua.



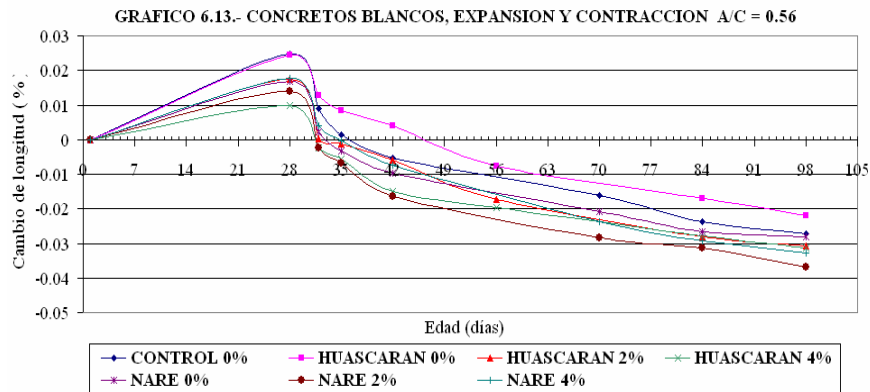
En el Gráfico 6.7 se observa un aumento de la resistencia a la flexión en un 3.5% en promedio respecto al concreto sin pigmento (control) para la máxima dosificación del pigmento (8%). En el caso de los concretos blancos se observa un comportamiento similar a la de los concretos coloreados tal como se observa en el Gráfico 6.8. De igual manera que en la resistencia a la compresión, éste incremento se debe a la presencia de los pigmentos.



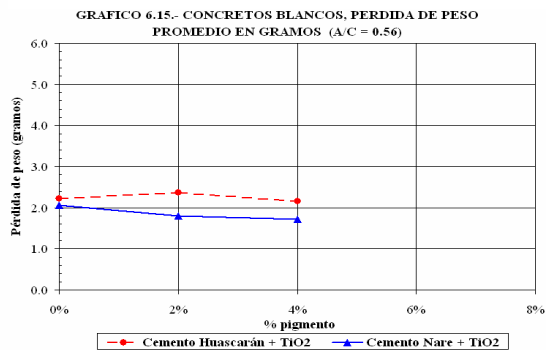
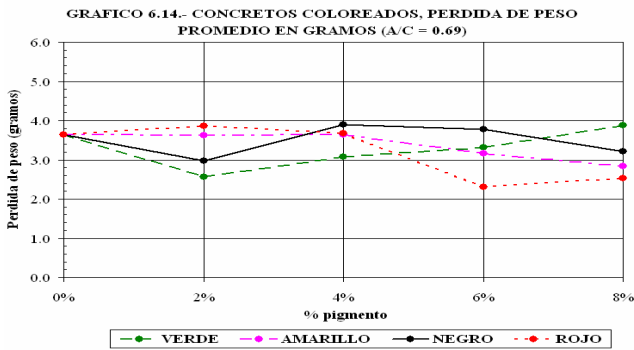
En el Gráfico 6.11 se muestran los cambios volumétricos del concreto coloreado con Oxido de Hierro Amarillo, teniéndose un leve aumento de la expansión y por consiguiente una disminución en los niveles de contracción respecto del concreto de control (sin pigmento). El incremento en la expansión probablemente se debe a la formación de ciertos cristales durante el periodo de curado, que luego van a restringir levemente los niveles de contracción durante el periodo de secado (Ref. 16) . El efecto " filler " del pigmento también tiene influencia en la contracción final alcanzada.



En el Gráfico 6.12 se aprecian los cambios volumétricos en el concreto cuando le incorporamos Oxido de Cromo Verde, observándose un comportamiento similar al caso anterior.



En el Gráfico 6.13 se presentan los cambios volumétricos correspondientes a los concretos blancos. Se observa que la incorporación del dióxido de Titanio reduce ligeramente la expansión e incrementa la contracción respecto del control sin pigmento, sin superar el nivel usual de 0.040% para un concreto normal sin pigmento.



En los Gráficos 6.14 y 6.15 se muestra que la incorporación de los pigmentos al concreto favorece la resistencia al desgaste, pues se obtuvieron pérdidas de peso menores a la del concreto de control. En el caso de los concretos coloreados la reducción fue del 30% y en los concretos blancos fue del 17% respecto de sus respectivos controles. Este incremento en la resistencia a la abrasión está relacionados con el leve incremento de la resistencia a compresión que se observa cuando incorporamos los pigmentos al concreto.

