

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO
ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES
ARQUITECTÓNICOS.**



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827



**Facultad de
Ingeniería**
Fundada en 1949

AUTORES:

EVA LUZ DÍAZ CATALÁN

STELLA ISABEL ROMERO LÓPEZ

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS**

2014



**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO
ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES
ARQUITECTÓNICOS.**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y SOCIEDAD
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**INVESTIGADORES:
EVA LUZ DÍAZ CATALÁN
STELLA ISABEL ROMERO LÓPEZ**

**DIRECTOR:
ING. JORGE ÁLVAREZ CARRASCAL**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS**

2014



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUCCION	XII
2. DESCRIPCIÓN DE PROBLEMA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3. OBJETIVOS	15
3.1. OBJETIVO GENERAL	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICO	15
4. ALCANCE.....	16
4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	16
4.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	16
4.3. ALCANCE DEL PROYECTO	16
5. MARCO REFERENCIAL.....	17
5.1. MARCO TEÓRICO.....	17
5.1.1. <i>Concreto</i>	17
5.1.2. <i>Características del concreto</i>	20
5.1.3. <i>Características estructurales</i>	20
5.1.4. <i>Tipos de concretos</i>	28
5.1.5. <i>Pigmentos</i>	30
5.1.6. <i>Clases de pigmentos</i>	33
5.2. MARCO LEGAL.....	35
5.2.1. <i>NTC 550 Cilindros de hormigón tomados en las obras para ensayos de compresión – elaboración y curado</i>	35



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

5.2.1.	<i>NTC 673 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros normales de hormigón.</i>	35
5.2.2.	<i>NTC 1377 Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio.</i>	36
5.3.	ANTECEDENTES	36
5.4.	ESTADO DEL ARTE	39
5.4.1.	<i>Ventajas de diseño basado en el mortero de color y concreto auto-compactante.</i>	40
5.4.2.	<i>Hormigón Visto en Estructura: Proceso Constructivo y Acabado Final.</i>	41
5.4.3.	<i>Hormigón con pigmentos de colores.</i>	41
5.4.4.	<i>Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de morteros bajo los efectos de las concentraciones de pigmentos biodegradables y los actualmente utilizados por las centrales de mezcla.</i>	42
6.	MARCO METODOLÓGICO	44
6.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	44
6.2.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	44
6.3.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	46
7.	RESULTADOS Y DISCUSION	47
7.1.	ENSAYO DE LOS MATERIALES	47
7.1.1.	<i>Cemento</i>	47
7.1.2.	<i>Agua</i>	48
7.1.3.	<i>Árido</i>	48
7.1.4.	<i>Pigmento</i>	50
7.2.	ELABORACIÓN DE LA MUESTRA	51
7.2.1.	<i>Muestra patrón.</i>	51
7.2.2.	<i>Muestra con pigmento inorgánico (en polvo).</i>	53
7.3.	MUESTRA CON PIGMENTO ORGÁNICO (LIQUIDO)	54
7.4.	RESULTADOS	56
7.5.	MUESTRA PATRÓN	56
7.6.	PIGMENTO INORGÁNICO	58
7.7.	PIGMENTO ORGÁNICO (LÍQUIDO)	60



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

8.	CONCLUSIONES	63
9.	RECOMENDACIONES.....	65
10.	BIBLIOGRAFÍA	66



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Concretos pigmentados según la norma.	35
Ilustración 2: Pigmento inorgánico – Toxement.....	54
Ilustración 3: Pigmento orgánico – Facultad de Química Farmacéutica.	55
Ilustración 4: Hoja de Jagua para extracción del pigmento orgánico.	56
Ilustración 5. Compresión a los 14 días – máquina de compresión.....	58
Ilustración 6. Compresión a los 28 días – máquina de compresión.....	58
Ilustración 7. Compresión a los 7 días del concreto con pigmento inorgánico	59
Ilustración 8. Compresión a los 14 días del concreto con pigmento inorgánico.	60
Ilustración 9. Compresión a los 28 días del concreto con pigmento inorgánico	60
Ilustración 10. Compresión a los 7 días del concreto con pigmento orgánico.	61
Ilustración 11. Compresión a los 14 días del concreto con pigmento orgánico.	62
Ilustración 12. Compresión a los 28 días del concreto con pigmento orgánico.	62
Ilustración 13. Colores obtenidos con la adición de pigmentos.....	62



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas.....	47
Tabla 2. Granulometría.	49
Tabla 3. Características de los áridos.....	50
Tabla 4. Dosificación de los materiales para la muestra patrón.	53
Tabla 5. Dosificación de los materiales para concreto con pigmento inorgánico.	54
Tabla 6: Dosificación de los materiales para concreto con pigmento orgánico.	55
Tabla 7. Resistencia a compresión muestra patrón.....	56
Tabla 8. Resistencia a compresión pigmento inorgánico.....	58
Tabla 9. Resistencia a la compresión pigmento orgánico.....	60



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica. 1. Granulometría.	49
Gráfica. 2. Comportamiento de la resistencia a compresión de la muestra patrón.	57
Gráfica. 3. Comportamiento de la resistencia del concreto con pigmento inorgánico.	59
Gráfica. 4. Comportamiento de la resistencia del concreto con pigmento orgánico.	61
Gráfica. 5. Comparación de la resistencia de concreto con pigmentos, respecto a una muestra patrón.	¡Error! Marcador no definido.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.

RESUMEN

En la cotidianidad las estructuras de concreto se han caracterizado por una apariencia rústica y de un color grisáceo, nada atractivo a la vista del espectador, es por ello que muchas empresas de construcción se han preocupado por mejorar el aspecto de las construcciones a la vista, aplicando distintos aditivos para mejorar su acabado.

Entre los aditivos se encuentran los pigmentos para colorear las mezclas u hormigones a la vista, estos pueden ser líquidos o en polvo, pueden tener distintas concentraciones y en ocasiones pueden mejorar otras propiedades físicas del concreto. Una desventaja que se presenta al utilizar pigmentos es el incremento en los costos, puesto que se necesita una inversión mayor al momento de construir; por ellos se propone la utilización de pigmentos orgánicos que puedan ser extraídos a menor costo, con menos efectos para el medio ambiente y sin alterar las propiedades físicas del concreto.

El objetivo de esta investigación fue analizar las propiedades físicas y mecánicas de concretos estructurales arquitectónicos al utilizar pigmentos orgánicos e inorgánicos en su fabricación, para saber si al utilizar pigmentos orgánicos no se alteran las propiedades mecánicas del concreto.

Este proyecto investigativo fue de tipo experimental, consistió en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones controladas, que tuvo como fin describir los efectos que causa la adición de pigmentos orgánicos e inorgánicos en las propiedades del concreto estructural arquitectónico. Para realizar el adecuado diseño de mezcla adicionando los pigmentos, fue necesario determinar la concentración y proporción que se aplicaría a cada cilindro de concreto, el pigmento líquido se analizó con base en la NTC 220 y arrojó como resultado 30% de concentración, para el pigmento en polvo se utilizó la proporción recomendada por el proveedor TOXCEMENT.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Basándose en los ensayos hechos en laboratorio y en los resultados arrojados se pudo notar que en este caso es desfavorable la utilización del pigmento líquido donado por la Facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena, puesto que este muestra una resistencia igual a 9,3 Mpa, inferior al de la muestra patrón, que dio como resultado 21,12 Mpa.; en el caso donde se aplicó pigmento inorgánico se obtuvo un resultados superior al observado en la muestra patrón y fue igual a 21,56 Mpa. Estos resultados fueron tomados cuando el concreto llega a su resistencia máxima, 28 días.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



ABSTRACT

In the everyday concrete structures have been characterized by a rustic appearance and a grayish color, unattractive to the eye of the beholder, which is why many construction companies have been concerned with improving the appearance of buildings in sight, applying various additives to improve its finish.

The additives are coloring pigments or concrete mixes to view, they can be liquids or powders, may have different concentrations and can sometimes improve other physical properties of concrete. A disadvantage that occurs when using pigments is the increase in costs, since greater when building investment is needed; by them the use of organic pigments that can be extracted at lower cost with less environmental effects, without altering the physical properties of concrete is proposed.

The objective of this research was to analyze the physical and mechanical properties of architectural structural concrete to use organic and inorganic pigments in their manufacture, to know whether to use organic pigments mechanical properties of concrete are altered.

This research project was experimental, involves the manipulation of unproven experimental variable under controlled conditions, which was intended to describe the effects caused by the addition of organic and inorganic pigments in architectural concrete structural properties. For the appropriate mix design adding pigments, was necessary to determine the concentration and ratio to be applied to each particular cylinder, the liquid was analyzed based pigment in Test result 220 throw and 30% concentration, for the pigment powder recommended by the supplier TOXCEMENT ratio was used.

Based on the trials in laboratory and thrown results it was noted that in this case is unfavorable the use of liquid pigment donated by the faculty of pharmaceutical chemistry at the University of Cartagena, as this shows a resistance equal to 9.3 MPa lower than the reference sample, resulting 21.12 Mpa; in the case where inorganic pigment is applied a higher than in the standard sample results was obtained and was equal to 21.56 MPa. These results were taken when the concrete reaches its maximum resistance 28 days.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

1. INTRODUCCION

El hormigón es un material plástico que se puede moldear de formas inimaginables con superficies de texturas intensas y acabados delicadamente pulidos; además puede colocarse en combinación con otros materiales para proporcionar una superficie terminada (Castro Guiachetti, 2005). Desde los primeros tiempos, para los fabricantes de concreto, ha sido de vital importancia lograr la resistencia, trabajabilidad y la durabilidad de este, por ello han dejado de lado la parte estética de este elemento.

El hormigón es un material que presenta grandes virtudes desde el punto de vista del concepto estructural, debido a sus características físicas, principalmente la resistencia a la compresión. Además, su plasticidad le confiere la propiedad para adoptar la forma de la superficie con la que tiene contacto en estado fresco, hasta lograr su estado físico definitivo, una vez endurecido. A estas virtudes debe añadirse la estética, como resultado del buen manejo de la forma, proporción, textura, color, etc. Así el hormigón, inventado hace más de un siglo como pura necesidad estructural, tiene su aceptación como elemento arquitectónico aumentado a través de la incorporación de pigmentos que le confieren un extraordinario valor estético. (Carvalho F. , 2002).

