THE IOPIC (IRON OXIDE PIGMENT IN CONCRETE) EFFECT - WILL IT LAST? [1] [2]

Allan J. DOWSON
Head of Technical Research and Advisory
MARSHALL MONO LTD.
Southowram, Halifax, United Kingdom

1. INTRODUCTION

Colours are acts of light. It is therefore the existence of light that makes colours possible, because without light there is no colour. The artistic medium that demonstrates this most clearly is stained glass, in which image and light blend into one. The function of the eye is due to the presence of light and the capacity of the object observed to absorb or reflect certain wave lengths.

Scientists and painters have both tried to bring some sense into the subjective world of colour perception. Despite their efforts we still only have about twenty colours. These have to be used to describe about 10 million shades, which is the number of different shades that can be distinguished by the human eye. This makes it very difficult to talk about colour. Furthermore, the word "colour" is not only used to determine the shades but also the colouring medium.

In the past, these were obtained from naturally occurring inorganic or organic materials. Cave paintings were made using mineral oxides, charcoal and animal fat. These prehistoric cave paintings are not only one of the oldest example of human art, they also bear testimony to the use of naturally occurring products for paintings.

About 140 years ago, William Henry Perkin began to manufacture synthetic colours. The first synthetic pigment "mauvena" was manufactured by oxidising aniline. This discovery paved the way to the extensive range of synthetic pigments available today.

Ever since we crawled out of our caves and started building, colour has played an important role. Colours have been a part of our lives as long as anybody can remember. Human beings surround themselves with colour, wear coloured clothes, use colour as markers, fill their homes with colour and advertise with colour.

Colours are everywhere - in paving blocks, cobble stones, paving flags, park benches, gardens, walls, roofing tiles and on underground walls - also as graffiti.

Colour is a source of energy, which has a positive or negative influence on us whether we know it or not. That is why colour influences our mood.

Colour is not only used to improve atmosphere in landscaping, it can also be used to order, sort and to give direction.

Concrete is a synthetic stone and because it is produced in a wet state it can be used to form monolithic structures as small as paving blocks or as large as sky scrapers.

One of the drawbacks of concrete is its natural colour, a boring drab grey. Throughout the world there are rocky outcrops and natural stone buildings attractively coloured, from the variety of yellowish greys, red sandstone, to the yellow stone.

Naturally occurring stone is largely coloured with various forms of oxides of iron.

Before synthetic iron oxide was generally available, there were naturally occurring yellow ochre's, and reds. The major problems with these pigments were their relative low tinting strength, with the colour varying depending on source and purity of mineral rock, although they were stable and light fast.

Synthetic iron oxide pigments have been developed which overcome these problems. The tinting strengths are much greater and the colours are uniform, and in most cases, much brighter.

Coloured concrete is easily achieved by the addition of a small proportion of a synthetic iron oxide during the mixing operation.

The level of addition of pigment does not colour the sand and aggregates but coat the surface of the cement particles.

It follows that once sufficient pigment has been added to cover the cement particles, further addition of pigments do not increase the depth of colour.

The same principle of using iron oxide pigments applies to all concrete products.

It would be to ignore the coarse aggregate's contribution to colouring concrete except when the surface is exposed, either by washing, grinding, mechanical or chemical means. As the major component is this large aggregate, it will obviously draw the attention of the viewer to itself. In normal ex-moulded concrete the fine particles of the sand can have a small influence on the final colour.

Fillers, like pulverised fuel ash, because it is much finer than the cement, will affect on the lighter colours due to the inherent carbon (unburnt) content. Slag that is finely ground, has a reverse effect as it

---

1 The editors used the International System of Units (SI) in this book of Proceedings, and the comma "," as the Decimal Marker. Each paper is presented first in English and then in Spanish, with the Tables and Figures, in both languages, placed in between.

2 This is the original version of this paper.

strengthens the colour. This will be fully discussed later.

2. PIGMENTS

Typical pigments for colouring concrete are synthetic and natural iron oxides, chromium green oxide, cobalt blue and selected carbon black.

The predominant pigment that is used in the concrete industry is iron oxide and when comparing synthetic and natural iron oxide there is a wide variation (Table 1).

The production of coloured concrete has been proven to be an art and thus is essential if concrete products are to penetrate further into the market.

Coloured concrete requires an even coloured surface that will last. The Romans used various colours in their mosaic patterns to illustrate and make patterns. Nothing has really changed over the last two thousand years. Today we colour our concrete products to satisfy whims of the specifiers from very dark colours through black to red to yellow.