GRAFICO 6.16.- CONCRETOS COLOREADOS, EVALUACION DE LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DE CONCRETO EN FUNCION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD kT (A/C = 0.69) CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DE CONCRETO

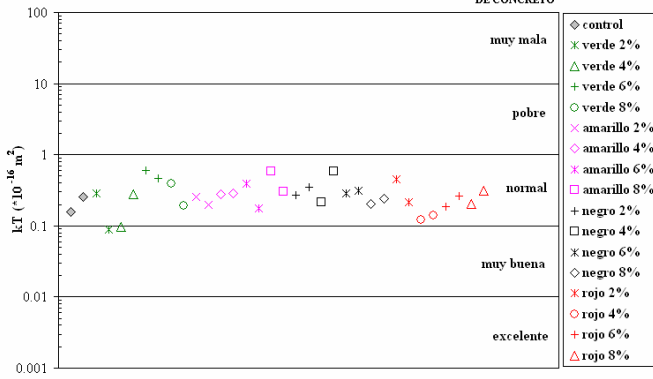
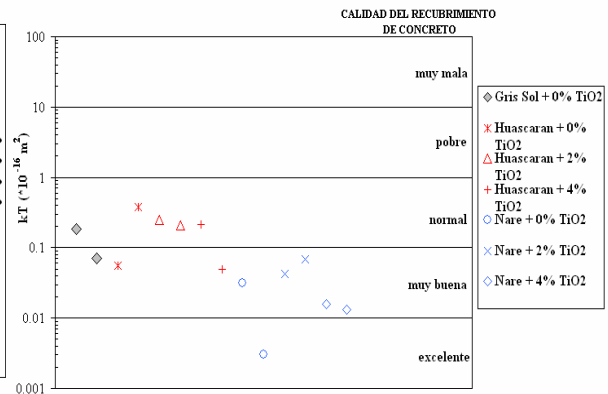


GRAFICO 6.17.- CONCRETOS BLANCOS, EVALUACION DE LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DE CONCRETO EN FUNCION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD kT (A/C = 0.56) CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DE CONCRETO



En los Gráficos 6.16 y 6.17 se presenta el valor del " coeficiente de permeabilidad " kT del concreto. En el caso de los concretos coloreados se observa cierta variabilidad en los resultados alrededor del valor de control, pero en general todos ellos caen dentro del rango 0.1 a $1 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ correspondiente a la clasificación "normal". Los concretos blancos elaborados con cemento blanco Huascarán muestran valores de kT similares al de un concreto gris elaborado con cemento Sol; en cambio el concreto producido con cemento blanco Nare presenta resultados inferiores a los otros concretos, obteniéndose una calidad de recubrimiento "Muy buena" e inclusive "Excelente", esto debido a la mayor fineza del cemento. Por otro lado, comparando ambos gráficos, se comprueba que los concretos con menor relación agua cemento son mas impermeables.

7. COSTOS

GRAFICO 7.1: COSTO DEL CONCRETO COLOREADO RESPECTO AL CONCRETO ESTANDAR A/C = 0.69

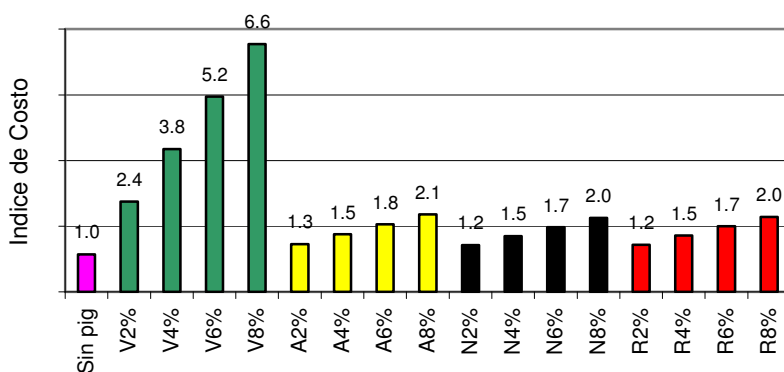
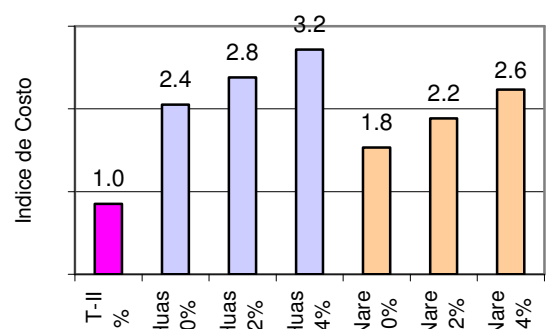


GRAFICO 7.2 COSTO DE LOS CONCRETO BLANCOS RESPECTO AL CONCRETO ESTANDAR A/C = 0.56



Como se puede apreciar en los gráficos 7.1 y 7.2 los concretos coloreados y blancos son más caros que los concretos convencionales, pero si a estos concretos les sumamos las ventajas que nos ofrecen como son: la uniformidad del color en toda la mezcla, colocación en cualquier elemento estructural, fraguado y desarrollo de resistencia normal, darles el acabado deseado (lavado, sopleteado, estampado, etc.), colores permanentes y estables y

los bajos costos de mantenimiento, estos concretos nos pueden dar una relación costo/beneficio menor a la de los concretos convencionales.