En los últimos años una nueva concepción urbanística se está imponiendo con gran fuerza. Para la total integración de un edificio en un determinado entorno, es fundamental la correcta elección de los materiales, las texturas de las superficies y, particularmente, de los colores, ya que estos tienen un papel esencial en su efecto estético final. Así, a través de la utilización de los colores en el mobiliario urbano, en los pavimentos y en los elementos se consigue un entorno más agradable y humano, de acuerdo con las exigencias estéticas de la sociedad. (Carvalho F. , 2002)

El color, de una forma u otra, siempre estuvo presente en la construcción. Los proyectistas utilizaron, desde los tiempos más lejanos, el color como elemento esencial que conferían a sus creaciones un valor estético especial. El Palacio de Knosos, la Catedral de Santa Sofía, tre Dame



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

de Paris, o la Mezquita de Córdoba son ejemplos donde la presencia del color enriqueció su belleza arquitectónica. (Carvalho F. , 2002)

En la actualidad, se ha logrado introducir en el mercado una nueva forma de utilizar el concreto, de esta manera se aprovechan las propiedades de este material, sin realizar una gran inversión económica en la parte estética. La ACI (American Concrete Institute), define al hormigón arquitectónico como: “Aquel que queda expuesto como superficie interior o exterior dentro de una estructura terminada, y constituye en forma determinada a su aspecto visual y está diseñado especialmente como tal en los planos”. Estos concretos son llamados concretos estructurales arquitectónicos y serán abordados en el presente trabajo.

Para la creación de concretos arquitectónicos generalmente se utilizan pigmentos sintéticos, inorgánicos; dichos pigmentos tienen un costo alto en el mercado por lo que, es oportuno, y es una de las finalidades de este trabajo, buscar una nueva forma de obtener concretos a la vista. Al ensayar el concreto con los pigmentos orgánicos proporcionados por la Universidad de Cartagena se pudo observar si, estructural y estéticamente es recomendable aplicar éstos, a los nuevos diseños de ingeniería.

El estudio comparativo fue realizado en la Universidad de Cartagena sede Piedra de Bolívar, específicamente en los laboratorios de Geotecnia y materiales, que son los que brindan las herramientas necesarias para llevar a cabo los ensayos, y cumplen con las especificaciones que indican las Normas Técnicas Colombianas (NTC) que son la base para hacer dichos ensayos. Además se contó con la ayuda de la Facultad de Química Farmacéutica, sede Zaragocilla, quienes donaron los pigmentos orgánicos que producen, para hacer los ensayos de laboratorio. Después de tener los resultados de estos ensayos se procedió a su interpretación y análisis, y se obtuvo evidencia de qué tan eficiente, eficaz y económico es el uso de pigmentos orgánicos en la elaboración de concreto para estructuras en comparación con los pigmentos inorgánicos.

Es importante que este tipo de proyecto se lleve a cabo teniendo en cuenta la aplicación de la Norma Sismo resistente Colombiana (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) y de esta manera identificar los posibles problemas que puede traer el uso de pigmentos a



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

construcciones futuras, pues estos aditivos afectan tanto de manera positiva como negativa, las propiedades del concreto estructural.

La importancia de este trabajo radica en poder aplicar a los futuros proyectos de ingeniería, un pigmento orgánico, renovable y además creado por la Universidad de Cartagena, para obtener un concreto a la vista de excelente calidad y darle una llamativa y duradera presentación a cada obra que se construya. Es por esto que surgen algunos interrogantes como ¿Es factible la utilización de pigmentos orgánicos en la fabricación de concretos estructurales arquitectónicos teniendo en cuenta que este proceso no afecte de manera negativa la resistencia del hormigón?, ¿La disminución en los costos de inversión al usar pigmentos orgánicos en concretos estructurales favorece en gran escala, desde el punto de vista económico la ejecución de un proyecto de construcción?



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los concreto estructurales arquitectónicos al utilizar pigmentos orgánicos e inorgánicos en su fabricación, para saber si al utilizar pigmentos orgánicos no se alteran las propiedades mecánicas del concreto , estas comparaciones se basarán en las Normas Técnicas Colombianas, NTC.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Identificar la incidencia de los agregados en el comportamiento físico y mecánico del concreto.
- Obtener la dosificación adecuada de pigmento y realizar la comparación debida con las muestras de concreto sin pigmento.
- Describir la apariencia física del concreto al utilizar los pigmentos orgánicos y minerales, para distinguir si esta es buena, mala o regular.
- Recomendar cuál de los pigmentos es apropiado utilizar, teniendo en cuenta que éste presenté la resistencia adecuada.



3. ALCANCE

3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El proyecto de investigación se desarrolló en la ciudad de Cartagena de Indias, D.T y C. Los pigmentos orgánicos fueron donados por la Universidad de Cartagena, mientras que los pigmentos inorgánicos fueron suministrados por la empresa Tox cement de la ciudad. Los ensayos experimentales se realizaron en los laboratorios del área de Geotecnia y Materiales de la Universidad de Cartagena.

3.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El proyecto de investigación se realizó en el segundo semestre del 2014, entre los meses de Julio y Noviembre.

3.3. ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance de este proyecto de investigación comprendió la realización de un análisis comparativo del comportamiento de la resistencia del concreto estructural, al combinarlo con pigmentos orgánicos e inorgánicos como aditivos, basado en la Norma Técnica Colombiana NTC. Para ello se utilizaron nueve cilindros, a los cuales se les realizó el ensayo a compresión, puesto que es el equipo con el que cuenta la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena y se ensayaron las propiedades de los agregados.

Con los resultados obtenidos se espera saber qué ventajas presenta el concreto estructural arquitectónico en cuanto a su estructura y su apariencia y determinar si los pigmentos inorgánicos, proporcionados por la central cementera de la ciudad, pueden ser reemplazados por los pigmentos orgánicos que donó la facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena. Para terminar se entrega el análisis realizado con los detalles del estudio, con esto se demuestra si el pigmento proporcionado por la central cementera pueden ser reemplazado por el pigmento donado por la facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena.



4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO TEÓRICO

4.1.1. Concreto

El concreto es un material compuesto por varios elementos, empleado en todo tipo de construcciones. Es el producto resultante de la mezcla de un aglomerante (generalmente cemento, arena, grava y agua) que al fraguar y endurecer adquiere una resistencia similar a la de las mejores piedras naturales.

El concreto es el material resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando nos referimos a hormigón, generalmente es un cemento artificial, y entre estos últimos el más importante y habitual es el cemento Portland. Entonces se puede decir que es un material compuesto por una mezcla homogénea de cemento, agregados y agua, y en ciertos casos aditivos químicos o adiciones minerales pulverulentas. (Amor, 2011)

Al ser el hormigón una mezcla homogénea de pasta y materiales inertes tiene la propiedad de endurecer con el tiempo adquiriendo su resistencia de trabajo a la edad de 28 días. El concreto está compuesto por los siguientes materiales:

- **Cemento:** el cemento es un material formado por la unión de caliza y arcilla calcinada y molida y posteriormente la adición de yeso. Su presentación es en polvo, y no es aglomerante por sí solo. Existen varios tipos de cemento, ya sea por su composición, sus propiedades e incluso por sus usos.

El cemento es el aglomerante hidráulico (endurece al combinarse con agua) que se utiliza en la elaboración del hormigón. La pasta de cemento fragua y se endurece por hidratación, tanto en el aire como bajo agua.

Las principales materias primas del cemento son, entre otros, calizas y arcillas, que pulverizados y mezclados en proporciones determinadas, se



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

calcinan a 1450°C en hornos rotativos formando un producto denominado Clinker, al que luego de enfriado se le adiciona yeso, aditivos y adiciones especiales, y se muele hasta alcanzar la finura del cemento. (Sika, 2012).

El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose complejas reacciones químicas que lo convierten en un producto maleable con buenas propiedades adherentes, que en el transcurso de unas horas, derivan en el fraguado y endurecimiento progresivo de la mezcla, obteniéndose un material de consistencia pétreo. (Amor, 2011).

- **Áridos:** Son materiales granulares que se usan en la construcción, pueden ser de forma redondeada o angulosa debido a la extracción necesaria para su obtención. Los áridos tienen usos muy diversos en la construcción, desde confecciones de hormigón, hasta rellenos, escolleras, bases para carreteras, entre otros.

Los áridos deben tener buena calidad física y ser inertes químicamente a las reacciones de cemento, el agua y el ambiente.

Debe darse una gran atención a la elección y control de los áridos, ya que de sus características depende la docilidad del concreto u hormigón fresco, la resistencia del concreto endurecido, durabilidad de las estructuras y la economía de las mezclas (Aguilar, 2007).

- **Agua:** El agua en el hormigón es tan importante como el cemento y es el material de más bajo costo, debe cumplir con algunas normas de calidad para ser utilizada al hacer un hormigón, puesto que si no es agua limpia, puede producir modificaciones en las propiedades del concreto.

Según (Aguilar, 2007) El agua desempeña dos roles en su calidad de componente del concreto, el primero es que participa en el proceso de hidratación del cemento, la cual no puede tener lugar sin su presencia y



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

luego otorga la trabajabilidad necesaria del concreto siendo determinante para definir su fluidez. En consecuencia, es un componente fundamental del concreto, ya que su presencia condiciona tanto el desarrollo de las propiedades en estado fresco, como en la etapa de endurecimiento.

La cantidad de agua debe ser la estrictamente necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporara y creara huecos en el hormigón disminuyendo la resistencia del mismo. Puede estimarse que cada litro de agua de amasado de exceso supone anular dos kilos de cemento en la mezcla. Sin embargo una reducción excesiva de agua originaria una mezcla seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua. (Amor, 2011)

- **Aditivos y adiciones:** Los aditivos son sustancias que se le adicionan al concreto, antes o durante el mezclado, para modificar de manera moderada algunas de sus propiedades y características cuando se desea.

Pueden utilizarse como componentes del hormigón los aditivos y adiciones, siempre que mediante los ensayos oportunos se justifique la sustancia agregada en las proporciones y condiciones previstas, y produzcan el efecto deseado sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón y que no represente peligro para la durabilidad de este ni ayude a la corrosión de las armaduras.

Las **adiciones** son materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente molidos, pueden ser añadidos al hormigón en el momento de su fabricación, con el fin de mejorar algunas de sus propiedades o conferirle propiedades especiales.