The purpose of colouring concrete is to create something a little more permanent than a simple surface coating, but is it possible to fully meet the expectation of obtaining a permanent colour?

3. EVALUATION OF COLOUR

We all have an idea that many aspects of concrete mix design, surface texture and pigmentation levels have an effect on the colour of concrete. It has not been evaluated in a single overall experiment by a user of pigments.

In evaluating changes in colour, it was necessary to choose a suitable method of measuring and comparing results and we use the Minolta Spectrometer. Colour is one of the major factors in creating a product image and has a great effect on sales. Because of this, we must be concerned about colour, and colour control has to become part of our strategy. However, colour is performed by visual evaluation, relying on the accuracy of an individuals eyes to determine colour. Unfortunately, every individual's colour perception is slightly different. Also, it Is extremely difficult to accurately describe colour in words since each person will interpret the described colour a little differently.

Colour is a matter of perception and words have always changed with the times. If we consider red we have used common colours like vermilion, crimson, scarlet, etc., but now we use precise expressions like bright, dull and deep.

Colour is broken down into three primary elements:

1. Their hue (colour).
2. Lightness (brightness).
3. Saturation (vividness).

The method most people use in expressing colour in three dimensions, and which has been used in this evaluation, is: L*, a*, b*.

To compare the colours, we use colour differentials and Delta E is used to indicate deviations.

When examining the results the negative number means the colour is duller or darker and the positive number means it is brighter and lighter.

4. THE CAUSES OF COLOUR VARIATION

We know that mix consistency, the mixing time, the demoulding and curing all affect the colour. Also, the following have a large influence on colour variation:

1. Sources of cement (as they are different).
2. Saturation effect of the pigment.
3. Water content of the mix.
4. Effect of adding PFA or slag*.

* When using slag or PFA it is normally used as a direct replacement for cement.

4.1 THE EFFECT OF CEMENT COLOUR ON PIGMENTED CONCRETE

Figure 1 shows the spectrum of colour index measurements of a range of cements.

Using these cement to make concrete blocks, the differences of Delta E values using Hope Cement as the control cement are listed in Table 2.

By introducing synthetic iron oxide pigment's buff and red to the mix, under strict control, at 3% level of addition based on cement weight, the colour difference was measured (Table 3).

4.2 EFFECT OF PIGMENT ADDITION ON THE COLOUR

The effects of pigment addition levels from 2 % to 7 % in 1 % increments based on the cement weight is shown in the Figure 2. The cement used was the lighter coloured cements available.

4.3 EFFECT OF WATER CONTENT ON COLOUR

It is a known fact that as the water content increases the apparent colour becomes brighter. A small experiment was set up to measure the difference between the control and a reduction and an increase of 10 % respectively on the water content (Table 4).

4.4 THE EFFECT OF USING CEMENT REPLACEMENT MATERIAL

4.4.1 GROUND GRANULATED SLAG

This is a by product of steel making and in the United Kingdom it is processed and ground down to a fine particle size. Two sources of slag are available and normally used as a straight cement replacement at 20 % additions.

4.4.2 PULVERISED FUEL ASH

This material is covered by a British Standard which defines its properties including whether it can be

classed either as a cement replacement or an aggregate. The ash available contained 3 % and 5 % loss on ignition. The cement content was reduced by 20 % and replaced by 20 % of the ash.

The results are shown in the Table 5.

4.5 EFFECT OF SURFACE TEXTURE

It is a recognised fact that fine and open texture blocks exhibit different colours.

4.6 OTHER FACTORS WHICH CAN EFFECT THE COLOUR VARIATION

This is within the control of the manufacture, and is mainly in the curing regime. If there is a difference in temperature then this will affect the colour. The reason for this to happen is related to how the calcium sulphate crystals are formed. Depending on the curing condition these crystals grow at different speeds and are then present in various sizes. The factors that cause this reaction are the time, temperature and humidity. A short time, high temperature and low humidity produce fine crystals that are lighter while a long time, moderate temperature and high humidity produce large crystals. The larger the crystal, the more translucent the cement matrix is and therefore, the deeper the apparent colour.

Another factor to consider, is the order in which the components of the concrete are added at the mixing stage. The addition order depends on the pigment form and the best sequence of addition is as shown in Table 6.

One question that is always asked is: What is the best pigment?