8. FOTOS



8.1.- Mezclas de concretos coloreados y blanco, variedad de intensidades de color obtenidas y aplicación del concreto coloreado.

9. CONCLUSIONES

- El revenimiento de los concretos rojo y a amarillo disminuye hasta en 1" con la máxima adición de pigmento, probablemente debido a la forma acicular de las partículas de pigmento y a su elevada absorción, por otro lado, los concretos verde y negro mejoran ligeramente su trabajabilidad debido a que las partículas de los pigmentos son esféricas y poseen una menor absorción.
- El contenido de aire en el concreto disminuye a medida que se aumenta el contenido de pigmento, esto es debido a que las partículas de pigmento, que son extremadamente finas, aumentan la compacidad del concreto. Esta característica de los pigmentos influye también en la resistencia a compresión y flexión del concreto, la cual se ve incrementada en el orden de 5% y 3.5% respectivamente para la máxima dosificación de pigmento. Adicionalmente, los pigmentos contribuyen a mejorar la resistencia del concreto a la abrasión, se ha observado una mejora de ésta propiedad hasta un 30% utilizando los óxidos de Hierro y Cromo; con el Dióxido de Titanio se logra un 17%. El incremento en la resistencia a la abrasión está ligado con el aumento de la resistencia a la compresión.
- La contracción final de los concretos coloreados a base de oxido de Hierro y de Cromo tiende a disminuir con el aumento de la dosificación de los pigmentos. Utilizando el dióxido de Titanio se observa un incremento en la contracción respecto del control. Los niveles de contracción observados en todos los ensayos no superan a los valores usuales de un concreto normal (0.040% a 90 días), por lo que se concluye que la adición de los pigmentos no alteran de manera importante los cambios volumétricos del concreto.

- La durabilidad del concreto depende básicamente del desempeño protector de la capa superficial del concreto, cuya calidad es posible controlar mediante la medición del coeficiente de permeabilidad kT . Se ha comprobado que la incorporación de los pigmentos al concreto no altera significativamente ésta importante propiedad.
- Los pigmentos utilizados para la elaboración de los concretos coloreados y blancos fueron sometidos a la prueba de estabilidad atmosférica del curado (Atmospheric Curing Stability), la cual está establecida por la norma ASTM C 979-99 (Ref 3). Los resultados fueron satisfactorios para todos los pigmentos excepto para el Bayferrox Rojo 732.
- Los concretos coloreados tienen un costo mayor debido a la incorporación de pigmentos y en el caso del concreto blanco al mayor costo del cemento blanco. Pero si a estos concretos les sumamos las ventajas que nos ofrecen como son: colores permanentes y estables, bajos costos de mantenimiento y los posibles acabados que se les pueden dar en combinación con texturas, patrones estampados, agregados expuestos, etc. pueden ser una alternativa económica a los acabados de construcción convencionales de nuestro medio.
- Los concretos coloreados y blancos al ser concretos arquitectónicos tienen una función estética pero a la vez también pueden cumplir una función estructural. Se ha demostrado en la presente investigación que sus propiedades resistentes y de durabilidad se ven en cierto grado favorecidas.

10. REFERENCIAS

- 1.- Ball C y M. Decandia, Designing with Colored Architectural Concrete. En: Concrete International, Revista del ACI International Technical Society. Volumen 24, Nº 6, Junio 2002.
- 2.- Comité ACI 116R-90, Cement and Concrete Terminology
- 3.- Norma ASTM C979-99 Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete
- 4.- Comité ACI 212.3R-91, Chemical Admixtures for Concrete.
- 5.- Comité ACI 303.1-97 Standard Specification for Cast-In-Place Architectural Concrete
- 6.- Norma ASTM C143/C143M-00 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete
- 7.- Norma ASTM C231-97e1 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method
- 8.- Norma ASTM C1064/C1064M-01 Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland Cement Concrete.
- 9.- Norma ASTM C138/C138M-01a Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete

- 10.- Norma ASTM C39/C39M-01 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- 11.- Norma ASTM C78-02 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- 12.- Norma ASTM C944-99 Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method.
- 13.- Norma ASTM C157/C157M-99 Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement, Mortar, and Concrete.
- 14.- Norma ASTM C490-00a Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete.
- 15.- Norma ASTM C94/C94M-00e2 Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.
- 16.- Datos Tecnicos de los Oxidos de Fierro Sintetico. Bayferrox. Catalogo. 2002

(*) Ingeniero Civil. Profesor de la Pontificia Universidad Católica. Gerente de Investigación & Desarrollo de Unión de Concreteras S.A.

(**) Ingeniero Químico. Jefe de Laboratorio e Investigación de Unión de Concreteras S.A.

(***) Bachilleres de Ing. Civil. Universidad Nacional Federico Villarreal.