Los **aditivos** son sustancias o productos que se incorporan al hormigón, antes o durante el amasado, produciendo la modificación de alguna de sus



características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.
(Amor, 2011)

4.1.2. Características del concreto

Las características físicas y estructurales del concreto se pueden medir mediante ensayos de laboratorio que se realizan en el cemento puro, la pasta de cemento o en el mortero, dando como resultado la calidad del cemento.

- **Características físicas**

Densidad: en torno a 2350 kg/m³

Resistencia a compresión: de 150 a 500 kg/cm² (15 a 50 Mpa) para el hormigón ordinario. Existen hormigones especiales de alta resistencia que alcanzan hasta 2000 kg/cm² (200 Mpa)

Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a la compresión, generalmente, poco significativa en el cálculo global.

Tiempo de fraguado: dos horas aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.

Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.

De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana $\frac{3}{4}$ partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.

Dado que el hormigón se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tiene parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el hormigón protege al acero de la oxidación al recubrirlo. (Amor, 2011)

- **Características estructurales**

El concreto se caracteriza principalmente por su alta resistencia a la compresión. Sin embargo, es importante anotar la baja resistencia a la



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

tracción que este posee, así como su baja resistencia a otros tipos de esfuerzos a los que es sometido en la construcción. Es por esto que desde tiempos atrás se ha optado por involucrar el uso de acero, que en compañía con el concreto forman el equipo perfecto para responder ante cualquier esfuerzo al que es sometida una estructura, ya sea esfuerzos de tracción, flexión, cortante, entre otros.

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de hormigón armado, comportándose el conjunto muy favorablemente ante las diversas sollicitaciones. (Amor, 2011)

El concreto presenta, además de su alta resistencia a la compresión, una serie de propiedades descritas a continuación:

Según (Amor, 2011):

- **Fraguado y endurecimiento:** El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de las reacciones químicas de hidratación entre los componentes del concreto. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del hormigón. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provoquen el endurecimiento de la masa y que se caracterice por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo.

En el cemento Portland, el más frecuente empleado en los hormigones, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta (hasta 7-28 días). Después el silicato tricálcico, con una aportación inicial importante y continua durante bastante tiempo. A continuación el silicato bicálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días.

En condiciones normales un hormigón Portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado transcurridas 10 o 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza.

- **Resistencia:** La resistencia del concreto es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a compresión del mismo, y dando por hecho que el concreto que se ejecutará resistirá ese valor se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales. La resistencia del hormigón a compresión se obtiene de ensayos de rotura a compresión de probetas cilíndricas normalizadas relacionadas a los 28 días de edad y fabricadas con las mismas amasadas puestas en obra.

La resistencia establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada amasada de hormigón colocada tenga esa



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

resistencia como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencia de los hormigones que se colocan y el 95% de los mismos deben ser superiores a la resistencia característica del proyecto, considerándose que con el nivel actual de la tecnología del hormigón, una fracción defectuosa del 5% es perfectamente aceptable (Amor, 2011)

- **Consistencia:** La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría (Argüello & Perez, 2013).

La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación (Argüello & Perez, 2013).

Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es el cono de Abrams. Consiste en rellenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se produce cuando se desmolda es la medida que define la consistencia.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluidos (Amor, 2011).

- **Durabilidad:** La durabilidad del hormigón se define como la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

De esta manera se consigue que haya los menos poros posibles y una red capilar interna poco comunicada y así se reducen los ataques al hormigón. (Amor, 2011)

- **Fraguado:** El fraguado es el proceso en el cual una pasta de cemento en estado fresco que fluye libremente o de consistencia plástica, es convertida en un nuevo material que ha perdido su deformabilidad ilimitada y puede desmenuzarse bajo el efecto de una fuerza externa suficientemente grande. El fraguado es seguido por el “endurecimiento” de la pasta, en el cual la dureza, resistencia y módulo de elasticidad se incrementan hasta que un valor último de estos parámetros es alcanzado. El endurecimiento es precedido a su vez por el cambio de consistencia totalmente plástica a una consistencia más viscosa pero sin perder su carácter plástico (Aguilar, 2007).

Según (CIVILGEEKS.COM, 2011) las propiedades son:

- **Trabajabilidad:** Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el “Slump” o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.

que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidad notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo.

- **Estabilidad:** Es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas.

Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluada con métodos standard que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener los valores mínimos.

Es interesante notar que ambos fenómenos no dependen expresamente del exceso de agua en la mezcla sino del contenido de finos y de las propiedades adherentes de la pasta.

- **Compactabilidad:** Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco. Existen varios métodos que establecen el denominado “Factor de compactación”, que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, y la densidad del concreto compactado.

En nuestro medio no es usual disponer del equipo para la prueba standard que es Británica, no obstante no es muy difícil ni caro implementarlo ya que es muy útil en cuanto a la información que suministra.

La prueba consiste en llenar el cono superior con concreto depositándolo sin dejarlo caer, para que no haya compactación adicional.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

A continuación se abre la compuerta inferior para que caiga por su peso propio y llene el segundo cono con lo que se estandariza la condición de compactación inicial.

Finalmente luego de enrasar el cono se abre la segunda compuerta y el concreto cae por su peso propio para llenar un molde cilíndrico estándar.

Se obtiene el peso unitario del concreto en el molde y el valor se divide entre el peso unitario obtenido con la prueba estándar en tres capas con 25 golpes cada una.

- **Segregación:** Las diferencia de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz.

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación. En los concretos con contenidos de piedra > del 55% en peso con respecto al peso total de agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado, que no deben diferir en más de 6%.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

- **Exudación:** Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla N° 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla.

La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener.

La prueba estándar para medir la exudación está definida por la norma ASTM C – 232 necesitándose sólo una pipeta como equipo adicional a las balanzas, moldes y probetas graduadas que constituyen lo normal en laboratorio.

- **Contracción:** Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia.
- **Elasticidad:** En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un “Módulo de elasticidad estático” del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Los módulos de Elasticidad normales oscilan entre 250,000 a 350,000 kg/cm² y están en relación inversa con la relación Agua/Cemento. Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de Elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres.

- **Extensibilidad:** Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones. Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo.

4.1.3. Tipos de concretos

El concreto es un material muy utilizado en la construcción, no solo por las propiedades que posee, sino también por la economía que representa en cada proyecto y por la amplia gama de usos y presentaciones que se le pueden asignar.

Hay diferentes tipos de concreto, dependiendo de su uso, ya sea para cimentaciones, columnas, placas, muros de contención, entre otros. Las condiciones del clima y los sistemas de colocación también hacen parte de las condiciones por las cuales hay diferentes tipos de concreto, como se verá a continuación.

SEGÚN (Sika, 2012)

- **Colocado in situ:** Es hormigón preparado a mano o elaborado en planta, colado en un encofrado que es su destino final.

En la actualidad, las plantas de hormigón elaborado son tantas que los contratistas pueden ser abastecidos rápida y confiablemente. Sin



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.

embargo, una planta en el lugar de la construcción ofrece ventajas económicas y logísticas en el caso de grandes construcciones que requieren hormigón continuamente.

El hormigón colocado en el lugar puede producirse de varias maneras y debe cumplir con una gran cantidad de especificaciones. Su aplicación puede dividirse en las siguientes etapas:

- Preparación del diseño del hormigón.
 - Producción
 - Colocación del hormigón
 - Curado
- **Concreto premezclado:** si en vez de mezclar y dosificar el concreto en la obra, una planta central lo entrega listo para su colocación, se dice que este hormigón es “concreto premezclado”.

Este tipo de concreto se usa ampliamente y ofrece numerosas ventajas en comparación con el método tradicional de preparación en obra. El concreto premezclado es particularmente útil en obras que están muy congestionadas o en la construcción de vías donde solo se disponga de un espacio muy pequeño para tener una planta mezcladora y almacenar los agregados. Pero la principal ventaja del concreto premezclado consiste en que el hormigón puede hacerse en mejores condiciones de control.

Hay dos categorías principales de concreto premezclado: en la primera categoría el mezclado se hace en una planta central y el concreto se transporta en un camión (mixer) que lo agita lentamente, a fin de evitar la segregación y un indebido endurecimiento; este concreto se conoce como de mezclado central.



- **Concreto bombeado:** El concreto normal, mezclado, se vierte en una tolva y con ayuda de una bomba con válvulas de aspiración y compresión, se impulsa y transporta el concreto por una tubería. La granulometría del agregado debe ser controlada debido a que el concreto confeccionado debe ser dócil (manejable) y pueda retener el agua con el fin de evitar la segregación. El hormigón bombeado evita el empleo de carretillas, vagonetas, grúas, elevadores o cucharones, etc.
- **Concreto lanzado:** Este es el nombre que se le da al mortero transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad contra una superficie. La fuerza del chorro que hace impacto en la superficie, compacta el material, de modo que se puede soportar a sí mismo sin resbalar ni caerse aún en una cara vertical o en un techo.

4.1.4. Pigmentos

Las estructuras de hormigón ordinarios son incoloras y hacen parte de la monotonía. Por lo tanto, dan una impresión artificial y lúgubre. Se han investigado muchos enfoques de armonización concreta con el paisaje circundante. La coloración del hormigón es un enfoque para proporcionar al concreto una impresión favorable. Las diversas luces y contrastes de la escena pueden permitir distinguir fácilmente los elementos entre sí, y para recoger las que son más importantes en el momento. El pigmento para la coloración de hormigón, cuyo componente principal es óxido de hierro, puede dar cualquier color.

El método para estimar la luminosidad y el color de sombra del hormigón de color acondicionado se propone. El método propuesto puede ser también disponible para la estimación del hormigón de color acondicionado con varios tipos de pigmentos.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Los pigmentos son sustancias insolubles que dan un tono específico a la superficie del material al que se adicionan, en este caso al concreto, son resistentes a la luz, y estables ante la exposición a la intemperie. Existen pigmentos orgánicos en cuya composición química contienen carbono, y los inorgánicos que no lo contienen. Estos pigmentos tienen varias presentaciones, entre las cuales encontramos los pigmentos en polvo, pigmentos líquidos, granulados y compactados. (Argüello & Perez, 2013)

Los pigmentos en polvo son finas partículas, químicamente inertes, insolubles y que dotan de color al material al cual se añaden. Los pigmentos usados para colorear el hormigón deben ser insolubles, tanto en el agua como en los agregados, ser inertes químicamente con respecto al cemento, a los agregados y a los aditivos (Argüello & Perez, 2013).