For the evaluation in Figure 3, the type of pigment used in each works is listed in Table 7.

From Figure 3 one would conclude that the bought in ready made liquid pigment appears to change more than the powder. The own blended product in liquid form appears to give the best results.

In trying to draw further conclusion on the effectiveness of liquid pigments, the wetting agent type plays an important role as shown after a short weathering period. Supplier 1 had 0,8 and supplier 2 had 2,45.

4.7 EFFLORESCENCE

Efflorescence, to the concrete producer is an unpleasant phenomenon, but to the lay person this is an opaque whitish coating that spoils the visual appearance of the concrete surfaces. The lighter the colour the less visible the efflorescence, the darker the colour the more predominant the efflorescence appears.

In simple terms, as the concrete sets, free calcium hydroxide is formed this being soluble can be migrate to the surface. When this happens the calcium hydroxide reacts with the carbon dioxide in the air to form water insoluble calcium carbonate on the surface.

Efflorescence occurring during the hardening of concrete is known as primary efflorescence or lime bloom and generally will quickly weather away. Secondary efflorescence can occur anytime in the life time of the concrete and is generally attributed to the weathering of the hardened concrete. When this occurs it is harder to remove.

There are many theories and papers written, so we shall not discuss it further only illustrate the effect of efflorescence, on concrete blocks.

By secondary processing the surface whether it is sand or shot blasted, washed or polished this will reduce the risk of the formation of efflorescence but they will obviously show the aggregate. The colour of this aggregate will dominate the surface colour.

As stated previously, colour is personal and selection of coloured products should always be from several production blocks rather than from a brochure. How can you select coloured concrete from a flat colour print? Most photographs are taken in ideal lighting conditions in studios and although printing technology is improving it is impossible to encompass texture and colour.

By controlling as many variables as possible and being consistent, the colour variation is reduced. Currently, there are colour recognition systems being developed to record differences but yet they are too expensive to include in a production line.

We compete against natural and clay products and one of the major problems we have is maintaining the colour in concrete products. We should not compare the two materials as they have different properties even they change their colour. If we require to intensify our colours then we should be looking at applying surface coatings.

5. CONCLUSION

The subject of colouring concrete is complex and not fully understood even by our suppliers. If we are consistent in our methods of production then we shall achieve a more consistent product that will satisfy the customer.

From the result there is a distinct difference between the various cements without any form of pigmentation and these differences are reflected in the pigmented concrete. The cement colour obviously affects the result.

The level of pigment addition will influence the level of colouring but as the levels increase the differences decrease.

Water Content of the mix does have an influence of the colour. The results of Delta E appear to be greatest with less water, however, the sample with less water the darker the colour is.

When comparing the results from the PFA there is a distinct difference, the higher the loss of ignition the greater the change is. This loss of ignition represents unburnt material mainly carbon and this is the

equivalent indirectly of adding a block pigment to the mix.

The overall conclusion that can be drawn is most variations are within the control of the manufacturer and that at all times they must exercise control in every possible way.

SYNTHETIC / *SINTÉTICO*	NATURAL / *NATURAL*
Manufactured good control / *Buen control de fabricación*	One deposit variable / *Variable de depósito en depósito*
Small particle size / *Tamaño de partícula pequeño*	Large particle size / *Tamaño de partícula grande*
Good tinting strength / *Buena calidad pigmentante*	Less tinting strength / *Menor calidad pigmentante*

Table 1. The influence of other factors on pigmenting cement products.
Tabla 1. *Influencia de otros factores sobre la pigmentación de productos de cemento.*

CEMENT BRAND / *MARCA DEL CEMENTO*	DELTA E VALUE (%) / *VALOR DE DELTA E (%)*
Hope	**Control / *Control***
Westbury	0,97
Northfleet	1,97
Cauldon	2,71
Weardale	3,04

Table 2. Differences of Delta E value using Hope Cement as the control cement.
Tabla 2. *Diferencias en los valores de Delta E con respecto al valor del Cemento Hope, usado como control.*

	3% YB3100 (BUFF / *AMARILLO CLARO*)	3% RB2500 (RED / *ROJO*)
HOPE	**CONTROL / *CONTROL***	**CONTROL / *CONTROL***
Westbury	0,43	0,51
Northfleet	1,29	0,79
Cauldon	3,34	2,09
Weardale	2,69	2,38

Table 3. Changes in Delta E values after adding 3 % Buff or 3 % Red.
Tabla 3. *Cambios en los valores de Delta E al adicionar 3 % de Amarilo Claro ó 3 % de Rojo.*

	Delta E	L*	a*	b*
Water / *Agua* 100%		51,44	2,11	22,06
90%	1,27	-1,10	0,08	-0,64
110%	0,89	0,31	0,01	0,84

Table 4. Effect of water content on colour.
Tabla 4. *Efecto del contenido de agua en el color.*

REPLACEMENT MATERIAL *MATERIAL DE REEMPLAZO*	DELTA E VALUES *VALORES DE DELTA E*
100 % cement / *100 % cemento*	Control / *Control*
PFA 1(3 % L01) / *Ceniza volante pulverizada 1*	1,74
PFA 2(5 % L01) / *Ceniza volante pulverizada 2*	2,76
Slag 1 / *Escoria 1*	3,06
Slag 2 / *Escoria 2*	2,51

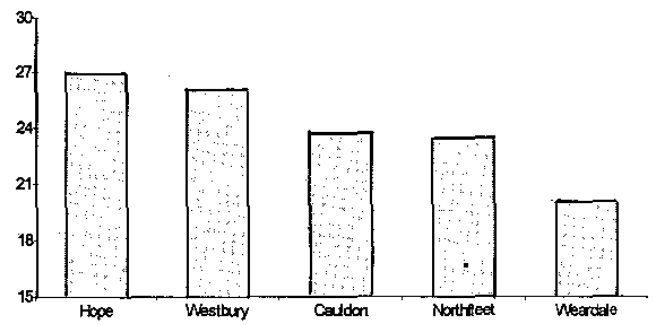
Table 5. Efectos of replacing cement by other materials on the Delta E values.
Tabla 5. *Efecto en los valores de Delta E, del reemplazo de cemento por otros materiales.*

PIGMENT TYPE *TIPO DE PIGMENTO*	BEST SEQUENCE OF ADDITION *MEJOR SECUENCIA DE LA COLOCACIÓN DE LOS MATERIALES*			
Powder / *Polvo*	Aggregate / *Agregado*	Pigment / *Pigmento*	Cement / *Cemento*	Water / *Agua*
Granules / *Gránulos*	Aggregate / *Agregado*	Cement / *Cemento*	Granules / *Gránulos*	Water / *Agua*
Liquid / *Líquido*	Aggregate / *Agregado*	Slurry / *Suspensión*	Water / *Agua*	Cement / *Cemento*

Table 6. Best sequence of addition of the materials to the mixer.
Tabla 6. *Mejor secuencia de la colocación de los materiales dentro de la mezcladora*

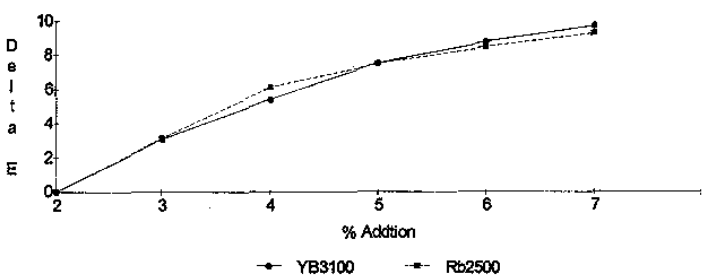
WORKS / *PRODUCTOR*	TYPE OF PIGMENT ADDITION *TIPO DE ADICIÓN DE PIGMENTO*
1	Liquid ready made / *Líquido preparado*
2	Liquid ready made / *Líquido preparado*
3	Liquid ready made / *Líquido preparado*
4	Powder / *Polvo*
5	Powder / *Polvo*
6	Powder / *Polvo*
7	Powder / *Polvo*
8	Liquid made at works / *Líquido mezclado en sitio*

Table 7. Type of pigment used in each work.
Tabla 7. *Tipo de pigmento utilizado en cada trabajo.*



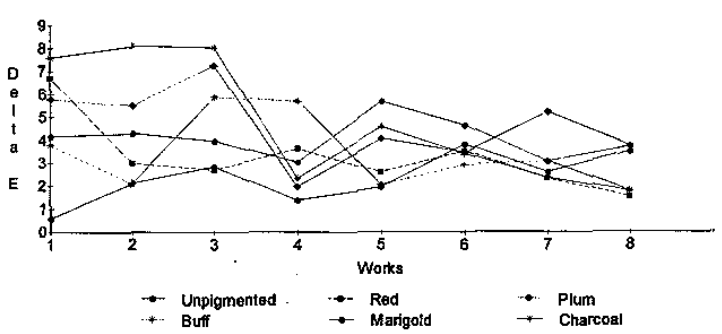
COLOR INDEX vs CEMENT TYPE / *ÍNDICE DE COLOR vs TIPO DE CEMENTO*

Figure 1. Color index measurement for a range of cements.
Figura 1. Mediciones del índice de color de un grupo de cementos.