Al igual que otros componentes en polvo, la adición de pigmentos modificará la fluidez y la cohesión de la mezcla. Los cambios en las proporciones de los materiales deben ser considerados para optimizar las propiedades reológicas (López, Tobes, Giaccio, & Zerbino, 2009).

Según el brochure de SIKA, una de las empresas más importantes y actualizadas en el manejo y distribución de este tipo de productos, (SIKA Colombia, 2012):

Los pigmentos existen en versión sólida (polvo) o líquidos, los líquidos han demostrado ser más eficientes y tienen una serie de ventajas sobre su contraparte sólida, como lo son:

- Facilidad de dosificación tanto en obra como en planta.
- Mayor velocidad de dispersión por lo que se requiere menor tiempo de mezclado.
- Limpieza en el proceso.
- Ahorro en tiempo de dosificación.



- Mayor facilidad de almacenamiento.

Pigmentos líquidos, slurry, pasta o suspensión acuosa:

Surge a primeros de los 80. La teoría es que esta presentación se dosificará y dispersará mejor. Sin embargo tiene en contra:

- Un coste mayor pues para su elaboración se parte del polvo.
- Un transporte más caro, pues no es común que la preparación pigmentaria contenga más del 50-60 % en pigmento, siendo el resto agua y aditivos.
- Es sensible a prolongado almacenaje. El consumo preferente es de 6 meses.
- Asimismo, cuando los áridos a utilizar están húmedos (como ocurre muchas veces con el cuarzo en la fabricación de adoquines), no es necesario añadir agua para el amasado, con lo que utilizar este tipo de presentación puede provocar un exceso de agua.

Pigmentos granulares:

Esta presentación apareció en los 80, y se obtienen por spray drying (secado por pulverización, también llamado atomización). Se trata de unas microesferas con un tamaño medio de 300 micras y que pueden fluir igual que el contenido de un reloj de arena. Se obtienen partiendo del polvo el cual se somete a un proceso de emulsión acuosa con sustancias aglutinantes. Finalmente el producto es pulverizado en torres de secado.

Este producto se puede suministrar en big-bags los cuales se descargan sin dificultad alguna. A continuación, es transportado por aire en fase densa a través de tuberías después de ser pesado en un tolván de pesaje. Para la correcta disgregación de estos micro gránulos es necesario durante el amasado, una fricción importante en presencia de algo de agua. Estos



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.

productos funcionan satisfactoriamente en hormigones semisecos como son los utilizados para la elaboración de prefabricados de adoquín, bloques y tejas. En el resto de aplicaciones presentan inconvenientes y por tanto se continúa utilizando el polvo.

Pigmentos compactados:

Una presentación pseudogranular surgió a finales de los 90. Es un producto similar al granulado spray drying, pero más económico en su proceso de obtención. Las ventajas e inconvenientes de estos productos son similares a los de los granulados, si bien fluye algo peor y contienen algo de polvo. (Pigmentación de morteros y hormigones, 2013)

4.1.5. Clases de pigmentos

Existen dos clases de pigmento, los obtenidos de manera natural de yacimientos minerales y los obtenidos por manufactura sintética a través de procesos estandarizados. La materia prima para la obtención de algunos pigmentos sintéticos como el dióxido de titanio, también se obtiene de yacimientos minerales (Castro Guiachetti, 2005).

(Castro Guiachetti, 2005) Los pigmentos naturales de procedencia de extracciones mineras, localizadas en distintas regiones del mundo, se calcinan a elevadas temperaturas y se hacen pasar por sucesivos tamices para reducir el tamaño de la partícula y controlar su color. La tierra natural calcinada se tamiza hasta conseguir un tamaño uniforme de los granos de unos 5 a 7 mm. Posteriormente se hacen pasar por varios rodillos que reducen el tamaño, hasta alcanzar un rango de partícula que va desde las 10 hasta las 50 micras. Los fabricantes de dichos pigmentos deben garantizar que el 99.99% de las partículas no superan dicho tamaño. El control de uniformidad del pigmento tiene lugar en este proceso de refinado.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

(Castro Guiachetti, 2005) Los pigmentos sintéticos son principalmente óxidos de hierro, cromo, cobalto y titanio. Se debe escoger óxidos técnicamente puros, sin aditivos ni constituyentes secundarios. Así mismo se debe buscar pigmentos con gran poder colorante, el cual no sólo depende de la naturaleza y pureza del pigmento sino también de su finura. Sólo una prueba de laboratorio mezclando una cantidad fija de pigmento con una cantidad definida de cemento de acuerdo con la Norma DIN 53 237 (5), o una mezcla preparada bajo condiciones prácticas, puede proveer una información confiable de esto.

Pigmentos para concretos

Los pigmentos para cementos poseen ciertas características que les permite resistir a la agresividad del cemento, a las reacciones álcali, a los rayos ultra violeta del sol, al interperismo, etc. (Concreto coloreado).

Los pigmentos que satisfacen a estas exigencias se obtienen a partir de óxidos de metal. Estos pigmentos están hechos para darle un color adecuado, sin afectar de manera importante las propiedades físicas requeridas de la mezcla. Las características que deben cumplir estos pigmentos se encuentran en la Norma ASTM C-979 (Concreto coloreado).



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.

Tonos de Color	Pigmentos
Grises 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
Marron	Oxido de fierro marron Dióxido de Manganeso
Marfil, crema	Oxido de fierro amarillo
Verde	Oxido de cromo
Blanco	Dióxido de titanio

Ilustración 1. Concretos pigmentados según la norma.

Fuente: ACI 212.3R-25

4.2. MARCO LEGAL

4.2.1. NTC 550 Cilindros de hormigón tomados en las obras para ensayos de compresión – elaboración y curado

Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de los cilindros de concreto, se tienen en cuenta los aparatos utilizados, el método de compactación, curación de los cilindros, además de mostrar los tipos de ensayos que se pueden hacer por cada cilindro a utilizar.

4.2.1. NTC 673 Ensayo de resistencia a compresión de cilindros normales de hormigón.

Esta norma explica en que consiste el ensayo de resistencia a la compresión de concretos. Para hacer esta prueba se debe aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados a una velocidad que se encuentra dentro de un rango aplicable hasta que ocurra la falla. Se tienen en cuenta las características de la máquina de ensayo, la tipología de los cilindros de



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



hormigón, el manejo que se les debe dar y por último como realizar el ensayo a compresión.

4.2.2. NTC 1377 Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio.

Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo un control preciso de los materiales y las condiciones de ensayo, usando concreto que se puede compactar por apisonamiento o vibración, como se describe en la presente norma. Las actividades descritas en esta son aparatos, muestras, materiales procedimientos y precauciones. El ítem de procedimiento explica que debe hacerse en cada etapa de la elaboración de una manera específica, en comparación con las normas anteriores.

4.3. ANTECEDENTES

Los pigmentos han acompañado a la humanidad desde tiempos prehistóricos, su uso ha servido para dar colorido a su vida, plasmar su arte y transmitir su cultura. Los primeros pobladores usaron pigmentos de origen mineral o biológico (Hora buena, 2011).

Con el tiempo debido a la demanda de colores en todos los materiales los hombres necesitaron conseguir pigmentos menos costosos y fijaron su mirada en los pigmentos vegetales. Debido a la escasez de algunos colores propiciaron la aparición de los colores artificiales (Hora buena, 2011).

Pigmentos naturales como los ocre y los óxidos de hierro, han sido empleados como colorantes desde la prehistoria. Los arqueólogos han hallado vestigios de que los primitivos utilizaban pintura para fines estéticos (Hora buena, 2011).

Antes de la Revolución Industrial, los colores disponibles para el arte y otros usos decorativos eran limitados y los pigmentos que se empleaban eran de origen mineral



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

y biológico. También eran recolectados y comercializados pigmentos de fuentes poco usuales como sustancias botánicas, desechos de animales, insectos y moluscos (Hora buena, 2011).

Así como en los pigmentos, la historia del concreto se remonta a los tiempos antes de Cristo, y su evolución ha sido de gran beneficio para la construcción actual. Según (Larson.), La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Templos, palacios, museos, son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero (mezcla de arena con materia cementosa), para unir bloques y losas de piedra al construir sus asombrosas estructuras.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua dulce o salada. Un material volcánico muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron los romanos en un lugar llamado Pozzuoli, este material en la actualidad lo conocemos como puzolana y se utiliza en la fabricación del concreto.

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años, nos conducen a principios del siglo antepasado, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba se molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo del cemento. Los usos industriales de la cal han proporcionado importantes contratos para los químicos e ingenieros desde años atrás cuando la cal



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

y los cementos naturales fueron introducidos. En la actualidad solo se necesita mencionar las paredes y las vigas de concreto reforzado, túneles, diques y carreteras para imaginar la dependencia de la civilización actual con estos productos. La conveniencia, precio accesible, adaptabilidad, resistencia y durabilidad de ambos productos han sido fundamentales para estas aplicaciones.

La utilización simultánea de estos dos elementos (hormigón y pigmentos), fue desarrollada según (Castro Guiachetti, 2005), después de la Segunda Guerra Mundial. Inicialmente, se aplicó en prefabricados y hacia los años 80, comenzó a usarse directamente en obra. Las ventajas del uso del hormigón coloreado son innumerables. Dentro de las más importantes destaca la durabilidad de los colores, ya que los pigmentos son químicamente estables y no cambian significativamente su tono bajo exposiciones ambientales normales. La evidencia de la durabilidad de los colores en el hormigón puede verse en proyectos de hormigón coloreado en todo el mundo que han mantenido su atracción durante 25 años y más, la gran cantidad de aplicaciones junto con la versatilidad de las formas y texturas aplicables a la superficie de hormigón coloreado. Además según estudios internacionales presenta una baja en los costos por metro cuadrado y por ello en muchos proyectos arquitectónicos el hormigón coloreado es una alternativa económica a los materiales costosos, tales como la piedra o el azulejo, y representa un ahorro significativo en los costos del ciclo de vida y en los plazos de construcción.

Es importante considerar la aplicación de concretos coloreados en regiones cercanas o con características similares a las que se presentan en el ambiente donde se desarrolló este proyecto, es por ello que a continuación se analizarán estudios realizados en la ciudad de Cartagena, para el concreto utilizado en el proyecto de transporte masivo, TRANSCARIBE:

Respuesta a las inquietudes técnicas presentadas durante el proceso de re licitación de la licitación Pública Internacional No. LPI-TC-001-05. TRANSCARIBE



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

En consulta realizada con algunos productores de concreto se estableció que el concreto coloreado integralmente se debe mezclar en planta para garantizar su homogeneidad. Para corroborar esto los consultores de arquitectura hicieron pruebas en planta para producir losas MR50 y MR45 con agregados, arenas y cemento de Cartagena, con adición del pigmento mineral de color rojo y el antisol rojo. Se simuló todo el proceso constructivo, se rayaron las losas y se dejaron curar con los aditivos recomendados para este tipo de trabajos en ambientes salinos y con temperaturas altas. Como resultado del proceso se obtuvieron losas de color homogéneo. En consecuencia, la homogeneidad del color se puede garantizar y de hecho ya se logró durante las pruebas realizadas. Con relación a la estabilidad del color, cuya homogeneidad en la aplicación inicial debe garantizarse, es de esperar que la degradación del color, en caso de darse, también sea homogénea.

Al realizar la pruebas se citaron las siguientes recomendaciones, Pigmentos: Para el caso de las losas en concreto del Sistema Integrado de Transporte Masivo con características de MR50, al igual que las de los carriles de tráfico mixto con características de MR45, se exige, que estas deben garantizar homogeneidad del color integral, por lo tanto se debe ajustar el diseño de mezcla aumentando el aditivo mineral por peso, para el caso de las losas con características de MR45. El porcentaje del aditivo colorante es mínimo 3% y máximo 5% para lograr el color y características de la muestra de concreto localizada en las dependencias de Transcaribe S.A.

4.4. ESTADO DEL ARTE

Los pigmentos son aditivos en el concreto que en los últimos años han incursionado con gran fuerza en el mercado, ya sea por sus ventajas al aplicarlos o por la reducción que se puede presentar en los costos. A nivel mundial distintas facultades y empresas se han preocupado por estudiar y analizar los cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los concretos y morteros con este aditivo, es por eso la importancia de profundizar en este temas a nivel local.



Alguno de los estudios más importantes a nivel mundial, nacional y el único trabajo a nivel local serán expuestos a continuación, con esto se mostrara la ventaja de estudiar lo concerniente a este tema.

4.4.1. Ventajas de diseño basado en el mortero de color y concreto auto-compactante.

López, Tobes, Giaccio, & Zerbino. (2009). Cemente and concrete composites. *Revista Internacional de Composites de cemento y hormigón ligero*, 7.

Este trabajo muestra una nueva opción para aprovechar la coloración dada por la adición de pigmentos a los morteros y concretos, (López, Tobes, Giaccio, & Zerbino, 2009) expresan que en los morteros se pueden observar el efecto de los pigmentos en la viscosidad de los concretos autocompactantes (coloured self-compacting concrete, C-SCC) y la evaluación de aspectos específicos como los parámetros colorimétricos, la homogeneidad del color y el acabado de la superficie.

De este trabajo, López y colaboradores pudieron concluir que el uso de morteros hace posible evaluar aspectos específicos requeridos para C - SCC como los parámetros colorimétricos, la homogeneidad del color y el acabado de superficie para los diferentes tipos de moldes. Se encontró que la capacidad de auto-compactación del mortero permanece prácticamente sin verse afectados cuando hay pequeños cambios en el contenido de pigmento (López, Tobes, Giaccio, & Zerbino, 2009).

Limitaciones:

- Las evaluaciones en la composición fueron realizadas en morteros y no en concreto, como lo es en la presente investigación.
- La metodología que se utiliza para preparación del concreto es diferente a las técnicas que se usara en este proyecto.



4.4.2. Hormigón Visto en Estructura: Proceso Constructivo y Acabado Final.

Fuentes, H., Udeos, C., & González, B. (2010). *Hormigón visto en estructura: Proceso constructivo y acabado final*. Guayaquil.

Los autores analizan el proceso constructivo del concreto a la vista y de la influencia de cada etapa en el acabado final de este, tomando en cuenta la adición de pigmentos para la coloración del hormigón y además observando el comportamiento al utilizar aditivos colorantes y pigmentos de óxidos minerales. Al final se tuvo como conclusión “La presentación o la estética de una estructura de hormigón simple o armado depende, en gran mayoría, de un adecuado proyecto en el que, se resalte la belleza natural de los ingredientes del mismo, se seleccione el apropiado método de acabado y además de manera importante el esmero en su ejecución; también se debe tener en cuenta que en los hormigones decorativos con agregados expuestos, el contraste entre la matriz de hormigón y el agregado propiamente, puede ser mucho más acentuado mediante el uso de agregados opuestos al del cemento, ya que este es el compuesto que hace prevalecer en mayor grado su color dentro de la masa de hormigón” (Fuentes, Udeos, & González, 2010).

Limitaciones:

- Describe metodología descriptiva de la colocación del concreto, formaleta y recomendaciones para el cuidado.
- Solo presenta recomendaciones para cuidar la calidad del concreto sin incluir la calidad estructural del concreto.
- Incluye el estudio de las tres etapas antes, durante y después de la colocación del concreto.

4.4.3. Hormigón con pigmentos de colores.

Castro Guiachetti, M. (2005). *Hormigón con pigmentos de color*. Valdivia.

En este trabajo de tesis se analizaron las ventajas estructurales y económicas que implicaba la utilización de pigmentos en hormigones arquitectónicos,



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



además de comparar el comportamiento de concretos con pigmentos chilenos y de otros países. Esto se llevó a cabo ensayando cilindros a la compresión con relaciones de agua, cementos y pigmentos diferentes, con el fin de determinar cual tenía mejor comportamiento estructural y además se hicieron los ensayos pertinentes a los agregados áridos, para observar la influencia de estos en el comportamiento de las muestras. De allí (Castro Guiachetti, 2005) concluyeron “Que los hormigones coloreados fabricados con materiales chilenos, presentan un comportamiento similar a otros hormigones ensayados en otros países, es decir, no disminuyen mayormente la resistencia a la compresión. Esto permite afirmar que los hormigones realizados, no presentan variaciones de las que pueda desprenderse que exista un riesgo por su utilización, ya que dichos resultados revelan una baja incidencia de la adición de pigmento en la resistencia, ajustándose dichos valores a los márgenes establecidos por las normas”.

Limitaciones:

El uso de cemento gris en el estudio hizo que las tonalidades no fuesen tan intensas como si hubiese usado cemento blanco.

- No se realizó un seguimiento de color de las muestras para estudiar el proceso de decoloración.
- Las condiciones climáticas de la ciudad de Chile no son iguales a las de Cartagena, en la que será realizada la investigación.

4.4.4. Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de morteros bajo los efectos de las concentraciones de pigmentos biodegradables y los actualmente utilizados por las centrales de mezcla.

Argüello, M., & Perez, J. (2013). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de morteros bajo los*. Cartagena.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

En esta investigación se compararon las propiedades físicas y mecánicas de los morteros con pigmentos orgánicos de la Universidad de Cartagena y los pigmentos usados por la central cementera. Esto se hizo con el objetivo de definir qué tan recomendable es reemplazar los pigmentos orgánicos por los inorgánicos y que ventajas presenta a nivel económico.

Después de este análisis, los efectos proporcionados por los pigmentos de la Universidad de Cartagena no fueron los esperados debido a que los pigmentos orgánicos redujeron considerablemente la resistencia del mortero. Después de haber realizado el ensayo de tiempo de fraguado se logró identificar cual propiedad alteraban los pigmentos, en lo cual se observa claramente que el tiempo de fraguado es la propiedad más alterada a la hora de añadirle la proporción de pigmento, lo cual también altera directamente la resistencia. Los otros ensayos no tuvieron mucha variación, solo el peso específico, el cual por ciertas razones era de esperarse que disminuyera o aumentara pues se está creando una nueva muestra (Argüello & Perez, 2013).

Limitaciones:

- Carencia de antecedentes e información, en la base de datos de la universidad de Cartagena.
- Estudio con pigmentos biodegradables en vez de pigmentos inorgánicos.
- El uso de cemento gris en el estudio hizo que las tonalidades no fuesen tan intensas como si hubiese usado cemento blanco.
- No se realizó un seguimiento de color de las muestras para estudiar el proceso de decoloración.



5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto investigativo fue de tipo experimental, consistió en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones controladas, con el fin de describir por qué causa se produce un acontecimiento en particular.

Este tipo de investigación permitió determinar, con base en una serie de pasos, la variable experimental no comprobada de manera eficiente, obteniendo así para esta investigación, un resultado desconocido, y de este modo se encontró la respuesta al problema planteado inicialmente y se pudo saber los efectos que causa la adición de pigmentos orgánicos e inorgánicos en las propiedades del concreto estructural arquitectónico, basándose en ensayos hechos en laboratorio, en base a los resultados arrojados se pudo notar en qué casos es favorable y en cuales es desfavorable la utilización de los pigmentos como aditivos del concreto estructural.

5.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

- Información secundaria: Como en todo proyecto de investigación inicialmente se realizó la recolección de la información necesaria para realizar el proyecto a partir de información y resultados de investigaciones anteriores y base de datos de la Universidad de Cartagena. Para ello se hizo un trabajo investigativo en el primer semestre de 2014, aunque el campo investigado no presenta gran amplitud en la región de desarrollo, se recolectaron los datos necesaria para realizar el análisis y las comparaciones pertinentes.
- Obtención de Pigmentos: Luego de enviar algunas solicitudes, el pigmento orgánico fue donado por la Facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena, este pigmento es a base de metanol y la hoja de Jagua; mientras que el pigmento inorgánico fue donado por la central



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



cementara Argos, quien brindó un pigmento de la marca Toxcement de color rojo ladrillo.