VALOR DE DELTA E vs ADICIÓN (%)
% Addition / *% de adición*

Figure 2. Effect of pigment addition on Delta E values.
Figura 2. *Efecto de la adición de pigmentos en el valor de Delta E.*



VALOR DE DELTA E vs MARCA DEL PIGMENTO
Unpigmented / *sin pigmento* - Red / *rojo* - Plum / Castaño oscuro - Buff / Amarillo claro - Maringold / *Dorado marino* - Chracoal / *Carbón.*

Figure 3. Delta E values of different pigment works and different colors.
Figura 3. *Valores de Delta E para diferentes marcas de pigmento y diferentes colores.*

¿SERÁ DURABLE EL EFECTO IOPIC (PIGMENTO DE ÓXIDO DE HIERRO EN EL CONCRETO)? [3] [4]

Allan J. DOWSON
Director de Investigación Técnica y Asesoría
MARSHALL MONO LTD.
Southowram, Halifax, Reino Unido

1. INTRODUCCIÓN

Los colores son actos de luz. Es por lo tanto la existencia de la luz la que hace posible los colores, porque sin luz no habría color. El medio artístico que más claramente demuestra esto es el de los vitrales, en los cuales la imagen y la luz se mezclan en una. La función del ojo se debe a la presencia de la luz y a la capacidad del objeto observado de absorber o reflejar ciertas longitudes de onda.

Los científicos y los pintores han tratado de darle sentido al mundo subjetivo de la percepción del color. A pesar de sus esfuerzos, nosotros todavía tenemos unos 20 colores. Ellos se han empleado para describir cerca de 10 millones de tonalidades, que es el número de tonalidades que puede ser distinguido por el ojo humano. Esto hace que hablar a cerca del color sea muy difícil. Además, la palabra "color" es usada no sólo para determinar la tonalidad sino el medio colorante.

En el pasado, los medios colorantes eran obtenidos de materiales inorgánicos u orgánicos naturales. Las pinturas de las cavernas fueron hechas usando óxidos minerales, carbón y grasa animal. Esas pinturas prehistóricas de las cavernas no sólo son uno de los más antiguos ejemplos de arte humano sino que llevan el testimonio del uso de productos naturales para pinturas.

Hace cerca de 140 años, William Henry Perkin comenzó a producir colores sintéticos. El primer pigmento sintético "mauvena" fue producido oxidando anilina. Este descubrimiento allanó la vía para el extenso campo de pigmentos sintéticos que están disponibles hoy en día.

Desde que el hombre se arrastró fuera de las cavernas y comenzamos a construir, el color ha desempeñado un papel importante. Los colores han sido parte de nuestras vidas desde tiempos inmemorables. Los seres humanos se rodean a sí mismos con color, usan ropa de color, usan colores como marcas, llenan su vivienda de color y anuncian en color.

Los colores están por doquier – en adoquines, piedras, losetas, bancas para parques, jardines, paredes, tejas y muros subterráneos – además a manera de grafitos.

El color es una fuente de energía, que tiene una influencia positiva o negativa en nosotros, bien sea que lo sepamos o no. Por esto es que el color influye en nuestro estado de ánimo.

El color no solo se usa para mejorar la atmósfera del paisajismo, también se puede utilizar para ordenar, dirigir y dar sentido y dirección.

El concreto es una piedra sintética debido a que es producida en estado húmedo, se puede usar para estructuras monolíticas, tan pequeñas como adoquines o tan grandes como rascacielos.

Una de las desventajas del concreto es su color natural, un gris claro aceitunado y aburrido. A través del mundo hay afloramientos de roca y edificios de piedras naturales de colores atractivos, desde una variedad de grises amarillentos, areniscas rojizas hasta la piedra amarilla.

La piedra natural está ampliamente coloreada con varias formas de óxidos de hierro.

Antes de que el óxido de hierro sintético estuviera disponible ampliamente, hubo ocres de amarillo y rojos naturales. El mayor problema con esos pigmentos era su relativo bajo poder pigmentante, con el color variando según la fuente y la pureza de la roca mineral, aunque eran muy estables y resistentes a la luz.

Se han desarrollado pigmentos sintéticos que superan esos problemas. El poder pigmentante es mucho más grande, y los colores son uniformes y, en muchos casos, más vivos.

El concreto coloreado se obtiene fácilmente mediante la adición de una pequeña proporción de un óxido de hierro sintético durante la operación de mezclado.

El nivel de la adición de pigmento no colorea la arena o los agregados gruesos, sino que recubre las partículas de cemento.

De ahí que una vez se ha adicionado suficiente pigmento para cubrir las partículas de cemento, la adición de una cantidad mayor no incrementará la profundidad del color.

Este principio de coloración con óxidos de hierro se aplica a todos los productos de concreto.

---

3 Los editores utilizaron el Sistema Internacional de Unidades (SI) en estas Memorias, y la coma "," como Puntuación Decimal. Cada ponencia se presenta primero en Inglés y luego en Español, con las Tablas y Figuras, en ambos idiomas, colocadas en medio de ellas.

4 Esta es una traducción de la ponencia original escrita en Inglés, realizada por Germán G. Madrid, no sometida a la aprobación del autor.

Se ignoraría la contribución del agregado grueso a la coloración del concreto excepto cuando la superficie está expuesta, bien sea por lavado, abujardado, medios mecánicos o químicos. Dado que el componente principal del concreto es el agregado grueso, obviamente atraerá la atención del observador hacia sí. En concretos moldeados, las partículas finas de la arena pueden llegara tener una influencia muy pequeña en el color final.

Llenantes como ceniza volante pulverizada, debido a que es mucho más fina que el cemento, afectará los colores claros debido al contenido de carbón inherente (no quemado). La escoria finamente molida, tiene un efecto contrario dado que refuerza el color. Ésto se tratará ampliamente más adelante.

2. PIGMENTOS

Los pigmentos típicos para la coloración del concreto son los óxidos de hierro, sintéticos y naturales, el óxido verde de cromo, el azul cobalto y un negro de carbón seleccionado.

El pigmento dominante que se usa en la industria del concreto es el óxido de hierro y al comparar los óxidos de hierro sintéticos y naturales existe una gran variación (ver Tabla 1).

Está comprobado que la producción de concreto coloreado es un arte, por lo cual es esencial si se quiere que los productos de concreto penetren más hondo en el mercado.

El concreto coloreado requiere de una superficie coloreada uniformemente, que sea duradera. Los Romanos utilizaron varios colores en sus patrones de mosaico, para ilustrar y conformar patrones. Nada ha cambiado en los últimos dos mil años. Hoy coloreamos nuestro concreto para satisfacer los deseos de los diseñadores, desde colores muy oscuros a través del negro, hasta el rojo y el amarillo.

El propósito de colorear el concreto es crear algo más permanente que un simple recubrimiento superficial pero, ¿Es posible alcanzar las expectativas y obtener un color permanente?

3. EVALUACIÓN DEL COLOR

Tenemos la idea de que muchos aspectos del diseño de mezclas del concreto, la textura superficial y los niveles de pigmentación tienen un efecto en el color del concreto. Ésto no ha sido evaluado por medio de un solo experimento por parte de un usuario de pigmentos.

Para evaluar los cambios en el color, fue necesario escoger métodos adecuados de medición y de comparación de resultados, y nosotros usamos el Espectrómetro Minolta. El color es uno de los principales factores en la creación de la imagen de un producto, y tiene gran efecto en la ventas. Debido á esto, debemos estar consientes acerca del color, y el control del color se tiene que convertir en una estrategia. Sin embargo, el color se desempeña según la evaluación visual, dependiendo de la agudeza de los ojos de un individuo para que lo determinen. Desafortunadamente, la percepción del color por parte de cada individuo es ligeramente diferente. Además, es extremadamente difícil describir un color, detalladamente en palabras, puesto que cada persona interpretará el color descrito de modo ligeramente diferente.

El color es un asunto de percepción y las palabras han cambiado con los tiempos. Si consideramos el rojo, hemos usado palabras como bermellón, carmesí, escarlata, etc., pero ahora usamos expresiones precisas como brillante, apagado y profundo.