- Máquinas y equipos utilizados: los equipos utilizados fueron prestados por la Universidad de Cartagena, para ello la universidad brindó las instalaciones y equipos del laboratorio de suelos.
- Tamaño de la muestra: según la teoría básica de muestreo simple para una población desconocida, se realizaron 9 muestra (3 para pigmento orgánico, 3 para pigmento inorgánico y 3 pruebas de concreto normal).
- Preparación de la muestra: Para realizar la proporción de pigmento a utilizar tanto orgánico como inorgánico, se realizaron cubos de pruebas para mortero aplicando la NTC 220. Para la preparación de la muestra se utilizó la norma técnica Colombiana 1377, Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio, y además, se utilizaron los pasos descritos para realizar los ensayo de resistencia a la compresión de Cilindros normales de concreto, NTC 673. Todas estas normas serán descritas en el ítem 4.2 marco legal.
- Pruebas de laboratorio: se realizaron los ensayos de laboratorio a los materiales que se usaron en la elaboración del concreto y además se hizo la prueba citada en el numeral anterior. Las normas aplicables a cada una de ensayos son NTC 3459, NTC 220, NTC 673, estas son explicadas en el marco referencial del presente documento. Según las normas citadas los equipos de laboratorio utilizados fueron la serie de tamices para agregado fino, balanza y además, se utilizó la máquina para medir la resistencia a la compresión, para los cilindros de concreto.
- Digitalización y análisis de resultados: luego de elaborar los especímenes de concreto para cada tipo de pigmento y para la muestra patrón, se esperaron 7, 14 y 28 días necesarios para que el concreto alcance su resistencia máxima, en cada uno de los tiempos citados anteriormente se realizaron las pruebas a compresión de los cilindros. Después se digitalizaron y se



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



realizaron las gráficas pertinentes, con el fin de analizar los resultados arrojados por la máquina.

- Conclusiones y recomendaciones: para la elaboración de las conclusiones se tuvo en cuenta toda la información recolectada para realizar el presente proyecto, además se analizaron y compararon los resultados obtenidos con los datos mostrados en el estado del arte mediante el análisis e interpretación de datos.

5.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El análisis de la información obtenida en los ensayos de laboratorio se hizo basados en la observación y la experimentación, técnica aportada por el método científico. Así mismo se utilizaron herramientas tecnológicas para el almacenamiento y análisis de datos y obtención de resultados, como Microsoft Excel, que mostrará de manera detallada el comportamiento de cada uno de los pigmentos usados, al mezclarlos con el concreto estructural arquitectónico, definiendo si existen ventajas y desventajas al momento de unir estos componentes.



6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. ENSAYO DE LOS MATERIALES

6.1.1. Cemento

El cemento utilizado en los ensayos fue el Cemento Argos de uso general, según (Argos, 2013) este cumple con la especificación de la norma internacional ASTM C 1157 -10 como cemento tipo GU.

Tabla 1. Especificaciones técnicas.

PRUEBA FISICAS		VALORES TÍPICOS CEMENTOS ARGOS		ASTM C-1157 -10
Expansión al Autoclave, % máx.		0,3		0,80
Tiempo de Fraguado: Vicat Inicial, min. (minutos)		120		45
Tiempo de Fraguado: Vicat Final, min. (minutos)		300		420
Expansion de la Barr de Mortero, % máx. (a los 14 días)		0,02		0,02
CEMENTO “USO GENERAL” (TIPO GU)	VALORES TÍPICOS (PSI)	ASTM C-1157 -10	Resistencia a la compresión Cementos “USO GENERAL” (TIPO GU)	
Resistencia a la compresión 3 días	1890	1890		
Resistencia a la compresión 7 días	2900	2900		
Resistencia a la compresión 28 días	4060	4060		

Fuente: Ver en línea (Argos, 2013)



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



6.1.2. Agua

Tal como lo estipula la norma NTC-3459, para este estudio se hizo uso de agua potable, ya que para garantizar que la mezcla de concreto sea de alta calidad, el agua debe ser apta para el consumo humano.

El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto. (NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, 2001).

El agua para elaborar el concreto puede tomarse de fuentes naturales y, por lo tanto puede contener elementos orgánicos indeseables o contenidos inaceptables de sales inorgánicas, Las aguas superficiales, en particular, a menudo contienen materia en suspensión, como aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales, y puede ser inadecuado emplearlas sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para que dicha materia en suspensión se elimine. (NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, 2001).

6.1.3. Árido

Para realizar los cilindros de concreto se hicieron las pruebas pertinentes a los agregados, para ello se usó la NTC 1522 (ensayo para determinar la granulometría por tamizado). El agregado fino ensayado arrojó los resultados mostrados en la tabla 1, y al ser comparados con los observado en la tabla 2, se puede decir que el agregado analizado es apto para realizar los cilindros de concreto, además en la tabla 1 se puede notar que el porcentaje de material que pasa el tamiz N 200 es igual a cero, esto significa que está libre de limos y arcillas, y por tanto no afectará las propiedades de la mezcla.



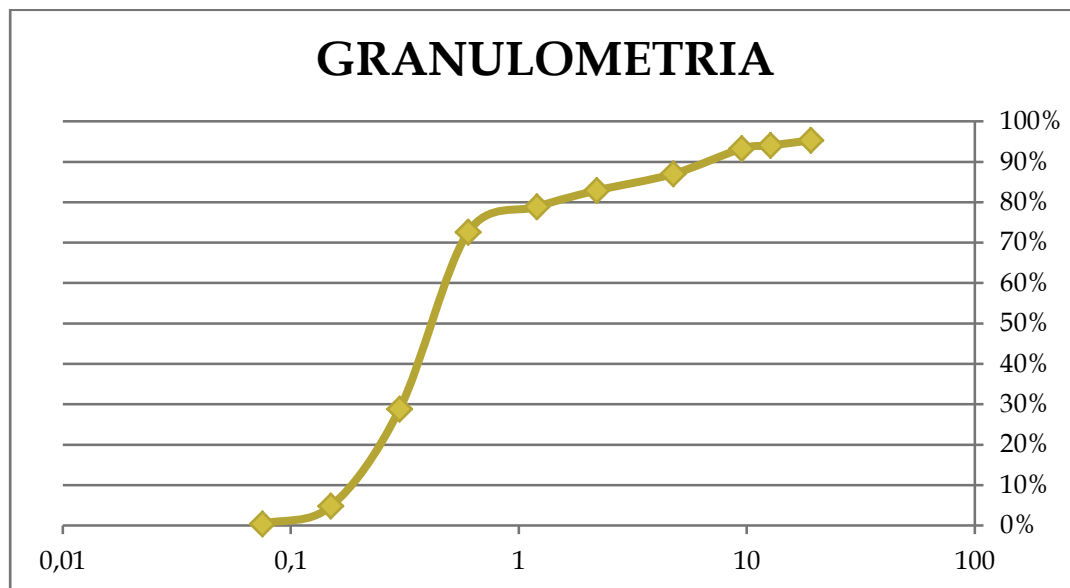
ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Tabla 2. Granulometría.

TAMIZ	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3/4"	19,1	21,4	5%	95,32%
1/2"	12,7	5,8	1%	94,05%
3/8"	9,5	3,5	1%	93,29%
4	4,76	28,7	6%	87,01%
8	2,2	18,7	4%	82,92%
16	1,2	18,6	4%	78,85%
30	0,6	28,6	6%	72,59%
50	0,3	200,3	44%	28,78%
100	0,15	109,6	24%	4,81%
200	0,075	20,1	4%	0,42%
FONDO		1,9	0%	0,00%
		457,2	100%	

Fuente: Autores.



Gráfica. 1. Granulometría.

Fuente: Autores



Tabla 3. Características de los áridos.

TAMIZ	PROCENTAJE QUE PASA
9,5	100
4,75	95 a 100
2,36	80 a 100
1,18	50 a 85
600	25 a 60
300	10 a 30
150	2 a 10

Fuente: Manual de Hormigón, Modesto Barrios Fontalvo.

6.1.4. Pigmento

En este proyecto se utilizó un pigmento inorgánico donado por la empresa cementera TOXEMENT, como “Color-Crete, Powder Integral Color” de color rojo ladrillo. Así mismo, se utilizó un pigmento líquido de tipo orgánico donado por la Facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena, que se obtuvo de las hojas secas de Jagua (Genipa americana, con las que se tiñe la caña flecha), para extracción de este color se usó como solvente el alcohol metanol. Este pigmento se considera de orden secundario ya que proviene de las hojas secas, material natural al que no se le atribuye un uso primario, incluso puede considerarse como material reciclable.

Cabe resaltar que el pigmento que se extrajo para este proyecto a base de metanol, también puede ser extraído usando agua, pues de esta manera acostumbran a obtenerlo los artesanos de la región de Córdoba y Sucre, creadores del sombrero vueltiao, haciendo esta extracción de manera artesanal y consiguiendo así el color deseado para sus pigmentos. Esta se convierte entonces, en una forma de mejorar la reacción del cemento y el concreto con estos aditivos naturales.



6.2. ELABORACIÓN DE LA MUESTRA

A los cilindros se le hicieron pruebas de resistencia a la compresión teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 673, la cual especifica el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de cilindros normales de hormigón, la preparación de la muestra se hizo con base a la norma NTC 1377. Así mismo se determinará por medio de la norma NTC 890 el tiempo de fraguado de la mezcla de hormigón y de acuerdo a la norma NTC 221 se determinará el peso específico del cemento.

Para la elaboración y curado de la muestra de hormigón se tendrá en cuenta que los cilindros deben estar hechos de un material no absorbente y que no reaccione con el hormigón, la varilla compactadora debe ser de acero estructural, éstas son especificaciones que da lugar la Norma Técnica Colombiana ICONTEC 1377. Así como también especifica hacer una mezcla homogénea del cemento con el agregado fino y los aditivos pulverizados, en este caso, los pigmentos inorgánicos, seguido del agregado grueso y posteriormente se le adiciona el agua. Cuando sea el pigmento orgánico, que en este caso es líquido, se adiciona al mismo tiempo que el agua.

Para los moldes que se van a utilizar, la norma específica que la compactación de la muestra es apisonada, se hará el llenado de los cilindros en tres capas iguales y se darán 25 golpes por capa con una varilla de 10 mm de diámetro.

Se usarán cilindros de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura como lo determina la norma y se llevarán a la máquina de ensayo con capacidad suficiente, equipada con dos placas de acero de dureza mínima, según la norma ICONTEC 673. Se harán ensayos a los 7, 14 y 28 días a los cilindros de concreto con las diferentes dosificaciones de pigmento y a la muestra patrón, para analizar cómo es el comportamiento en la resistencia del concreto cuando se hace uso de aditivos orgánicos e inorgánicos.