El color se compone de tres elementos principales:

1. La tonalidad (color).
2. Luminosidad (brillantez).
3. Saturación (vivacidad).

El método que la mayoría de la gente usa para expresar color en tres dimensiones, y que ha sido utilizada en esta evaluación, es: L*, a*, b*.

Para comparar los colores usamos diferenciales de color, y Delta E se usa para indicar las desviaciones.

Cuando se examinan los resultados, un número negativo significa que el color es más embotado u oscuro, y uno positivo que es más luminoso y brillante.

4. LAS CAUSA DE LA VARIACIÓN DEL COLOR

Sabemos que la consistencia de la mezcla, el tiempo de mezclado, el desmoldado y el curado afectan el color. Los siguientes aspectos también tiene mucha influencia en la variación del color:

1. Origen del cemento (puesto que son diferentes).
2. Efecto de saturación del pigmento.
3. Contenido de agua de la mezcla.
4. Efecto de la adición de ceniza volante pulverizada o escoria

Cuando se usa escoria o ceniza volante pulverizada se emplean como reemplazo directo del cemento.

4.1 EFECTO DEL COLOR DEL CEMENTO EN EL CONCRETO PIGMENTADO

La Figura 1 muestra el espectro de índices de color de un grupo de cementos.

Al usar esos cementos para hacer adoquines o bloques de concreto, las diferencias en valor Delta E con respecto al uso de un cemento de referencia, como el Hope, se ilustran en la Tabla 2.

Al introducir en la mezcla un óxido de hierro amarillo claro o rojo, bajo un control estricto, al 3 % con relación al peso de cemento, se midió de nuevo la variación en los colores (Tabla 3).

4.2 EFECTO DE LA ADICIÓN DE PIGMENTO EN EL COLOR

Los efectos de la adición de pigmentos, con incrementos del 1 %, desde 2 % hasta 7 %, en función

del peso del cemento, se muestran en la Figura 2. El cemento usado fue el cemento más claro de los disponibles.

4.3 EFECTO DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL COLOR

Es algo conocido el que a medida que se incrementa el contenido de agua, se incrementa la brillantez del color aparente. Se organizó un pequeño experimento para medir la diferencia entre la muestra de control y una reducción o incremento del 10 % respectivamente del contenido de agua (Tabla 4).

4.4 EL EFECTO DE USAR MATERIAL DE REEMPLAZO DE CEMENTO

4.4.1 ESCORIA DE ALTO HORNO MOLIDA

Éste es un subproducto de la fabricación de acero, y en el Reino Unido es procesada y molida hasta tamaños finos de partículas. Se cuenta con dos fuentes de escoria disponibles y usadas normalmente como reemplazo directo de cemento de hasta un 20 %.

4.4.2 CENIZA VOLANTE PULVERIZADA

Este material está cubierto por una Norma Británica que define sus propiedades incluyendo el si puede ser clasificado como sustituto de cemento o como agregado. La ceniza disponible contenía 3 % y 5 % de pérdida al fuego. El contenido de cemento se redujo en el 20 % y fue reemplazado por igual cantidad de ceniza.

4.5 EFECTO DE LA TEXTURA SUPERFICIAL

Es un hecho reconocido que bloques y adoquines de textura fina o abierta poseen diferentes colores.

4.6 OTROS FACTORES QUE PUEDEN TENER EFECTO SOBRE LA VARIACIÓN DE COLOR

Se encuentran dentro del ámbito de control de la producción, principalmente dentro del régimen de curado. Si se tiene diferencias en la temperatura, se tendrán diferencias en el color. La razón para que esto ocurra está relacionada con la manera como se forman los cristales de sulfato de calcio. Dependiendo de las condiciones de curado, dichos cristales crecen a diferentes velocidades y, por lo tanto, estarán presentes en diferentes tamaños. Los factores que causan esta reacción son el tiempo, la temperatura y la humedad. Un período corto, una temperatura alta y una humedad baja producen cristales finos que son de color más luminoso (claro), mientras que un período largo, temperaturas moderadas y alta humedad producen cristales grandes. Mientras más grande el cristal, más translúcida es la matriz de cemento y, por lo tanto, más profundo el color aparente.

Otro factor a considerar es el orden en el cual los componentes del concreto se incorporan dentro del proceso de mezclado. Este orden de adición depende de la forma del pigmento y la mejor secuencia de incorporación se muestra en la Tabla 6.

Una pregunta que siempre se hace es: ¿Cuál es el mejor pigmento?

Para la evaluación de la Figura 3, se utilizaron los pigmentos que aparecen en la Tabla 7.

De la Figura 3 se puede concluir que el pigmento en suspensión (líquido), comprado ya preparado, cambia más que el polvo. El pigmento en suspensión mezclado en el sitio parecería dar los mejores resultados.

Tratando de llegar a una conclusión más profunda sobre la efectividad de los pigmentos en suspensión, el agente dispersante desempeña un papel importante como se demuestra después de un corto tiempo de exposición a la intemperie. El proveedor 1 tiene 0,8 y el proveedor 2 tiene 2,45.

4.7 EFLORESCENCIA

La eflorescencia para el productor de concreto es un fenómeno desagradable, pero para un laico en el tema, es un velo opaco que recubre y echa a perder la apariencia visual de las superficies de concreto. Mientras más claro sea el color del concreto, menos será visible la eflorescencia.; y mientras más oscuro más visible será.

En términos simples, a medida que el concreto fragua, se forma hidróxido de calcio libre que, al ser soluble, puede migrar hacia la superficie. Cuando esto ocurre, el hidróxido de calcio reacciona con el bióxido de carbono del aire y produce carbonato de calcio insoluble, sobre la superficie del concreto.

La eflorescencia que ocurre durante el endurecimiento del concreto se conoce como eflorescencia primaria o aparición de cal y, por lo general, desaparecerá rápidamente con la intemperie. La eflorescencia secundaria puede ocurrir en cualquier momento de la vida del concreto y se atribuye, generalmente, al intemperismo del concreto endurecido. Cuando ésta ocurre, es difícil de remover.

Existen muchas teorías y documentos escritos sobre el tema, de modo que no se discutirá más allá de los ya establecido; más bien se ilustrará el efecto de la eflorescencia en los bloques y adoquines de concreto.

Al darle un proceso secundario a la superficie, ya sea con chorros de arena o de metal, lavado o pulido, se reducirá el riesgo de formación de eflorescencia pero, obviamente, aparecerá el agregado en la superficie. Como consecuencia, el color del agregado dominará el color de la superficie.

Como ya se dijo, el color es una opción personal y la selección de productos coloreados siempre se debe hacer directamente de muestras reales del producto, no de un plegable o catálogo. Cómo se puede seleccionar un color de concreto de un color plano im-

preso? La mayoría de las fotografías se toman en condiciones ideales de luz en estudios, y aunque la tecnología de impresión está mejorando, es imposible dar una idea de la textura y el color.

Al controlar la mayor cantidad posible de variables y al ser consistente, se reduce la variación del color. Actualmente, existen en desarrollo sistemas de reconocimiento de color para reconocer diferencias entre ellos, pero son demasiado costosos para ser incorporados en una línea de producción.

El concreto compite contra productos naturales y de arcilla, y uno de los principales problemas que se tienen es el mantener el color como una constante en los productos de concreto. No se deben comparar dos materiales puesto que poseen características y además cambian de color. Si necesitamos intensificar el color del concreto, se deben aplicar recubrimientos de superficie.

5. CONCLUSIÓN

El tema de la coloración del concreto es complejo y no totalmente comprendido, aún por muchos proveedores de pigmentos. Si somos consistentes con nuestros métodos de producción habremos obtenido un producto más uniforme que satisfará al cliente.

De los resultados expuestos anteriormente se observan diferencias en los colores de los cementos sin que se aplique ninguna forma de pigmentación, y esas diferencias también se reflejan en concreto pigmentado. El color del cemento obviamente afecta el resultado.

El nivel de la adición de pigmento influye en el nivel de coloración, pero a medida que crece el nivel, la diferencia decrece.

El contenido de agua de la mezcla influye en el color. Los resultados de Delta E aparecen como mayores para menos cantidad de agua, es decir, mientras menos agua en la muestra de concreto, más oscuro será su color.

Al comparar los resultados de la adición de ceniza volante pulverizada, existe una diferencia; mientras mayor pérdida al fuego en la ceniza, mayor será el cambio. Esta pérdida al fuego representa la cantidad de material no quemado, principalmente carbón, y equivale a la adición de un pigmento al concreto.

La conclusión general es que la mayoría de las variaciones que se tienen en el color del concreto están dentro del rango de controles del productor de adoquines y bloques, y que es necesario que, permanentemente, se ejerza su control en todas las manera posibles.