6.2.1. Muestra patrón

Después de realizar el cálculo para determinar las proporciones con las que se esperaba trabajar en la elaboración de la muestra, se procedió a hacer la mezcla.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Se midió la cantidad de cemento y se le adicionó el agregado fino hasta lograr una mezcla homogénea. Posteriormente se adicionó el agregado grueso mezclando sin adicionar agua hasta lograr una distribución uniforme en la mezcla, y por último se agregó el agua y se mezcló completamente hasta obtener homogeneidad en la mezcla.

Luego de hecha la mezcla, se procedió a llenar los moldes cilíndricos con ayuda de un palustre, teniendo en cuenta que el llenado debía tener una distribución simétrica en el molde. Para los moldes que se utilizaron, la norma específica que la compactación de la muestra es apisonada, por lo tanto se hizo el llenado de los cilindros en tres capas iguales, dándole a cada capa 25 golpes con una varilla de 10 mm de diámetro. Después de este procedimiento se hizo un acabado al cilindro con ayuda del palustre.

El siguiente paso fue el ensayo de los cilindros de concreto, el cual se llevó a cabo a los 7, 14 y 28 días como lo especifica la norma y se corroboró que la máquina de ensayo estuviera bien equipada y que tuviera la capacidad suficiente. Se extrajo de los moldes cada cilindro a ensayar, se pusieron uno por uno en la placa inferior de apoyo y se puso en funcionamiento la máquina de ensayo, aplicándole la carga de forma continua hasta que el cilindro falló.

Como se mencionó antes para realizar el ensayo de cada muestra se tuvo en cuenta la dosificación por cilindro y luego para preparar la mezcla se realizó el cálculo para los tres cilindros a ensayar, a continuación se muestra la tabla de dosificaciones.



Tabla 4. Dosificación de los materiales para la muestra patrón.

DOSIFICACIÓN DE MATERIALES			
volumen por cilindro (m³)	1 cilindro	3 cilindro	unidades
Cemento	1.8545625	5.5636875	kg
Arena	0.0029673	0.0089019	m ³
Triturado	0.00445095	0.01335285	m ³
Agua	0.8478	2.5434	lts

Fuente: Autores.

6.2.2. Muestra con pigmento inorgánico (en polvo)

La preparación de esta muestra es muy similar a la preparación de la muestra patrón. En la primera etapa se mezcló el cemento con la arena, pero también se agregó un aditivo pulverizado como lo determina la norma, en este caso se trata del pigmento inorgánico cuya presentación es en polvo, y se hizo una mezcla homogénea sin adición de agua. Posteriormente se hizo adición del agregado grueso y nuevamente se homogenizó la mezcla para luego agregar la cantidad de agua que requiere la muestra para su homogenización final.

La mezcla se llenó en los cilindros de la misma manera como se llevó a cabo para la muestra patrón, se llenaron con tres capas cada cilindro dando 25 golpes por capa. Se llevaron los cilindros al laboratorio para ensayarlos en la máquina de ensayos a los 7, 14 y 28 días y determinar los posibles cambios que pudiera tener la resistencia del concreto.

Como se mencionó antes para realizar el ensayo de cada muestra se tuvo en cuenta la dosificación por cilindro y luego para preparar la mezcla se realizó el cálculo para los tres cilindros a ensayar, a continuación se muestra la tabla de dosificaciones.



Tabla 5. Dosificación de los materiales para concreto con pigmento inorgánico.

DOSIFICACIÓN DE MATERIALES			
volumen por cilindro (m³)	1 cilindro	3 cilindro	Unidades
Cemento	1.8545625	5.5636875	kg
Arena	0.0029673	0.0089019	m ³
Triturado	0.00445095	0.01335285	m ³
Agua	0.8478	2.5434	lts
Pigmento en polvo (6%)	0.11127375	0.33382125	kg

Fuente: Autores.



Ilustración 2: Pigmento inorgánico – Toxement.

Fuente: Autores.

6.3. MUESTRA CON PIGMENTO ORGÁNICO (LIQUIDO)

Para las muestras de concreto que se hicieron con el pigmento líquido, la preparación de la muestra no varía mucho con respecto a la preparación de las muestras anteriores. En este caso se mezclaron inicialmente el cemento y el agregado fino hasta homogenizar, luego se incorporó el agregado grueso y se mezcló sin adición de agua.

Posteriormente se adicionó el agua requerida junto con el aditivo soluble que en este caso hace referencia al pigmento orgánico y se hizo la homogenización final de la muestra para continuar con el llenado de los cilindros. Pasado el tiempo requerido, se llevaron los cilindros al laboratorio y se procedió a ensayarlos en la máquina de ensayos hasta que fallaron. Estos ensayos, al igual que con las muestras anteriores, se hicieron a los 7, 14 y 28 días.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Como se mencionó antes para realizar el ensayo de cada muestra se tuvo en cuenta la dosificación por cilindro y luego para preparar la mezcla se realizó el cálculo para los tres cilindros a ensayar; en este caso como el pigmento es líquido se calculó la cantidad basados en la proporción de pigmento, y esta cantidad de líquido fue restada al agua necesaria para preparar la mezcla, a continuación se muestra la tabla de dosificaciones.

Tabla 6: Dosificación de los materiales para concreto con pigmento orgánico.

DOSIFICACIÓN DE MATERIALES			
volumen por cilindro (m ³)	1 cilindro	3 cilindro	Unidades
Cemento	1.8545625	5.5636875	kg
Arena	0.0029673	0.0089019	m ³
Triturado	0.00445095	0.01335285	m ³
Agua	0.8478	0.87429375	lts
Pigmento Líquido (30%)	0.741825	1.66910625	lts

Fuente: Autores.



Ilustración 3: Pigmento orgánico – Facultad de Química Farmacéutica.

Fuente: Autores.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.

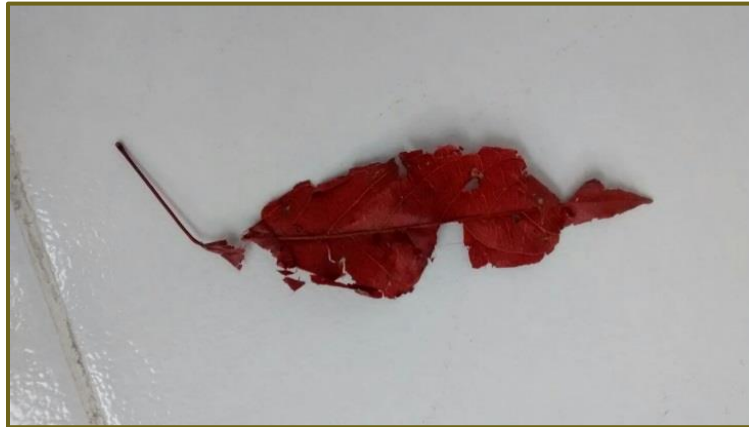


Ilustración 4: Hoja de Jagua para extracción del pigmento orgánico.

Fuente: Autores.

6.4. RESULTADOS

A continuación se presentaran los resultados que se obtuvieron en los ensayos de laboratorio con cada una de las muestras que se hicieron usando los tipos de pigmentos involucrados en este proyecto.

6.5. Muestra patrón

Esta muestra fue utilizada como referencia para analizar los datos que se obtuvieron al adicionar pigmento a las muestras, es decir, fueron tomados como los resultados normales para este tipo de ensayos y marcan la referencia para evaluar la resistencia de los cilindros

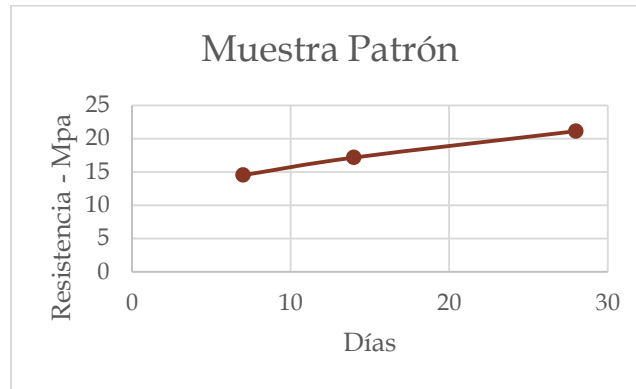
Tabla 7. Resistencia a compresión muestra patrón

MUESTRA PATRÓN		
DIAS	KN	Mpa
7	149.7	14.52
14	158.2	17.16
28	190	21.12

Fuente: Autores.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Gráfica 1.

Gráfica. 2. Comportamiento de la resistencia a compresión de la muestra patrón.

Fuente: Autores

A partir de la tabla de resultados y la gráfica anterior podemos ver que la muestra patrón tiene una alta resistencia, arrojando valores que se acercan a los esperados con respecto al diseño de mezcla que se hizo. Esta muestra alcanza su máxima resistencia de 21,12 Mpa a los 28 días, mientras que el diseño de mezcla se hizo para una resistencia de 22 Mpa que corresponden a 3000 PSI.

Es importante resaltar que en este caso el comportamiento de la resistencia no fue exacto en comparación con los valores esperados a los 7, 14 y 28 días debido a las condiciones climáticas que se presentaron al momento de hacer la fabricación de la muestra y de llevar a cabo los ensayos en el laboratorio.



Ilustración 1. Compresión a los 7 días de la muestra patrón – máquina de compresión

Fuente: Autores



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Ilustración 5. Compresión a los 14 días – máquina de compresión
Fuente: Autores



Ilustración 6. Compresión a los 28 días – máquina de compresión.
Fuente: Autores

6.6. Pigmento inorgánico

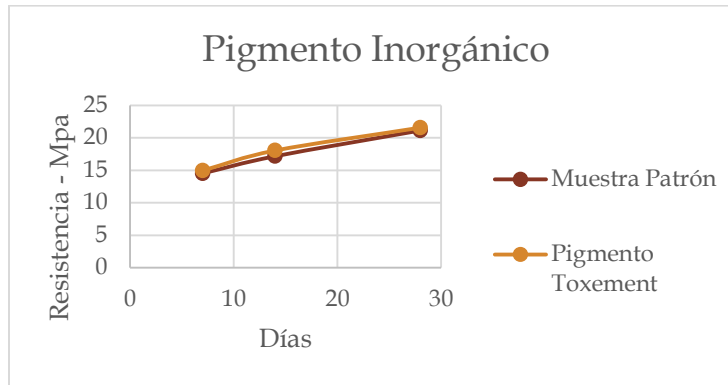
Tabla 8. Resistencia a compresión pigmento inorgánico.

PIGMENTO INORGÁNICO		
DIAS	KN	Mpa
7	175.6	14.96
14	186.5	18.0
28	208.2	21.56

Fuente: Autores



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Gráfica. 3. Comportamiento de la resistencia del concreto con pigmento inorgánico.

Fuente: Autores

Para esta muestra de concreto con adición de pigmento inorgánico en polvo a una concentración del 6% con respecto al peso seco del cemento, al analizar los resultados obtenidos en la tabla 7 y tabla 8, para los 28 días, es evidente que la muestra con pigmento inorgánico presenta una mayor resistencia que la muestra tomada como patrón, la diferencia entre estas dos muestras es igual a 0,44 Mpa, esto también puede ser evidenciado en la gráfica 3. Este espécimen además de mejorar la coloración de la muestra aumenta su resistencia a la compresión.



Ilustración 7. Compresión a los 7 días del concreto con pigmento inorgánico

Fuente: Autores.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Ilustración 8. Compresión a los 14 días del concreto con pigmento inorgánico.
Fuente: Autores



Ilustración 9. Compresión a los 28 días del concreto con pigmento inorgánico
Fuente: Autores

6.7. Pigmento orgánico (líquido)

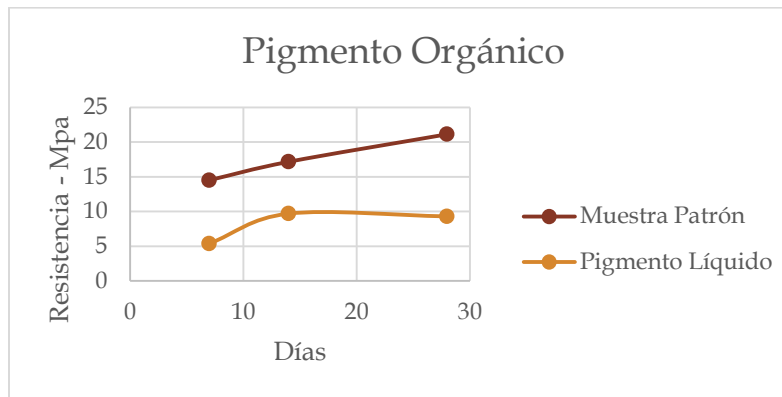
Tabla 9. Resistencia a la compresión pigmento orgánico.

PIGMENTO LIQUIDO		
DIAS	KN	Mpa
7	123.6	5.4
14	219.7	9.7
28	210.7	9.3

Fuente: Autores



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Gráfica. 4. Comportamiento de la resistencia del concreto con pigmento orgánico.

Fuente: Autores

Para las muestras de concreto que se hicieron con inclusión del pigmento orgánico en estado líquido donados por la Facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena a una concentración de 30% con respecto al peso seco del cemento, se observó una diferencia considerable en la resistencia del concreto respecto a la muestra patrón. En la tabla 9. Se muestra que la resistencia máxima, es decir a los 28 días, del concreto con adición de pigmento líquido fue igual a 9,3 Mpa, 12,22 Mpa menos que los observados con la muestra patrón. En la gráfica 4 se pueden corroborar los datos antes mencionados, y además se muestran el comportamiento de la resistencia el día 7, 14 y 28.



Ilustración 10. Compresión a los 7 días del concreto con pigmento orgánico.

Fuente: Autores.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Ilustración 11. Compresión a los 14 días del concreto con pigmento orgánico.

Fuente: Autores.



Ilustración 12. Compresión a los 28 días del concreto con pigmento orgánico.

Fuente: Autores.



Ilustración 13. Colores obtenidos con la adición de pigmentos.

Fuente: Autores



7. CONCLUSIONES

- Aunque las tres muestras analizadas presenta discrepancias, estas no pueden ser atribuidas al agregado fino, ni al agregado grueso, puesto que al realizar la granulometría de las muestra, ver tabla 2 y la gráfica 1, se pudo observar que el comportamiento de la muestra es el adecuado para realizar concretos, además el porcentaje de limos y acillas fue igual a 0%.
- Luego de observar el comportamiento de las tres muestras y la diferencia que presentan en sus resultados se puede decir que, el concreto se puede ver afectado por la adición de líquidos, y además por la composición que estos presenten, puede desmejorar su resistencia a la compresión. Los pigmentos comerciales, como el suministrado por Argos y utilizado como pigmento inorgánico, intensifican las características físicas y mecánicas de los concretos.
- La coloración que se obtuvo con la adición del pigmento líquido no fue visible a pesar de la alta concentración que se usó para la elaboración de la mezcla que fue de un 30%. Para las muestras de concreto con pigmento inorgánico, la concentración del 6% con respecto al peso del cemento de este aditivo fue suficiente para observar un cambio intenso en el color de la mezcla de concreto.
- Cada una de las muestras analizadas se les puede dar una calificación de buena y mala, para el pigmento inorgánico y orgánico, respectivamente. El pigmento suministrado por Argos presento la coloración deseada, rojo intenso y con una superficie lisa; mientras que el pigmento suministrado por la Facultad de Química Farmacéutica no presentaba ningún tipo de coloración.
- Por la composición del pigmento orgánico, hoja de Jagua sumergida en metanol, los cilindros realizado con este presentaron cambios en una de sus características físicas; un olor a miel antes, durante y después de su elaboración.
- De acuerdo a los valores obtenidos en los ensayos a compresión que se hicieron a las muestras de concreto, no es posible reemplazar el uso de pigmentos inorgánicos por el pigmento orgánico que se extrajo de la hoja de Jagua, debido a la disminución



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

en la resistencia que presenta el concreto al incluir en la mezcla este aditivo líquido y a la baja coloración que éste presentó.

- Durante la ejecución de esta investigación se pudo observar la diferencia que se presenta entre los dos pigmentos y la modificación que da en cada muestra respecto al patrón utilizado. A pesar de estas diferencias es importante resaltar la economía, la fácil ejecución y el manejo que se puede dar al utilizar los pigmento orgánicos, más si estos son producidos por elementos que no afecte directamente el consumo de los seres vivos.



8. RECOMENDACIONES

- Durante la ejecución del proyecto se presentaron algunas limitaciones de tiempo y espacio. Para la donación del pigmento orgánico se presentaron algunas demoras por parte de la Facultad colaboradora y además el pigmento no contó con el tiempo suficiente de concentración. Si se desea seguir con las investigaciones en colaboración con otras facultades es conveniente trabajar en conjunto y realizar análisis complementarios.
- Se recomienda hacer un análisis químico a los pigmentos orgánicos donados por la Facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena para determinar qué tanta incidencia tiene el metanol en la resistencia del concreto estructural.
- Los pigmentos orgánicos no presentaron coloración intensa, incluso no se distingue un cambio en el color. Se recomienda que a estos pigmentos se le alargue el tiempo de concentración de para que el metanol logre mayor evaporación y el color sea más intenso y definido.
- Se puede hacer extracción de los pigmentos orgánicos de una manera más natural, a base de agua como lo hacen los artesanos de las regiones de Córdoba y Sucre y no de metanol. Así se puede conseguir que mejore la reacción del pigmento con el concreto y se obtengan mejores resultados.
- Se recomienda hacer un estudio a los pigmentos orgánicos donados por la Facultad de química Farmacéutica de la Universidad de Cartagena para lograr una coloración más intensa del concreto a una menor proporción.
- Es importante hacer un análisis económico con respecto a la producción y mano de obra de los pigmentos, tanto orgánicos e inorgánicos.
- Con el fin de ampliar el campo de aplicación, sería importante aplicar en una mismo proyecto distintos tipos de pigmento orgánicos, y además realizar las pruebas iniciales en morteros, luego que estos arrojen resultados positivos, se puede proceder a evaluar concretos.



9. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, R. (2007). *DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS NANOMOLÉCULAS DE SÍLICE EN EL CONCRETO FRENTE A UN FACTOR QUE AFECTA SU DURABILIDAD*. Valdivia.

American Concrete Institute. (s.f.). *Architectur al concrete* .

Amor, G. (2011). *Tecnología del hormigon*.

Argos. (2013). *Argos*. Obtenido de <http://www.argos.co/Media/Panama/images/01%20CEMENTO%20USO%20GENERAL.pdf>

Argüello, M., & Perez, J. (2013). *ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MORTEROS BAJO LOS*. Cartagena.

Carvalho, F. (2002). Estructura de hormigón coloreado. *Simpósio internacional sobre concretos especiales* , 1-41.

Carvalho, F. (14 a 16 de marzo de 2002). Estructuras de Hormigón Coloreado. Sobral, Brasil.

Castro Guiachetti, M. (2005). *hormigón con pigmentos de color*. Valdivia.

CIVILGEEKS.COM. (11 de Diciembre de 2011). Recuperado el 22 de Febrero de 2014, de *CIVILGEEKS.COM*

(s.f.). *Concreto coloreado*.

Fuentes, H., Udeos, C., & González, B. (2010). *Hormigón visto en estructura: Proceso constructivo y acabado final*. Guayaquil.

Hora buena. (11 de Agosto de 2011). Obtenido de <http://horabuena.blogspot.com/2011/08/pigmento-historia-tipos-de-pigmentos.html>



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Larson., T. D. (s.f.). *ARQUA.COM*. Recuperado el 28 de Febrero de 2014, de <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/antecedentes-historicos-del-concreto/>

López, Tobes, Giaccio, & Zerbino. (2009). Cemente and concrete composites. *Revista Internacional de Composites de cemento y hormigón ligero*, 7.

Normas Técnicas Colombiana, NTC 111.

Normas Técnicas Colombiana, NTC 118

Normas Técnicas Colombiana, NTC 1377

Normas Técnicas Colombiana, NTC 220

Normas Técnicas Colombiana, NTC 221

Normas Técnicas Colombiana, NTC 673

Normas Técnicas Colombiana, NTC 890

Pigmentación de morteros y hormigones. (2013). *Revista Cemento Hormigón*. , 16-17.

Sika. (2012). Manual del Hormigón Sika. *Construcción*, 1-152.

SIKA Colombia. (07 de 2012). Brochure SIKA colorcreto. CARTAGENA, COLOMBIA.



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS DE TIPO ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONCRETOS ESTRUCTURALES ARQUITECTÓNICOS.



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL