



TABLA DE CONTENIDO

TITULO	14
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	16
1. INTRODUCCION.....	17
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	20
3. JUSTIFICACIÓN	22
4. OBJETIVOS	24
4.1 OBJETIVO GENERAL	24
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
5 ALCANCE.....	26
5.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	26
5.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL	26
5.3 ALCANCE DEL PROYECTO	26
6 MARCO REFERENCIAL.....	28
6.1 MARCO TEORICO	28
6.1.1 Mortero.....	28
6.1.2 Concreto	34
6.1.3 Pigmentos.....	36
6.2.1 Concreto de color de alto rendimiento en la torre-e de Brasil.	39
6.2.2 Respuesta a las inquietudes técnicas presentadas durante el proceso de re licitación de la licitación Pública Internacional No. LPI-TC-001-05. TRANSCARIBE.....	41
6.2.3 Hormigón con pigmentos de color Bayer	47
6.2.4 Estudio del efecto puzolánico del pigmento azul ultramar en el cemento portland blanco.	49
6.3 ESTADO DEL ARTE.....	52
6.3.1 Influencia de los pigmentos inorgánicos en la fluidez del mortero.	52
6.3.2 Influencia de los pigmentos de óxido de hierro en bloques entrelazados de hormigón.....	53



6.3.3	Ventaja del mortero base para el diseño de hormigón de color autocompactante.	55
6.4	MARCO LEGAL	56
6.4.1	NTC 220, Resistencia a la Compresión	56
6.4.1.1	NTC 221, Peso específico del cemento hidráulico.	57
6.4.2	NTC 118, Tiempo de fraguado por las agujas de Vicat.....	57
6.4.3	NTC 110, Consistencia Normal	58
7	METODOLÓGIA.....	59
7.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	59
7.2	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	59
7.3	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	61
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	62
8.1	ENSAYO DE LOS MATERIALES.....	62
8.1.1	CEMENTO	62
8.1.2	AGUA	63
8.1.3	ARIDOS	63
8.1.4	PIGMENTOS.....	64
8.2	FABRICACION DE LA MUESTRA	65
8.3	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	68
8.3.1	ENSAYO DE LOS ARIDOS.....	68
8.3.2	ENSAYO DEL AGUA	69
8.3.3	ENSAYO DEL CEMENTO	69
9	RESULTADOS Y DISCUSION	70
9.1	ENSAYO DE LOS PIGMENTOS	70
9.1.1	PIGMENTOS SUMINISTRADOS POR TOXEMENT.....	70
9.1.2	PIGMENTOS SUMINISTRADOS POR LA UNIVERSIDAD DE CARTAGENA.....	81
9.1.3	PIGMENTOS SUMINISTRADOS POR LA EMPRESA ITALIANA.....	91
10	CONCLUSIONES	96
11	RECOMENDACIONES	100
12	BIBLIOGRAFIA	101



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Algunas Propiedades del HPCC comparadas con el concreto estructural más convencional de 30 Mpa.	40
Tabla 2 Resultados del ensayo con pigmentos inorgánicos Bayer.	48
Tabla 3 Fluidez en el concreto – Pigmento Azul Ultramar.....	50
Tabla 4 Resistencia a la compresión en el concreto – Pigmento Azul Ultramar	51
Tabla 5 Características del Cemento Argos	62
Tabla 6 Características de los Áridos.....	64
Tabla 7 Porcentaje de Pigmentos Utilizados Para probetas.	68
Tabla 8 Algunos Propiedades del cemento hidráulico.....	69
Tabla 9 Resistencia a la Compresión al 4% de Pigmento.....	70
Tabla 10 Peso específico del cemento con pigmento al 4% Toxement.....	71
Tabla 11 Consistencia Normal con pigmento al 4% Toxement.....	71
Tabla 12 Tiempo de Fraguado al 4% del Pigmento Toxement.....	72
Tabla 13 Resistencia a la Compresión al 6% de Pigmento.....	74
Tabla 14. Peso específico del cemento con pigmento al 6% Toxement.....	75
Tabla 15 Consistencia Normal con pigmento al 6% Toxement.....	75
Tabla 16 Tiempo de Fraguado al 6% del Pigmento Toxement.....	75
Tabla 17 Resistencia a la Compresión al 8% de Pigmento.....	78
Tabla 18 Peso específico del cemento con pigmento al 8% Toxement.....	78
Tabla 19 Consistencia Normal con pigmento al 8% Toxement.....	79
Tabla 20 Tiempo de Fraguado al 8% del Pigmento Toxement.....	79
Tabla 21 Resistencia a la Compresión de Pigmento Azafrán.....	81
Tabla 22 Peso específico del cemento de pigmento Azafrán.....	82
Tabla 23 Consistencia Normal de pigmento Azafrán	82
Tabla 24 Tiempo de Fraguado de Pigmento Azafrán.....	83
Tabla 25 Resistencia a la Compresión de Pigmento Achiote.....	86
Tabla 26 Peso específico del cemento de Pigmento Achiote.....	87



Tabla 27	Consistencia Normal de Pigmento Achiote.	87
Tabla 28	Tiempo de Fraguado de Pigmento Achiote.....	88
Tabla 29	Resistencia a la Compresión de Pigmento Azul.	91
Tabla 30	Resistencia a la Compresión de Pigmento Verde.	91
Tabla 31	Resistencia a la Compresión de Pigmento Rojo.	92
Tabla 32	Resistencia a la Compresión de los Pigmentos Toxement.....	96
Tabla 33	Resistencia a la Compresión de los Pigmentos Italianos.	97
Tabla 34	Resistencia a la Compresión de los Pigmentos Suministrados por UdeC.	98
Tabla 35	Tiempo de Fraguado.	98



INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1 Resistencia a Compresión al 4% de concentración del pigmento.....	70
Gráfica 2 Consistencia Normal al 4% de pigmento Toxement.....	71
Gráfica 3. Resistencia a Compresión al 6% de concentración del pigmento.....	74
Gráfica 4 Consistencia Normal al 6% de pigmento Toxement.....	75
Gráfica 5 Resistencia a Compresión al 8% de concentración del pigmento.....	78
Gráfica 6 Consistencia Normal al 8% de pigmento Toxement.....	79
Gráfica 7 Resistencia a Compresión de pigmento Azafrán.	82
Gráfica 8 Consistencia Normal de pigmento Azafrán.	83
Gráfica 9 Resistencia a Compresión de Pigmento Achiote.	87
Gráfica 10 Consistencia Normal de Pigmento Achiote.	88
Gráfica 11 Resistencia a Compresión de Pigmento Azul.	91
Gráfica 12 Resistencia a Compresión de Pigmento Verde.	92
Gráfica 13 Resistencia a Compresión de Pigmento Rojo.	93



INDICE DE IMÁGENES

Ilustración 1 Compresión a las 24 Horas, Maquina Compresión.	73
Ilustración 2 Compresión a los 7 Días, Maquina Compresión.	73
Ilustración 3 Consistencia Normal Aparato de Vicat.....	73
Ilustración 4 Tiempo de Fraguado, Aguja de Vicat	73
Ilustración 5 Peso específico, frasco Le Chatelier	74
Ilustración 6 Compresión a los 3 Días, Maquina Compresión.	76
Ilustración 7 Compresión a los 14 Horas, Maquina Compresión.	77
Ilustración 8 Consistencia Normal Aparato de Vicat.....	77
Ilustración 9 Tiempo de Fraguado, Aguja de Vicat	77
Ilustración 10 Peso específico, frasco Le Chatelier	77
Ilustración 11: Probetas.....	80
Ilustración 12 Preparación de Muestra.....	80
Ilustración 13 Maquina de Compresión con probeta.	80
Ilustración 14 Probeta Ensayada	81
Ilustración 15 Lector de Maquina de Compresión.	81
Ilustración 16 Muestra Azafrán.....	84
Ilustración 17 Coloración a las 24 Horas.	85
Ilustración 18 Probetas.....	85
Ilustración 19 Probeta Ensayada a los 7.....	85
Ilustración 20 Probeta ensayada a los 14 Días.	85
Ilustración 21 Pesos Específicos.....	86
Ilustración 22 Consistencia Normal.....	86
Ilustración 23 Muestras.....	89
Ilustración 24 Consistencia Normal.....	90
Ilustración 25 Tiempo de Fraguado.	90
Ilustración 26 Preparación Para Tiempo de Fraguado.	90
Ilustración 27 Probeta Azul Ensayada.	94
Ilustración 28 Preparación de Probetas.....	94



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

Ilustración 29 Ensayo de Probeta Roja.	94
Ilustración 30 Interior de la Probeta.	95
Ilustración 31 Probeta Roja Ensayada.	95



TITULO

ANALISIS 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

RESUMEN

En la etapa de construcción de un proyecto, es importante la parte de acabados, debido a que a partir de estos es posible presentar al público para la venta. A lo largo del tiempo el mortero ha sido de gran utilidad para mejora de acabados, en algunos casos es usado como material de pega en la mampostería, o simplemente para mejorar las apariencias o detalles constructivos que debido a la colocación y descimbre terminan afectando las fachadas.

Todo esto nos llama a la búsqueda de mejorar los acabados en el aspecto de diseño, para esto, se buscó una manera de economizar los presupuestos establecidos en una construcción de tal manera que me disminuya los tiempos de ejecución de un proyecto a la hora de implementar un pigmento al mortero. Dicho pigmento podría eliminar una actividad comprendida entre de pañete y pintura.

El objetivo de esta investigación fue establecer y analizar las ventajas y desventajas que proporcionan el uso de los pigmentos biodegradables en la aplicación del mortero arquitectónico. Todo este estudio tiene como fin el análisis comparativo en las propiedades del mortero y ver que propiedades se alteran a la hora de la implementación del pigmento todo esto bajo el aval de las Normas Técnicas Colombianas.

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación fue de tipo experimental y consistió en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en este caso el pigmento, en condiciones controladas, para lograr obtener parámetros comparables con una muestra patrón.



En esta investigación se encontró que los pigmentos químicos favorecen en gran parte a la resistencia del mortero y dan una buena coloración, mientras que los biodegradables producidos por la Universidad de Cartagena no favorecen en la resistencia y sobre todo en su coloración, donde se logró observar que hay que aplicar gran cantidad para ver un leve cambio.

Si los resultados de esta investigación son estudiados desde el punto de vista químico por la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas se lograra determinar los componentes que alteran las propiedades del cemento que le causan la reducción a la resistencia y a su coloración, se podría lograr un pigmento que pueda ser considerado apto para la producción, de tal manera que cumpla con los requerimientos exigidos por las Normas Técnicas Colombianas.



ABSTRACT

In the construction phase of a project, it is important the polish part, because from these can be presented to the public for sale. Over time the mortar has been very useful to improve the polishing, in some cases it is used as glue material in the masonry, or simply to improve the appearance or construction details that, due to the placement and removing molds, end up affecting the facades.

All this calls us to the search of ameliorate the design aspect polishes to this; we sought a way to retrench the budgets established in a building, so it decreases the execution time of a project in implementing a pigment to the mortar. This pigment could eliminate an activity of between the plastering and painting.

The objective of this research is to establish and analyze the advantages and disadvantages that provide the use of biodegradable pigments in the application of architectural mortar. All this study has as an aim the comparative analysis on the properties of mortar, and see what properties are altered when implementing this pigment under the support of the Colombian Technical Standards.

The methodology, used for the development of the research, is experimental and involves the manipulation of an unproven experimental variable, in this case the pigment, under controlled conditions, to accomplish obtaining comparable parameters with a standard sample.

This research found that chemical pigments largely favor mortar strength and give it a good color, while the biodegradable ones produced by the University of Cartagena, does not favor resistance, especially in coloration, which we were able to observe that we have to apply a lot, just to see a slight change.

If this research is thoroughly studied by the Faculty of Chemistry and Pharmacy and achieves to identify the components that alter the properties of cement, that cause the reduction of resistance and coloring, it could accomplish a pigment that can be considered suitable for production in such a way that fulfill and satisfy the requirements demanded by the Colombian Technical Standards.



1. INTRODUCCION

“El mortero es un material plástico que se puede moldear dándole formas inimaginables para así obtener desde superficies con texturas intensas hasta acabados delicadamente pulidos; además puede colocarse en combinación con otros materiales para proporcionar la superficie, textura y/o color buscado”. (Fuentes, Udeos, & González, 2010)

La implementación del mortero en la construcción ha sido muy diversa; en Colombia se usa ampliamente como material de revoque o repello, como material de pega en la mampostería y en los últimos tiempos en la mampostería estructural, lo cual nos da un aporte a sus propiedades mecánicas, ya que de acuerdo a su uso este puede variar en su resistencia. Generalmente en mampostería estructuras se usan Morteros de tipo M, S o N los cuales tienen resistencias desde 750 hasta 2500 PSI y otros en mampostería reforzada, regulado por la norma sismo resistente C-476 con resistencias entre los 2500 y 3000. (Universidad Nacional, 2013).

También podemos identificar otros tipos de morteros, los cuales dependiendo los agregados que lo compongan puede ser usado para diferentes maniobras de trabajo, entre los cuales podemos identificar, los de cal que su tiempo de secado es muy avanzado, los cal y cemento de alta trabajabilidad y por último los de alta resistencia. (Cementos Valle, 1997)

El uso del mortero como material para resanar los daños ocasionados durante la construcción o simplemente para darle mejor contextura a una superficie, nos llama a la búsqueda de la mejor manera de economizar usando mortero, pues este material al ser usado se vuelve corrosivo debido a los agregados utilizados. Por lo cual, vemos que el problema radica en la tratar de hacer una superficie con mejor aspecto, sobre todo llamativa y estética.

Lo cual ha llevado a la búsqueda de la solución de dicho problema con la utilización de pigmentos de colores, para así reducir los tiempos de construcción y mano de obra y



sobre todo dar un mejor aspecto al acabado, y además tienen una facilidad de mantenimiento y reparación con menores costos de mantenimiento. (Hyun-Soo & Jae-Yong Lee, 2003)

El problema inicialmente radica en que los pigmentos dependiendo su procedencia tienden a modificar las propiedades de los morteros, porque al cambiar la relación agua-cemento por lo cual es ideal conseguir un pigmento el cual no altere las propiedades mecánicas de los morteros. De allí la preocupación por saber si los pigmentos serán un aditivo si bien, favorezca o desfavorezca las propiedades mecánicas del mortero. (Hyun-Soo & Jae-Yong Lee, 2003)

Estudios realizados en algunos países nos dan un poco de claridad sobre la afectación que tienen los pigmentos orgánicos en las propiedades del mortero, por lo cual se parte de la idea por saber si los pigmentos biodegradables usados para la fabricación de este proyecto serán más favorables que los ya usados anteriormente. Un claro ejemplo es una reciente construcción realizada en Brasil nos da un ligero panorama de dicha afectación, la cual es muy baja con respecto a los morteros sin la implementación de pigmentos y con la cual se logró obtener un buen acabado final (Helene & Hartmann, 2005). Pero este método constructivo también es aplicado aquí en el país, pues con el incremento de la movilidad y del transporte público, se ha querido implementar el sistema integrado de transporte, en el cual se ha trabajado en la mayoría de sus tramos, por no decir en todos, con concretos y morteros estampados. (T.Hirschi, Knauber, Lanz, Schlumpf, Schrabback, & Waeber)

Por eso el objetivo de este proyecto fue preparar un mortero en el cual se le adicionaron con pigmentos biodegradables para así poder hacer un análisis comparativo a las propiedades mecánicas de los morteros y determinar si los pigmentos usados actualmente por las centrales de mezcla son más eficientes en la poca afectación al mortero, ya que este a pesar de todo tiende a perder propiedades mecánicas, trabajabilidad y plasticidad a la hora de la incorporación de los pigmentos. (Carvalho, 2002).



Hoy en día las entidades constructoras (Cemex, 2013) buscan distintas alternativas de cómo desarrollar de una forma rápida y sencilla las obras civiles, esta investigación generó un esquema de facilidad constructiva en el cual se pueden obtener los mismos resultados de una forma más económica, pues a la hora de invertir en estética será una gran manera de satisfacer dicha necesidad junto a la necesidad estructural requerida por el propietario.

Hay que tener en cuenta que para presentar ciertos proyectos se debe cumplir con la Norma Sismo resistente Colombiana (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), con cada una de las especificaciones técnicas. Por ende debemos identificar que contraindicaciones traerá la aplicación de estos pigmentos a las próximas construcciones, teniendo en cuenta que los aplicados hoy en día son eficientes en su gran mayoría, pero teniendo en cuenta las investigaciones antes realizadas donde también podemos identificar otros problemas que sufre el mortero en el tiempo de fraguado que no sabemos en qué forma afecte al mortero junto con los pigmentos, lo cual nos genera una pregunta, ¿serán estos pigmentos biodegradables mejores y más económicos que los ya existentes provenientes de materiales ferrosos?.

Para realizar cada uno de los respectivos ensayos se aplicaron los conocimientos obtenidos en el área de Suelos y Materiales a lo largo de nuestro proceso educativo. Con los cuales se realizó la interpretación y análisis de resultados, así se obtuvo un resultado que se adaptó a las necesidades deseadas a lo largo del desarrollo de este proyecto, con los cuales se logró tener evidencia de que tan eficaces son los pigmentos biodegradables.



2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la ejecución de obras de construcción, hay diversos factores que alteran la finalidad y el desarrollo de dichas obras. Un buen cálculo estructural y correcta construcción, son los más importantes debido a que permiten que la estructura se mantenga en pie. Sin embargo los aspectos estéticos cada día van cobrando más fuerza permitiendo que el cliente disponga de su obra para las necesidades que este requiera. Siendo el hormigón el material de construcción más empleado por poseer excelentes propiedades mecánicas; durante muchos años la ingeniería se ha preocupado más de su resistencia, su trabajabilidad y de su durabilidad, que de su aspecto estético.

“Un elemento que aporta factores diferenciadores muy apreciables es el color. A partir de colores diferentes del natural del mortero pueden conseguirse resultados muy favorables y estéticamente de gran valor”.

Los pigmentos son aquellos aditivos que se encargan de darle color al mortero. Los más usados en la actualidad se caracterizan por ser en su gran mayoría totalmente inorgánicos, poseyendo así un valor agregado, debido a que sus materiales y costos de producción son mayores y deben fabricarse a grandes escalas para que el ahorro se vea justificado. Los pigmentos biodegradables en cambio, permiten una elaboración a menor escala, menores costos de producción e iguales propiedades y efectos.

Sin embargo, los pigmentos se consideran aditivos y los aditivos se caracterizan por modificarle las propiedades al mortero, en algunos casos para mejorarlo y en otros para empeorarlo. A la hora de incorporarle el aditivo al mortero, empieza la preocupación sobre si estos afectarían de forma negativa sobre las propiedades mecánicas del mortero, como su resistencia, durabilidad, fraguado, trabajabilidad entre otras.

En diversos estudios realizados, se observó cómo la resistencia del mortero se vio afectada con la adición de pigmentos inorgánicos. Debido a esto la Facultad de Ciencias



Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Cartagena elaboró pigmentos orgánicos los cuales fueron estudiados y comparados en el presente estudio con los pigmentos inorgánicos usados actualmente.

¿Serán los pigmentos biodegradables creados por la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Cartagena, lo suficientemente eficientes y económicos en comparación con los usados por las centrales de mezcla para alcanzar una resistencia deseada en el mortero?

Por lo tanto, con el objetivo de establecer las concentraciones adecuadas de pigmentos biodegradables en el mortero, se efectuó un análisis comparativo, en donde se evaluaron las propiedades mecánicas y químicas del mortero con diversas concentraciones de pigmentos, que permitieron establecer las ventajas y desventajas tanto de los pigmentos utilizados actualmente por las centrales de mezclas como de los pigmentos biodegradables, y con base a lo anterior mostrar las ventajas finales de estos últimos, desde el punto de vista, mecánico y económico.



3. JUSTIFICACIÓN

El mortero, material universal de construcción, es conocido por sus excelentes propiedades mecánicas que le permiten ser el protagonista y principal actor en la gran mayoría de obras, siendo actualmente el material más usado en estas. Sin embargo, a pesar de sus cualidades, los acabados que este presenta luego de la ejecución no son arquitectónicamente atractivos.

A lo largo de los años, se han venido desarrollando técnicas especiales para corregir este defecto, algunas de ellas relacionadas con su propia textura, (dándole formas a la superficie, bajo moldes o dibujos) y otras a través de la incorporación de color al mortero; permitiendo de esta forma resultados estéticamente favorables. A pesar de esto es necesario que los dirigentes de la obra no tengan que preocuparse por garantizar las condiciones y propiedades del mortero posterior a la implementación de los pigmentos, con el fin de evitar sobrecostos o nueva producción; debido a que todo aditivo afecta las características mecánicas y químicas del mortero, y los pigmentos son considerados uno más de estos.

Diversos estudios han dado como resultado la baja efectividad de los pigmentos inorgánicos al alterar en grandes porcentajes su resistencia a la compresión, debido a esto el estudio de las concentraciones adecuadas de un nuevo tipo de pigmento biodegradable en el mortero, permitirá establecer las cantidades necesarias de este, que sean las óptimas desde el punto de vista tanto mecánico como económico, con el objetivo de presentar al mercado si es posible este nuevo pigmento luego de haberlo estudiado como una solución a la problemática presentada en la actualidad.

Las herramientas académicas adquiridas a través de las asignaturas del área de Geotecnia y Materiales, serán parte esencial en la ejecución del proyecto, debido a que serán las bases para la realización de los ensayos contemplados en la Norma Técnica Colombiana, que permitirán calcular y conocer las propiedades del mortero.



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

Estos ensayos fueron realizados en los laboratorios de la sede Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena los cuales están a disposición de los alumnos y docentes para temas de investigación.

Cabe resaltar que en la Facultad de Ingeniería aún no se han realizado investigaciones acerca de estos pigmentos lo cual genera un gran interés, debido a su importante y novedoso aporte desde el punto de vista ambiental, ya que los pigmentos serán biodegradables.

Finalmente, los pigmentos biodegradables, serán suministrados por la Facultad de Ciencias Farmacéuticas de la Universidad de Cartagena mientras que los pigmentos inorgánicos serán suministrados por la central de mezcla Argos ubicada en el sector de Mamonal de la ciudad de Cartagena.



4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer las ventajas y desventajas del uso de los pigmentos biodegradables en el mortero, mediante análisis comparativo con pigmentos utilizados actualmente en las centrales de mezcla, a través de estudios y ensayos establecidos por la Norma Técnica Colombiana, con el fin de determinar si los pigmentos biodegradables pueden ser sustitutos de los pigmentos usados en las centrales de mezcla.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hallar las concentraciones adecuadas de pigmentos biodegradables en el mortero para diversas muestras de estudio establecidas y así obtener un material de construcción con resistencia y dureza muy similar al usado por las centrales.
- Realizar ensayos de compresión a los morteros para identificar las resistencias alcanzadas al aplicarle los pigmentos de colores.
- Determinar el efecto de los pigmentos en el mortero mediante la observación de los resultados de los diversos ensayos de plasticidad, resistencia a la compresión, densidad, tiempo de fraguado.
- Establecer los efectos físicos y mecánicos generados en el mortero por los pigmentos inorgánicos suministrados por las centrales de mezcla del sector.
- Establecer los efectos físicos y mecánicos generados en el mortero por los pigmentos orgánicos suministrados por la Universidad de Cartagena.



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

- Analizar económicamente el uso de pigmentos biodegradables en el mortero, como sustituto de pinturas para pañete.
- Comparar resultados prácticos con investigaciones previas en experiencias industriales.
- Comparar económica y mecánicamente los resultados obtenidos con los pigmentos biodegradables con los de los pigmentos tipo inorgánicos utilizados en la industria del mortero.



5 ALCANCE

5.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El proyecto de investigación se desarrolló en la ciudad de Cartagena de Indias, D.T y C. Los pigmentos biodegradables serán donados por la Universidad de Cartagena, mientras que los pigmentos inorgánicos fueron suministrados por las diversas centrales de mezcla de la ciudad. Los ensayos experimentales se realizaron en los laboratorios del área de Geotecnia y Materiales de la Universidad de Cartagena.

5.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El proyecto de investigación se ejecutó durante el segundo periodo académico del 2013, cuyo inicio fue en el mes Julio y su finalización fue en el mes de Noviembre.

5.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance de este proyecto de investigación comprendió la realización de ensayos de laboratorio como tiempo de fraguado, resistencia a la compresión, plasticidad, densidad, entre otros, los cuales están basados en la Norma Técnica Colombiana sobre el mortero bajo efectos de los diversos pigmentos (biodegradables y los suministrados por las centrales de mezcla).

Sobre el mortero se realizó un análisis comparativo de costos, entre la utilización de pigmentos biodegradables y pintura común, teniendo como objetivo comprobar si los pigmentos podrían usarse como sustituto de pinturas para fachada. Para esto, se tomó una muestra de 1m² de fachada en la cual se aplicarán ambos casos y se determinarán los valores unitarios de cada elemento y por ende su gran total en cada caso.



ANALISIS 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

Finalmente el proyecto comprende la entrega de un documento con los resultados del estudio. En el documento se encontrarán los pormenores técnicos de los efectos de los pigmentos biodegradables creados en la Universidad de Cartagena sobre el mortero, al tiempo que el análisis de costos y beneficios del uso de los pigmentos biodegradables.



6 MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO TEORICO

6.1.1 Mortero

El mortero es una mezcla de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua, y posibles aditivos que sirven para pegar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el relleno de paredes. Los más comunes son los de cemento y están compuestos por cemento, agregado fino y agua. Generalmente, se utilizan para obras de albañilería, como material de agarre y revestimiento de paredes.

El uso del mortero en la construcción ha sido muy diverso; en Colombia se usa ampliamente como material de revoque o repello, como material de pega en la mampostería y en los últimos tiempos en la mampostería estructural. Actualmente, hay muchas clases de morteros, entre los más comunes se pueden encontrar el mortero de cemento y arena, que presenta mucha resistencia y se seca y endurece rápidamente. Su desventaja es que no tiene mucha flexibilidad y se puede resquebrajar con facilidad. Otro mortero es hecho de cal y arena. Es más flexible y fácil de aplicar, pero no es tan resistente ni impermeable.

También se usa el mortero compuesto de cemento, cal y arena, que permite las ventajas de los dos morteros anteriores. Para lograr más resistencia, se aplica más cemento; si se prefiere mayor flexibilidad, se usa más cal.

Otro mortero muy popular es el mortero de cemento Portland, que es una mezcla de cemento Portland con arena y agua. Fue inventado en 1974 y se volvió muy popular después de la Primera Guerra Mundial, superando al mortero de limo para las nuevas construcciones debido a su capacidad de secar fuerte y rápidamente.



6.1.1.1 Características del mortero

- **Plasticidad**

Propiedad del mortero fresco de la que depende la mayor o menor aptitud para poder tenderlos y rellenar completamente las juntas. De la plasticidad depende lograr buena unión entre los elementos constructivos cuando colocamos mampuestos así como disminuir la penetración de agua en los cerramientos terminados.

La determinación de la plasticidad se puede considerar haciendo medidas de consistencia en cono de Abrams y limitando el contenido de finos. Consistencia media de 17 a 18 cm. y un contenido de fino < 15% en peso o 10% si se usan plastificantes. (Referencia de la norma española NBE FL 90).

- **Resistencia a la compresión**

Es la propiedad más indicativa del comportamiento del mortero en los cerramientos portantes construidos con mampuestos. La resistencia debe ser lo más elevada posible aunque es conveniente que sea inferior a los elementos de albañilería que va a unir.

La NTC considera como resistencia óptima de un mortero para muros una resistencia a la compresión a los 28 días de 40 kp/cm² que se podría obtener con las siguientes mezclas:

CEMENTO CAL ARENA 1:1:7

CEMENTO ARENA 1:6 (Esta dosificación necesita siempre de aditivos por plasticidad).



- **Adherencia**

La adherencia puede entenderse debida a la penetración de la pasta del mortero en el elemento de albañilería -mampuesto, sustrato- provocada por la succión capilar que este ejerce. Le proporciona la capacidad de absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie de la interface mortero / elemento de albañilería.

Los mecanismos de la adherencia actúan en las fases del mortero fresco y del mortero endurecido, tienen que ver con la reología de la pasta en la etapa fresco. Influye la naturaleza de la base: porosidad, rugosidad y existe una relación directa entre la resistencia a la compresión del cerramiento y la adherencia del mortero endurecido. En el resultado final intervienen factores internos: composición del mortero y afinidad con la base, externos curados y condiciones de humedad de las bases, espesores de las juntas.

6.1.1.2 Propiedades del mortero

- **Propiedades en estado plástico**

La trabajabilidad es la propiedad más importante en el estado plástico de un mortero. Se puede definir como la facilidad que permite el mortero al aplicarse sobre las superficies a recubrir o sobre las unidades de mampostería. Es el resultado de la interacción de las partículas que forman los agregados y depende directamente de la cantidad de lubricante (agua) presente en la mezcla. Se puede cuantificar en términos de plasticidad y fluidez de la mezcla por pruebas de laboratorio. El ajuste final del grado de trabajabilidad, puede ser regulado por el albañil en la obra controlando la cantidad de agua que se agrega a la mezcla. Esta característica es muy importante para lograr con los morteros de mampostería una diversidad de acabados.



La cohesión del mortero, es decir, la capacidad de mantener sus partículas unidas entre sí, está directamente ligada a la trabajabilidad de mortero, si el mortero tiene buena cohesión permite buena trabajabilidad.

La capacidad del mortero de mantenerse húmedo es definida por el grado de retención de agua del mortero. Es esencialmente importante cuando se aplica el mortero sobre superficies o unidades de mampostería altamente absorbentes, que despojan al mortero de la humedad necesaria para ser trabajable. Ante la absorción de la superficie se produce además un efecto Deshidratador en el mortero que puede afectar su proceso de fraguado cuando se utiliza un cemento hidráulico. La retención de agua y la influencia de las condiciones del clima deben ser tomadas en cuenta cuando se diseñan morteros.

- **Propiedades en estado endurecido**

En el estado endurecido la propiedad más importante de un mortero de mampostería es su capacidad de adherencia, que se define como la capacidad de pegarse a la superficie de trabajo. Otra propiedad deseable de los morteros de mampostería es la durabilidad, que es la capacidad del mortero de resistir el envejecimiento, los cambios de clima y los efectos nocivos de la intemperie durante su vida útil. La resistencia a tensión y a compresión son también propiedades deseables del mortero. Una buena resistencia a tensión del mortero evita la aparición de grietas. Una razonable velocidad de fraguado acompañado de una aceptable resistencia a compresión son factores que permiten que una construcción logre avanzar sin retrasos.

6.1.1.3 Tipos de Morteros

Atendiendo a su endurecimiento se pueden distinguir dos tipos de morteros: Los aéreos que son aquellos que endurecen al aire al perder agua por secado y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación, y los hidráulicos o acuáticos que endurecen bajo el



agua, debido a que su composición les permite desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

Teniendo en cuenta los materiales que los constituyen, podemos identificar los Morteros calcáreos, Morteros de yeso, Morteros de cal y cemento, y podemos definir otros como:

- **Morteros de cemento:**

Son los más empleados en Colombia, se componen de arena y cemento Portland. Este mortero tiene altas resistencias y sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo a la proporción de cemento y arena usados. Es hidráulico y debe prepararse teniendo en cuenta que haya el menor tiempo posible entre el amasado y la colocación; se acostumbra mezclarlo en obra, revolviendo primero el cemento y la arena y después adicionando el agua.

En el mortero de cemento al igual que en el hormigón, las características de la arena, tales como la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en su calidad.

En algunos casos se emplean arenas con ligeros contenidos de limo o arcilla, para darle mayor trabajabilidad al mortero, sin embargo, los morteros fabricados con este tipo de arena no son muy resistentes.

Si el mortero tiene muy poco cemento la mezcla se hace áspera y poco trabajable ya que las partículas de arena se rozan entre sí, pues no existe suficiente pasta de cemento que actúe como lubricante.

Por otro lado si el mortero es muy rico, es decir, con alto contenido de cemento, es muy resistente pero con alta retracción en el secado, o sea muy susceptible de agrietarse; estos morteros muy ricos sólo se usan en obras de ingeniería que exijan altas resistencias, tales como muros de contención o cimientos. En Colombia el uso del



mortero de cemento es ampliamente difundido, y se dosifica de acuerdo a la proporción en peso de cemento y arena.

6.1.1.4 Usos del mortero

Los morteros pueden tener una función estructural, y pueden usarse entonces en la construcción de elementos estructurales, o en la mampostería estructural en donde puede ser de pega o de relleno en las celdas de los muros.

Existen otros morteros que no tienen función estructural y se destinan a recubrimiento como pañetes, repellos o revoques.

- Mortero de pega: debe tener cualidades especiales, diferentes a los morteros usados para otros fines porque está sometido a las condiciones especiales del sistema constructivo, y una resistencia adecuada ya que debe absorber esfuerzos de tensión y compresión.
- Morteros de relleno: Se utilizan para llenar las celdas de los elementos en la mampostería estructural, y al igual que el mortero de pega debe tener una adecuada resistencia.
- Morteros de recubrimiento: Ya que su función no es estructural sino de embellecimiento, o la de proporcionar una superficie uniforme para aplicar la pintura, no requieren una resistencia determinada; la plasticidad juega en ellos un papel muy importante.
- **Morteros según su uso**
- Morteros que tienen suficiente resistencia y por lo tanto pueden soportar cargas a compresión, como sucede en la mampostería estructural.



- Morteros que mantienen unidos los elementos en la posición deseada, tal es el caso del mortero de pega.
- Morteros que proveen una superficie lisa y uniforme, estos son los morteros de revestimiento y revoque.
- Morteros que sirven para rellenar, juntas entre diferentes elementos constructivos.

6.1.1.5 Diseño del mortero

Los pasos relacionados a continuación especifican los pasos para el diseño del mortero:

- Determinación del tipo de arena: Debe ser limpia y bien gradada, tener disponibilidad de ella en la zona, bajo costos de explotación y transporte, así como el módulo de finura debe ser el mayor económicamente posible.
- Determinación de la relación agua-cemento
- Selección de la consistencia
- Determinación de los factores que influyen en el contenido de agua: Para el cemento a mayor finura, mayor es la cantidad de agua para una consistencia normal. En cuanto a la arena, el requerimiento de agua disminuye con tamaños gruesos y aumenta con la de agregados finos.
- Cálculo del contenido de cemento
- Determinación del contenido de agua
- Determinación del contenido de arena
- Ajustes por humedad de arena
- Ajustes a las mezclas de prueba

6.1.2 Concreto

El concreto es el material por excelencia compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade: partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.



El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos (que se clasifican en grava, gravilla y arena).

6.1.2.1 Características del Concreto

La principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las solicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para determinar la resistencia se preparan ensayos mecánicos (ensayos de rotura) sobre probetas de hormigón.

Las principales características físicas del hormigón, en valores aproximados, son la Densidad, Resistencia a compresión, Resistencia a tracción, Tiempo de fraguado, Tiempo de endurecimiento.

- **Fraguado**

El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto, producido por la desecación y re cristalización de los hidróxidos metálicos los cuales son procedentes de la reacción química del agua de amasado. Esta fase 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.

- **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 en ensayos de rotura a compresión de



probetas cilíndricas normalizadas realizados a los 28 días de edad y fabricadas con las mismas amasadas puestas en obra

- **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.

- **Durabilidad**

La durabilidad es la capacidad del concreto 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.

En los casos de existencia de sulfatos en el terreno o de agua de mar se deben emplear cementos especiales

6.1.3 Pigmentos

Los pigmentos son finas partículas de polvo, 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; resistentes a la intemperie, estables a la luz y a temperaturas extremas y deben quedar firmemente embebidos, con los finos del cemento cuando endurezca.



6.1.3.1 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.

Los pigmentos naturales son tierras coloreadas de manera natural por óxidos o hidróxidos metálicos (principalmente hierro). Los más conocidos son los ocre. Hay minas de óxidos de hierro naturales aún en explotación. El óxido de cromo natural no es explotable por su baja concentración.

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. Los únicos pigmentos naturales válidos son los derivados de óxidos de metales y de manera casi exclusiva, los óxidos ferrosos y férricos para la gama de negros, rojos y amarillos, y ocre como combinación de los dos anteriores, el dióxido de titanio para el color blanco y los óxidos naturales de cromo para la obtención del color verde.

Únicamente los minerales puros garantizan no afectar la resistencia. Aquellos componentes que en su formulación entra algún hidroxilado, ácido de oxígeno, como puede ser el humus, azúcares, alcoholes o almidones, quedan terminantemente excluidos de usarse como colorantes en el hormigón. En general este grupo de pigmentos es poco



utilizado en hormigones, ya que generalmente vienen mezclados con arcillas, cuarzos y otras impurezas. Además, son de un tamaño de partícula relativamente grande, de tonalidades opacas, de baja viveza, de bajo rendimiento o poder de coloración y de color variable, por lo que su uso puede afectar seriamente las características intrínsecas del hormigón.

6.1.3.2 Pigmentos en el mortero

Las ventajas del uso del mortero 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 y en muchos proyectos arquitectónicos, el hormigón coloreado es una alternativa económica a los materiales costosos de construcción, 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.

Las principales características físicas que se deben controlar en los pigmentos en polvo son las de tamaño y forma de la partícula, y la absorción de agua.

La forma y tamaño de las partículas tiene una importante incidencia en el matiz del color y la uniformidad que puede presentar en el elemento. Las partículas de los pigmentos son diez veces más finas que las del cemento.

El pigmento se agrega en un porcentaje del peso seco del cemento. Mientras mayor es la cantidad que se agrega a la mezcla, mayor es la intensidad del color. No todos los



pigmentos permiten una coloración igual. Por ejemplo, dos óxidos de hierro rojos aplicados a la mezcla de hormigón pueden dar dos tonalidades distintas al mantener todas las otras variables constantes. Esto se debe a la pureza y calidad del pigmento, que es lo que determina su poder de coloración y rendimiento. En todos los casos va a existir un punto de saturación, que va a variar también según la calidad del pigmento. Este punto se encuentra dentro de un rango de 5 a 8 % en base al peso seco del cemento. Se recomienda una dosificación entre un 2 y 6 %. Diversos estudios han comprobado la influencia negativa que tienen los pigmentos en la resistencia de los hormigones al agregarse en un porcentaje mayor a un 10%.

6.2 ANTECEDENTES

6.2.1 Concreto de color de alto rendimiento en la torre-e de Brasil.

En esta torre se empleó un concreto de alto comportamiento de una resistencia de 125Mpa para sus columnas. La torre se encuentra soportada sobre una losa de cimentación de concreto de 17m de ancho x 28m de largo y 2,8m de profundidad hecha con concreto de 35 Mpa.

La sección de las columnas es de aproximadamente 0.42m² de sección transversal.

El concreto usado fue un concreto de la más alta resistencia usado en Brasil y además de esto se le añadieron los pigmentos de colores para reducir tiempo y costos, el cual se obtuvo una reducción del 53% de ahorro en el volumen de concreto y 3% en costo total.

El cemento usado es brasilero del tipo V, de alta resistencia inicial con una adición de 23% de escoria de alto horno, 13% de humo de sílice y 4% del pigmento rojo inorgánico, un 1% de reductor de agua de alto rango y un aditivo de 0,45% para el control de hidratación y retardación del fraguado.

Con este proyecto lograron alcanzar resistencias de columnas en los niveles más bajos de 60Mpa y 40Mpa, las columnas alcanzaron una altura de piso de 5,5 m en el piso principal del primer piso.



Los estudios realizados para el control de calidad del HPCC, se usaron especímenes cilíndricos de 10x20cm y de 15x30cm y especímenes cúbicos de 15cm de lado para el ensayo de resistencia a compresión. El revenimiento no fue un factor decisivo ya que podía variar de 14 a 20 cm y fue influenciado por la temperatura ambiente y la humedad relativa.

Los especímenes fueron tomados directamente cuando se estaba colocando el concreto, se tomó directamente desde la tolva del camión.

La resistencia a la compresión determinada a partir de los especímenes cilíndricos de 15x30cm fue de 124,8Mpa en promedio después de 28días, con un máximo de 149MPa y un mínimo de 109,8Mpa. La desviación estándar fue de 6,1Mpa y la variación estándar de 4,9% y por último el promedio de E alcanzo los 47,7GPa.

Tabla 1 Algunas Propiedades del HPCC comparadas con el concreto estructural más convencional de 30Mpa.

Propiedades		HPCC f'c=125Mpa	Concreto Normal f'c=30 Mpa
Resistencia a Compresión (ASTM C 39)	7 días	111 Mpa	18 Mpa
	28 días	125 Mpa	36 Mpa
	63 días	141 Mpa	41 Mpa
	91 días	155 Mpa	44 Mpa
Modulo Elástico (ASTM C 469)	28 días	47 Gpa	33 Gpa
Resistencia a Flexión (ASTM C 496)	28 días	10 Mpa	3,3 Mpa
Profundidad de Carbonatación a 28 + 63 días a 25°C, RH 65%, CO2 5%	91 días	0	28 mm
Absorción Capilar (ASTM C 642)	Absorción de agua	0,35%	5,10%
	Absorción de agua después de hervir	0,41%	5,80%
	Volumen de Poros	1%	13,20%
	Volumen de Poros después de hervir	1,10%	15,10%
	Densidad	2500 kg/m3	2320 kg/m3



Absorción capilar (ASTM C 1403)	Absorción capilar después de 72 h	1,2 kg/cm ³	12 kg/cm ³
	Atención máxima interna del agua después de 72 h	0 mm	99 mm
Prueba de Hammer (ASTM C 805)		43 Coulombs	8000 Coulombs

Fuente: HPCC Torre-e del Brasil. PAULO HELENE Y CARINE HARTMANN 2009.

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

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.

Las recomendaciones constructivas para el concreto coloreado se encuentran en las especificaciones técnicas, planos y cartillas de espacio público elaborados por los consultores de arquitectura y se transcriben a continuación:

Construcción de losas en concreto hidráulico de MR50 y MR45 coloreado integralmente con pigmentos minerales.



- **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.

- **Juntas:**

El diseño del pavimento debe contemplar el despiece de juntas longitudinales y transversales típicas mencionadas en la cartilla de espacio público de este tramo parte integral de la licitación. las juntas transversales están coordinadas para coincidir con las juntas transversales de las losas de pavimento estas a su vez dan continuidad con las franjas moduladas en andenes.

La recomendación del proceso constructivo del estampado sobre las losas de tráfico es: Una vez fundida la losa y de acuerdo a las normas de construcción de estas, para tráfico vehicular, en el proceso de macrotexturizado, rocíe sobre toda la superficie un retardante de evaporación de agua e inicie las operaciones de allanado y alisado del concreto. La aplicación del retardante previene de la rápida exudación del concreto evitando la fisuración por retracción temprana. No aplique retardante cuando haya colocado el endurecedor superficial.

La colocación del endurecedor superficial, debe hacerse en el momento adecuado. Quiere decir que el concreto no tenga agua superficial o no debe estar seco cuando el proceso inicial de fraguado ya no permite la penetración superficial del endurecedor. El ACI-302 recomienda hacerlo cuando al presionar la superficie con un dedo no quede



una huella de más de 3-5 mm de profundidad. Realice ensayos para determinar en cada caso el momento adecuado.

Cuando se esté procediendo a la colocación del endurecedor de cuarzo, coloque una primera capa, deje reposar hasta que se humedezca el endurecedor. Pase una flota sobre la superficie para romper la tensión superficial y permitir que el endurecedor se introduzca en los milímetros superficiales del concreto. Proceda a la aplicación de la segunda capa, repita la operación de flotado y cuando el concreto esté suficientemente duro para recibir una allanadora mecánica (helicóptero) inicie las operaciones de acabado hasta obtener el deseado.

No se debe adicionar agua sobre el concreto cuando se esté allanando, ni aplicar cemento, operaciones que podrían desencadenar en fisuración y/o delimitaciones puntuales. Tampoco se recomienda sobre allanar el piso ya que podrían presentarse defectos como los mencionados anteriormente.

Cuando se aplican endurecedores en color se deben utilizar aspas de acero inoxidable o de teflón para evitar que se manche. Sin embargo se debe tener en cuenta que no se va a obtener un color tan regular como el que otorga un recubrimiento continuo. Para obtener un acabado con un color más parejo se debería pasados 7 días de aplicado, pasar una máquina destronadora con una piedra muy fina para retirar las micras superiores y dejar una mejor apariencia.

El curado es crítico. Se debe curar por mínimo 7 días con agua o con un compuesto curador del tipo antisol, cuando aplique curadores en colores no cure con agua o lonas humedecidas, ya que favorece la presencia de manchas.

Sistema de aplicación de endurecedor superficial franja estampada andenes y acabado losa pavimento Sistema Integrado de Transporte Masivo.

A continuación presentamos la recomendación para la aplicación de endurecedores superficiales de pisos siguiendo algunas sugerencias descritas en el ACI-302



- **Instalación de formaleta**

La formaleta deberá ser instalada teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

Asegure que la formaleta tenga una esquina en ángulo recto. sitúe las estacas que fijan la formaleta por debajo del nivel de la formaleta.

- **Concreto**

El concreto debe ser de buena calidad, preferiblemente con resistencia a la compresión mayor a 280 psi, y una relación agua/cemento menor a 0.55. El asentamiento del concreto no debe exceder los 10 cm y el espesor mínimo será de 6 cm. El concreto no debe tener más de 3% de aire incluido. El problema con el contenido de aire es que este puede evitar o hacer muy lenta la migración del agua hacia la superficie lo que ocasionará problemas de en el acabado tales como ampollamiento o delaminaciones. Tampoco se recomienda colocar sobre concretos con acelerantes de fraguado.

- **Aplicación**

Con el fin de asegurar una buena aplicación y evitar la presencia de defectos tales como fisuración superficial y de laminación del endurecedor deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

Planee la colocación del concreto para las horas en que las condiciones ambientales no sean extremas. Muy altas temperaturas (t mayor a 25°C) y velocidades de viento mayores a 10 km/h si es un pavimento o si se va a construir primero el piso en una construcción. Coloque cortavientos, o lo que es mejor coloque una carpa para evitar que el concreto pierda agua rápidamente y se puedan presentar fisuras por retracción temprana.



Inmediatamente después de extender el concreto rocíe sobre toda la superficie un retardante de evaporación de agua e inicie las operaciones de allanado y alisado del concreto. La aplicación del retardante previene de la rápida exudación del concreto evitando la fisuración por retracción temprana. No aplique retardante cuando haya colocado el endurecedor superficial.

La colocación del endurecedor superficial, debe hacerse en el momento adecuado. Quiere decir que el concreto no tenga agua superficial o no debe estar seco cuando el proceso inicial de fraguado ya no permite la penetración superficial del endurecedor. El ACI-302 recomienda hacerlo cuando al presionar la superficie con un dedo no quede una huella de más de 3-5 mm de profundidad. Realice ensayos para determinar en cada caso el momento adecuado.

Cuando se esté procediendo a la colocación del endurecedor de cuarzo, coloque una primera capa, deje reposar hasta que se humedezca el endurecedor. Pase una flota sobre la superficie para romper la tensión superficial y permitir que el endurecedor se introduzca en los milímetros superficiales del concreto. Proceda a la aplicación de la segunda capa, repita la operación de flotado y cuando el concreto esté suficientemente duro para recibir una allanadora mecánica (helicóptero) inicie las operaciones de acabado hasta obtener el deseado.

No se debe adicionar agua sobre el concreto cuando se esté allanando, ni aplicar cemento, operaciones que podrían desencadenar en fisuración y/o de laminaciones puntuales. Tampoco se recomienda sobre allanar el piso ya que podrían presentarse defectos como los mencionados anteriormente.

Cuando se aplican endurecedores en color se deben utilizar aspas de acero inoxidable o de teflón para evitar que se manche. Sin embargo se debe tener en cuenta que no se va a obtener un color tan regular como el que otorga un recubrimiento continuo. Para obtener un acabado con un color más parejo se debería pasados 7 días de aplicado, pasar una



máquina destronadora con una piedra muy fina para retirar las micras superiores y dejar una mejor apariencia.

El curado es crítico. Se debe curar por mínimo 7 días con agua o con un compuesto curador del tipo antisol, cuando aplique curadores en colores no cure con agua o lonas humedecidas, ya que favorece la presencia de manchas.

Confirmar si los concretos MR45 y MR50 solicitados en el pliego de condiciones son de color. La totalidad de los concretos MR45 y MR50 son de color y están claramente especificados en los estudios y diseños puestos a disposición de los proponentes. ¿A qué resistencia en unidad psi, corresponden los concretos para pavimento en concreto hidráulico MR50 y MR45? El parámetro de resistencia bajo el cual se medirá la calidad de los concretos hidráulicos MR50 y MR45 es el módulo de rotura y no la resistencia a la compresión. Para los carriles de solo bus debe ser de 50 kg/cm² y para los de tráfico mixto de 45 kg/cm².

- **Limitaciones**

Ejecución de acabado franja estampada sobre concreto hidráulico. Para este acabado se debe considerar:

- Programación de fundición, estas se deben hacer en horarios donde la temperatura ambiente no sea tan alto.
- El diseño de la mezcla debe considerar los aditivos necesarios para evitar fisuraciones.
- La membrana curadora o antisol debe ser del tipo rojo y se debe garantizar su transparencia.
- Se debe considerar un sitio para almacenaje de los agregados a utilizar para la construcción del pavimento, la cantidad de almacenaje será la suficiente para



elaborar la totalidad del pavimento, esto con el fin de garantizar la homogeneidad del color del pavimento.

6.2.3 Hormigón con pigmentos de color Bayer

Tesis para optar al título de ingeniero constructor, MARCELA CASTRO, Universidad Austral de Chile, República de Chile, Septiembre 2005

Con el objetivo de conocer si la adición de pigmentos afecta o no la resistencia del concreto, la alumna Marcela Castro realizó la tesis titulada “Hormigón con pigmentos de color”.

En primer lugar, previo a los ensayos respectivos del concreto, se caracterizaron las propiedades de los componentes de la mezcla de concreto a través de ensayos realizados a las gravillas, arenas y cemento. El pigmento no se ensayó debido a que sus propiedades se obtuvieron por certificación de los fabricantes.

Posterior a la caracterización de los componentes de la mezcla, se fabricó el hormigón patrón, es decir uno sin pigmentos realizado a modo de comparación con los hormigones de colores. Para la confección del hormigón se usaron probetas cilíndricas con tubos de PVC de 110, con un largo de 20cm y diámetro de 10cm, las cuales fueron ensayadas a los 28 días. También se usaron para el hormigón patrón 3 moldes cúbicos de 20x20cm donde el primero fue ensayado a los 7 días y los dos restantes a los 28 días.

Para el estudio del hormigón con pigmento, se usaron 8 tipos de colores, con una dosificación del pigmento de un 4% de la cantidad de cemento (8,1kg), equivalente en este caso a 32 gramos. Para una dosificación del 6% se usaron 3 colores dando un total de 49 gramos de pigmento.



La cantidad de pigmento necesaria fue agregada a la mezcla con los materiales en seco, es decir primero fue agregada la gravilla junto con el pigmento, después de mezclarse un momento (en donde los agregados rompen los aglomerados de pigmento logrando que se incorpore a la mezcla), se le agregó la arena, después el cemento, y por último el agua necesaria para la dosificación.

Cuando el hormigón se encontró listo fue vaciado a sus respectivos moldes y vibrado en dos capas, después de haber transcurrido 28 días, en los cuales las probetas estuvieron saturadas en una piscina, se ensayaron todas las muestras (hormigón patrón y con color) dando como resultado general el siguiente:

“El promedio de las resistencias a la compresión entre los 8 pigmentos utilizados en los ensayos fue de un 332.13 kg/cm² lo que da una diferencia de un 2.70% por debajo del hormigón sin pigmento lo que significa que la resistencia en promedio disminuyó un 10.87 kg/cm²”.

Tabla 2 Resultados del ensayo con pigmentos inorgánicos Bayer.

Ítem	Resistencia kgf/cm ²	Diferencia %
Hormigón sin pigmento	343	-
B. 118 vermelho	335	2.33
B. 222 vermelho	330	3.79
B. 745 vermelho	347	-1.17
Ítem	Resistencia kgf/cm ²	Diferencia %
Azul luz 100	331	3.5
B. 732 vermelho	340	0.87
B. 919 amarelo	320	6.71
B. 318 preto	330	3.79
B. 918 amarelo	324	5.54
Promedio entre los 8 colores	332.13	2.7

Fuente: Tesis para optar al título de ingeniero constructor, MARCELA CASTRO, Universidad Austral de Chile, República de Chile, Septiembre 2005.



- **Limitaciones**

- Carencia de antecedentes e información.
- Estudio con pigmentos inorgánicos en vez de pigmentos biodegradables.
- 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 de humedad en el lugar de estudio en Chile son distintas a las condiciones en Cartagena, poseyendo Cartagena un clima más cálido y más húmedo.

6.2.4 Estudio del efecto puzolánico del pigmento azul ultramar en el cemento portland blanco.

Tesis de maestría para acceder al grado académico de Magister en Ingeniería, CAROLINA GIRALDO TORRES, Universidad Nacional de Colombia, Medellín – Colombia. 2008

En el proyecto de investigación se buscó identificar la reacción entre el pigmento y el cemento Portland en pastas, cuantificar la resistencia a la compresión (ASTM C311), la resistencia al ataque de sulfatos (ASTM C1012) y la absorción capilar en morteros a diferentes edades de curado.



Como primer paso se realizó la caracterización de las materias primas (cemento C, Azul Ultramar AU, cal y Metacaolín MC). Posteriormente se trabajaron morteros de cemento Portland blanco con sustituciones de 0 %, 10 % y 20 % de AU para relacionar ensayos de resistencia a la compresión, exposición a sulfatos y absorción capilar con la mineralogía encontrada en las pastas de cemento. Todos estos procedimientos se evaluaron a diferentes edades de hidratación en pastas y de curado en morteros para hacer un seguimiento del comportamiento.

Para identificar el efecto del AU en morteros, se elaboraron mezclas de cemento Portland blanco con reemplazos de 0%AU, 10%AU y 20%AU, con una relación mc: arena (material cementante: arena, siendo material cementante el cemento con o sin sustitución) equivalente a 1:2,75, y se evaluó demanda de agua y de superplastificante, resistencia a la compresión, resistencia al ataque de los sulfatos y absorción capilar.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Fluidez: La fluidez se evaluó con relación a/mc (agua/material cementante) variable y constante (0.5) ajustando la cantidad de superplastificante, en morteros de cemento con reemplazo de 0%AU, 10%AU y 20%AU para un porcentaje entre 105 y 115 %.

Tabla 3 Fluidez en el concreto – Pigmento Azul Ultramar

Sustitución %	Rel a/mc	Sp (%) con a/mc = 0.5	Fluidez
0%AU	0.59	0.22	105-115
10%AU	0.62	0.26	
20%AU	0.63	0.36	

Fuente: Tesis de maestría para acceder al grado académico de Magister en Ingeniería, CAROLINA GIRALDO TORRES, Universidad Nacional de Colombia,

Resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión se evaluaron en morteros con relación a/mc variable y a/mc constante de 0,5 con superplastificante variable para



una fluidez entre 105 y 115 %, a edades de 1, 3, 7, 28 y 56 días de curado, de esta manera se podría considerar el incremento real en las resistencias sin que incida negativamente la cantidad de agua ya que el AU demanda mayor cantidad de agua que el C.

Tabla 4 Resistencia a la compresión en el concreto – Pigmento Azul Ultramar

% Sustitución	Resistencia a la compresión (Mpa)									
	Rel. a/mc variable					Rel. a/mc fija y sp variable				
	1d	3d	7d	28d	56d	1d	3d	7d	28d	56d
0% AU	3.2	7.6	11.2	15.8	19.4	3.1	6.2	8.8	17.6	18.0
10% AU	1.8	9.1	13.8	19.7	20.8	3.3	11.9	19.4	20.7	21.1
20% AU	1.2	9.1	13.8	17.9	22.0	2.6	11.0	17.6	23.3	23.9

Fuente: Tesis de maestría para acceder al grado académico de Magister en Ingeniería, CAROLINA GIRALDO TORRES, Universidad Nacional de Colombia,

De acuerdo con la Tabla 16 y la Figura 26, se observa que de manera general después de 1d de curado, todas las resistencias a la compresión de 10%AU y 20%AU con agua o superplastificante variable se encuentran por encima de 0%AU, evidenciando que la sustitución de AU actúa efectivamente incrementando las resistencias a la compresión de morteros. El Estudio del Efecto Puzolánico del pigmento Azul Ultramar en el Cemento Portland Blanco, permitió reconocer al Azul Ultramar como una adición activa. Sin embargo, su reacción no es la típica de una puzolana debido a que es un material cristalino, de un área superficial baja, y su consumo de portlandita se da para formar tobermorita en conjunto con etringita y gelenita, fases que densifican la matriz mejorando la durabilidad y contribuyendo con las resistencias a la compresión

- **Limitaciones**

- Pocos antecedentes de estudio en el ámbito internacional.



- El estudio fue hecho sobre cemento y no sobre el concreto directamente como sería el caso del proyecto de Investigación llevado a cabo en la Universidad de Cartagena.
- El estudio se realizó con Pigmento Azul Ultramar el cual es un tipo de pigmento distinto a los usados para darle color al concreto, debido a que este tiene la propiedad de aumentar la resistencia a la compresión al concreto.
- El clima de la ciudad de Medellín y sus condiciones de humedad son diferentes a las locales (El clima en Cartagena es más húmedo y más cálido).
- El alcance del proyecto abarcaba consideraciones químicas mientras que en la investigación actual solo se evaluarán las propiedades mecánicas del concreto.

6.3 ESTADO DEL ARTE.

6.3.1 Influencia de los pigmentos inorgánicos en la fluidez del mortero.

El presente artículo tiene como objetivo el estudio de los pigmentos inorgánicos y los efectos de estos en la fluidez del mortero. Para lograrlo, se tomaron muestras de mortero con pigmentos rojos y amarillos en diversas concentraciones. En total fueron 18 muestras de mortero de 5cmx5cmx5cm de tamaño para cada mezcla. Se utilizó cemento blanco fabricado en Corea con una gravedad específica de 3.15 y una resistencia de 421 kgf/cm² a los 28 días.

Respecto a los pigmentos se utilizaron dos clases distintas de colorantes inorgánicos provenientes de Corea y Alemania. Los colores estudiados fueron el amarillo, rojo, verde y negro los cuales son los más usados en el hormigón/mortero. El principal componente en los pigmentos amarillos, rojos y negros es el óxido de hierro, mientras que en los pigmentos verdes es el óxido de cromo.



Los pigmentos rojos, verdes y negros se caracterizan por ser de forma esférica. Por otro lado las partículas de pigmento amarilla tienen forma alargada.

Las concentraciones estudiadas para cada caso fueron del 3%, 6%, 9% y 12%. Se encontró que: El flujo del mortero es inversamente proporcional a la dosis del pigmento. A mayor coloración, mayor disminución de la fluidez, por lo tanto el valor es menor en esta. La proporción de mezcla aceptable del pigmento rojo debe estar por debajo de 9 % para obtener una fluidez de más 180 mm (teniendo en cuenta su facilidad de trabajo en el sitio) Mientras que para concentraciones menores al 9% en los pigmentos negros y verdes no se presentó disminución del flujo.

Como punto interesante se encontró igualmente que la forma de la partícula también influye en la fluidez del concreto, en pigmentos con forma de aguja se afectó la trabajabilidad disminuyendo la fluidez a una misma concentración de pigmentos. Por lo tanto en estos casos se recomendó trabajar con una menor dosis del 6%.

6.3.2 Influencia de los pigmentos de óxido de hierro en bloques entrelazados de hormigón.

El presente artículo tiene como objetivo establecer los efectos producidos por los pigmentos de óxido en los bloques entrelazados de hormigón.

Estos bloques se usan en grandes aplicaciones comerciales, municipales e industriales debido a que poseen atractivo estético y se caracterizan por su facilidad de colocación y retirada, reutilización de los bloques originales, y disponibilidad inmediata.

Los bloques fueron teñidos con pigmentos a base óxido de hierro. Se midió la resistencia a la flexión, la absorción y la coloración. Fueron fabricados 80 bloques en total, 40 parcialmente coloreados y 40 con colores enteros. Se utilizó cemento portland tipo II y arena de gran tamaño. Los óxidos de hierro usados en el experimento consisten en óxido de hierro marrón (A) y pigmento de óxido de hierro (B)



La relación de agua-cemento y aire contenido era menor de 25% y 20. El pigmento A se ensayó bajo concentraciones de 3%, 6%, 8% y 10% mientras que las concentraciones del pigmento B fueron de 3%, 4% y 5%.

En este estudio se midió la resistencia a la flexión, la absorción capacidad y la saturación de color de los bloques utilizados para las aceras y las carreteras después de la incorporación de pigmento de óxido de hierro sintético y óxido de hierro marrón. Se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Pigmento de óxido de hierro (Pigmento B): Son de tamaño superior al del óxido de hierro marrón. Debido a que las partículas de pigmentos de óxido de hierro son más finas que las de óxido de hierro marrón, los se mezclan rápidamente con el pigmento.
2. La cantidad apropiada a usar de pigmento de óxido de hierro debe ser la mitad de la de óxido de hierro marrón, debido a que presenta una mayor coloración. Se recomienda por lo tanto usar una dosis del 50% de la dosis de óxido de hierro marrón para óxido de hierro.
3. La resistencia a la flexión de los bloques de colores en el día 28 de los que contiene óxido de hierro fue menor a la resistencia de los que contienen óxido de hierro marrón. A los 28 días el óxido de hierro marrón mostró 4,44Mpa, mientras que óxido de hierro mostro 5,27Mpa.
4. La resistencia a la flexión en el día 91 para bloques de óxido de hierro marrón y pigmento de óxido de hierro tenían un alto valor de 6,83 Mpa y un valor mínimo de 4,75 Mpa a 6 % y 5 % , respectivamente .



6.3.3 Ventaja del mortero base para el diseño de hormigón de color autocompactante.

El desarrollo del hormigón autocompactante de color abre nuevos campos de aplicación, ya que añade alternativas atractivas para impugnar diseños arquitectónicos en cuanto a formas y colores, distintas las características del hormigón tradicional.

Por medio de este trabajo de investigación se mostraron los efectos de los pigmentos en la viscosidad del mortero y hormigón autocompactante. Se prepararon morteros con pigmentos de diferentes formas y figuras.

Este trabajo de igual forma muestra las ventajas de la utilización de una metodología de diseño de la mezcla del mortero a base de autocompactante.

Para comparar los parámetros de color de mezclas, se usaron moldes de diferente textura y absorción. Pequeños elementos en forma de U con paredes de tres diferentes materiales (acero, madera y vidrio) se llenaron con morteros elaborados con cemento gris y diferentes contenidos de pigmento.

Las superficies de las muestras eran homogéneas y sin manchas. Algunos parámetros de color cambiaron de acuerdo con el material de la superficie. Se usaron pigmentos de diferentes formas y finura: tres óxidos de hierro amarillo, rojo y negro, al tiempo que negro carbono, dos de cobre azul y verde.

Los óxidos de hierro amarillo poseen forma alargada, mientras que rojos en forma de esferoide. Los de cobre azul y verde son de tipo orgánico. Como agregados fueron utilizados piedra triturada de granito de densidad 2,75, arena con módulo de finura 2,39 y densidad específica de 2,6. De igual forma se usó cemento portland gris del ordinario.

Para la selección del color se varió cada pigmento hasta el punto de saturación. Los contenidos de los pigmentos son pequeños sin embargo sus efectos de acuerdo a las



variaciones son relevantes para determinar las pautas de ajuste del color. Se presentaron tres pigmentos de óxido de hierro en dosis de 3%, 5% y 7%. El aditivo plastificante se mantuvo como constante.

El enfoque de mortero conduce a una optimización rápida y fácil de proporciones de mezclas que pueden incluir diferentes tipos de pigmentos, cementos, agregados minerales y aditivos químicos.

El método permitió definir la dosis de superplastificante para diferentes pigmento / cemento / combinaciones de relleno, así como para verificar el efecto de los pigmentos y la viscosidad del cemento a lo largo del tiempo.

Se encontró finalmente que la capacidad de auto compactación del mortero permaneció prácticamente sin verse afectada cuando hubo pequeños cambios en el contenido de pigmento.

6.4 MARCO LEGAL

6.4.1 NTC 220, Resistencia a la Compresión

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50,8mm de lado. Es de suma importancia debido a que el uso de aditivos influye en la resistencia a la compresión del mortero por lo cual es importante medir la variación de esta de acuerdo a las dosificaciones de pigmentos.

Los equipos utilizados son: molde, balanza, probetas graduadas de vidrio, cámara húmeda, máquina de ensayo, cemento portland tipo I, arena, vaselina, agua.

Para proceder al ensayo la cantidad de agua debe estar entre el 105% y el 115%. Los materiales se mezclan sobre una superficie no absorbente, cuando la pasta se encuentre homogénea se hace un cono y se le abre un hueco en el centro donde se procederá a



verter el agua. Se llenan los cubos, estos son metálicos. Se apisonan con 32 golpes. Se lleva a la cámara húmeda en donde deben permanecer de 20 a 24 horas. Posteriormente se centra el cubo en la parte posterior de la máquina, se aplica una precarga igual a la mitad del valor esperado. Se anota la carga máxima al momento de la rotura en N y se divide por el área de la sección transversal del cubo.

6.4.1.1 NTC 221, Peso específico del cemento hidráulico.

Este ensayo tiene como objetivo determinar el peso específico del cemento lo cual permite el diseño y control de las mezclas. Es de suma importancia debido a que la inclusión de pigmentos modifica el peso específico al contar estos con una densidad distinta a la del cemento. Ante diversas concentraciones se espera de igual forma que el peso específico de igual forma se modifique.

Los equipos usados son: frasco de Le Chatelier, balanza, recipiente para baño de María. Se debe llenar el frasco Kerosene hasta un punto entre 0 y 1 ml (lectura inicial). Se agregan 64 gramos de cemento portland en pequeñas cantidades. Se gira describiendo círculos concéntricos hasta que no salgan burbujas, posteriormente se coloca el frasco en baño de María y se toma la lectura final. La diferencia entre lecturas es el volumen desplazado por la masa de cemento.

6.4.2 NTC 118, Tiempo de fraguado por las agujas de Vicat.

Este ensayo tiene como objetivo determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el uso de la aguja de Vicat. Los equipos usados son: aparato de Vicat, balanza, probetas graduadas de vidrio, guantes, cámara húmeda.

Para medir el tiempo de fraguado se colocan 500gr de cemento en forma de cono, se realiza un orificio en su interior sobre el cual se vierte la cantidad de agua necesaria obtenida para obtener la consistencia normal.



Se mezcla durante 90 segundos y se pasa de mano a mano 6 veces a una distancia de 15cm. Se llena el molde por la parte inferior y se coloca la base. Todo el conjunto se lleva al aparato y se centra bajo la aguja de 1mm hasta que toque la superficie de la pasta. Se deja caer durante 30 segundos. La muestra debe permanecer en la cámara durante 30 minutos, en ese mismo instante se determina la penetración de la aguja y se repite cada 25 minutos hasta que se obtenga una penetración de 25 o menos.

6.4.3 NTC 110, Consistencia Normal

La consistencia normal indica el grado de fluidez para manejar la pasta de cemento. Es de suma importancia debido a que los pigmentos influyen en la fluidez del cemento al ser un material más que se le agrega a la pasta. Los equipos que se usan son: Aparato de Vicat, balanza, probetas graduadas de vidrios y guantes.



7 METODOLÓGIA

7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación, fue de tipo experimental. “La investigación experimental consistió en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular”.

El diseño experimental tuvo por objetivo determinar si la adición de pigmento en el mortero afecta su resistencia a la compresión y su acabado y establecer si el pigmento suministrado por la Universidad de Cartagena es mejor que el proporcionado por las centrales de mezcla. Este resultado es la variable experimental no comprobada. Las condiciones rigurosamente controladas fueron los ensayos de laboratorio basados en la Norma, mientras que los resultados de este a través del método científico se analizaron y discutió para de esta forma corroborar la hipótesis previamente planteada sobre la efectividad de los pigmentos biodegradables.

Luego se caracterizaron las propiedades de los componentes del mortero, los ensayos a los áridos y de las propiedades del mortero se detallan más adelante.

7.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

- Obtención de Pigmentos: Se solicitaron varios pigmentos de los cuales unos fueron suministrados por la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Cartagena y otros por la central de mezcla, en este caso, a través de Argos fue posible conseguir el pigmento con la empresa Toxement, a los cuales se les realizaron los distintos ensayos a la pasta y al mortero de acuerdo a su proporción y así fueron comparados para saber cuál era la afectación de los pigmentos suministrados por la Universidad con respecto a los ya existentes.



- Hallar concentraciones: Se tomaron proporciones existentes según las distintas centrales de mezcla las cuales son a un 4%, 6% y 8% respecto al peso seco del cemento.
- Solicitar Máquinas y equipos a la Universidad de Cartagena: Se solicitó el permiso a la Universidad de Cartagena para realizar ensayos en los laboratorios de Suelos en el cual se encontraban las máquinas y equipos necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Tamaño de Muestra: Mediante un método estadístico de recolección y recuento se obtuvo un tamaño de muestra con los cuales arrojó el número de muestras para ensayar, a través de la NTC se estableció la cantidad de ensayos.
- Preparar Cubos de Mortero con las proporciones establecidas: Se prepararon 324 cubos de mortero a diferentes concentraciones y fueron sumergidos en agua para luego ser ensayados.
- Ensayos de laboratorio: Luego de determinada las concentraciones se tomaron muestras de mortero para hacerle ensayos de plasticidad, densidad, tiempo de fraguado y adherencia. Otra parte de la muestra se realizaron los cubos para luego ser sometidos a fuerzas de compresión en la maquina universal para así lograr comprobar cada una de sus características físicas y mecánicas para ser comparadas con las establecidas por la central de mezcla y el ensayo realizado al cubo sin pigmentación. Durante estos ensayos también se comprobó la apariencia física del mortero.
- Documentación: A partir de ensayos previos de otros proyectos de investigación, fichas técnicas y otras fuentes se comparó y analizó, con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, mediante análisis e interpretación de estos y así se logró ver la afectación de dichos pigmentos hidrosolubles.



- **Análisis de Costo:** Se comparó la diferencia entre el costo del pigmento usado por las centrales de mezcla con el costo y preparación de los pigmentos suministrados por la Universidad de Cartagena.
- **Digitalización:** Se digitaron los resultados y documentos previamente encontrados posterior a la obtención de análisis y conclusiones de resultados.

7.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

- **Método científico:** Mediante la observación, experimentación e inducción se analizarán los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio sobre el mortero, los resultados de los serán analizado mediante Microsoft Excel en donde mostraran las gráficas de las diversas propiedades mecánicas analizadas como la resistencia a compresión, tracción y fraguado, densidad, porosidad, plasticidad entre otras.
- **Identificación:** Mediante los resultados previos se identificaran las ventajas y desventajas del uso de cada tipo de pigmentos.



8 ANALISIS DE RESULTADOS

El objetivo de esta investigación fue practicar una serie de ensayos y medir el cambio en las variables de resistencia que genera en el mortero la adición de los pigmentos.

Las variables independientes en este estudio fueron la clase de cemento, el tipo de pigmento y su la proporción de este último. Se trabajó con cemento Portland de grado corriente de marca comercial Argos. Los Pigmento hidrosolubles, cuyo fabricante es la Facultad de ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Cartagena en los que se utilizara en porcentajes respecto al peso seco del cemento.

8.1 ENSAYO DE LOS MATERIALES.

8.1.1 CEMENTO

La Normas técnicas Colombianas establece una clasificación para los cementos según su composición y resistencia. Se utilizó solo cemento Argos de grado corriente.

En los cuales, después de haberle hecho sus respectivos ensayos se obtuvieron valores aceptables pues se encuentran en el rango establecido por las Normas Técnicas Colombianas.

Por lo cual podemos identificar como aceptable el cemento Argos para la realización de todas las pruebas técnicas respectivas y obtener la respectiva comparación.

Tabla 5 Características del Cemento Argos

PARAMETROS QUIMICOS	ESPECIFICACIONE S ARGOS	NTC 321 TIPO I	ASTMC-1157 TIPO GU
Óxido de magnesio, MgO, Máximo	6	7	-
Trióxido de azufre, SO, Máximo	3,5	3,5	-
PARAMETROS FÍSICOS	ESPECIFICACIONE S ARGOS	NTC 121 TIPO I	ASTMC-1157 TIPO GU



Fraguado Inicial (1), Mínimo (minutos)	45	45	45
Fraguado Inicial (1), Máximo (minutos)	420	480	420
Expansión autoclave, Máximo (%)	0,8	0,8	0,8
Expansión en agua (2), Máximo (%)	0,02	-	0,02
Resistencia a 3 días (3), Mínimo (Mpa)	9	8	13
Resistencia a 7 días (3), Mínimo (Mpa)	16	15	20
Resistencia a 28 días (3), Mínimo (Mpa)	26	24	28
Blaine, Mínimo (cm ² /gr)	2800	2800	-

(1) Ensayo con aguja de Vicat según NTC 118 (ASTM C191)

(2) Ensayo en Barras de mortero a 14 días según NTC 4927 (ASTM 1038)

(3) Ensayo a compresión sobre cubos de mortero con arena normalizada según NTC 220 (ASTM C109)

Fuente: Ficha técnica de Cemento Argos, Cemento Gris de Uso General.

8.1.2 AGUA

Para el estudio se utilizó agua potable, según lo estipula la NTC-3459, puesto que el agua para ser aceptada en la fabricación de un mortero de calidad, debe ser potable o que se pueda beber.

El agua usada fue 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.

8.1.3 ARIDOS

Cabe dejar claro que en los áridos utilizados en la preparación de mortero con color fueron realizados con arena normalizada certificada por el proveedor debido a que los moldes usados y el ensayo presentado en la NTC 220 exige una preparación de



mortero 1:2.75 lo cual nos indica que por cada 500g de cemento se requieren 1375g de arena.

El agregado fino estuvo compuesto de arena natural, está clasificado dentro de los siguientes límites:

Tabla 6 Características de los Áridos.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5mm	100
4,75mm	95 a 100
2,36mm	80 a 100
1,18mm	50 a 85
600um	25 a 60
300um	10 a 30
150um	2 a 10

Fuente: Manual de Hormigón, Modesto Barrios Fontalvo.

Además de lo anterior, el agregado fino estaba libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas.

8.1.4 PIGMENTOS

En este estudio fueron considerados 4 tipos de pigmentos provenientes de una empresa química extranjera, otros provenientes de Toxement y los Fabricados por la Universidad de Cartagena, que son los pigmentos que prioritariamente serán analizados.

Por parte de Toxement fue posible encontrar una muestra de pigmento “Color-Crete, Powder Integral Color” de color Rojo Ladrillo, por parte de la empresa química extranjera se logró obtener 4 tipos de pigmentos de colores verde, azul, rojo y amarillo. Y por parte de la Universidad de Cartagena se suministraron dos tipos de pigmentos debido a la dificultad de su fabricación azafrán y achiote.



8.2 FABRICACION DE LA MUESTRA

Se realizaron las muestras de acuerdo a lo recomendado por las Normas técnicas Colombianas NTC 110 para la consistencia normal, NTC 118 para el tiempo de fraguado, NTC 220 en el ensayo de compresión, NTC 221 para el peso específico del cemento. Los ensayos se realizaron de acuerdo a todas las especificaciones establecidas con respecto al agregado fino normalizado y agua potable para poder tomar el patrón a utilizar para el análisis comparativo de la muestra sin pigmento y al incorporarles los pigmentos suministrados por las diferentes entidades.

➤ **NTC 110 Consistencia Normal:**

Inicialmente se realizó el ensayo para la muestra patrón. En este se tomaron 500 gramos de cemento y 115 mililitros de agua, cantidad equivalente al 23% con respecto al peso seco del cemento. Se mezcló durante 90 segundos hasta obtener una pasta, se hizo una esfera y se lanzó durante 6 veces a una separación de 15 centímetros, luego se tomó el molde de ensayo del aparato de Vicat y se llenó con la pasta. Con el aparato de Vicat se tomó la aguja de diámetro 1cm, se dejó caer en varias ocasiones hasta obtener una penetración de 10 milímetros mediante la variación del contenido de agua.

La muestra patrón se realizó con el objetivo de poder comparar posteriormente los resultados de las muestras con pigmentos y así poder ver la afectación del pigmento al cemento. Para este ensayo, según la norma, fue pertinente realizar 3 muestras para, esto no pudo realizarse con los pigmentos suministrados por la Universidad debido a que la cantidad suministrada no era lo suficiente para la realización de 3 muestras y solo se realizaron 2 muestras para sacar un ponderado, para la muestra por el fabricante Toxement fue posible realizar los 3 ensayos para cada concentración, en total se realizaron 11 ensayos para proporcionar un resultado valedero.



Para la realización de las muestras con pigmento se siguió el mismo procedimiento realizado a la muestra patrón, adicionándole la cantidad de pigmento equivalente al peso seco correspondiente en cada caso.

➤ **NTC 118 Tiempo de fraguado:**

Se realizó el ensayo para la muestra patrón. En este se tomaron 500 gramos de cemento y la cantidad de agua tomada fue la obtenida en el ensayo de consistencia normal con respecto al peso seco del cemento. Se mezcló durante 90 segundos hasta obtener una pasta, luego se hizo una esfera y se lanzó durante 6 veces a una separación de 15 centímetros, luego se tomó el molde de ensayo del aparato de Vicat y se llenó con la pasta. Con el aparato de Vicat se tomó la aguja de diámetro 1mm, se dejó caer una primera vez y a partir de esta se guardó en una cámara húmeda para ensayar cada 15 minutos y así obtener el tiempo en que la penetración correspondió a 25 milímetros.

La muestra patrón se realizó con el objetivo de poder comparar posteriormente los resultados de las muestras con pigmentos y así poder ver la afectación del pigmento al cemento.

Para la realización de las muestras con pigmento se siguió el mismo procedimiento realizado a la muestra patrón, adicionándole la cantidad de pigmento equivalente al peso seco correspondiente en cada caso.

En este caso la norma exige la realización de 2 muestras, se realizó de igual manera 1 solo procedimiento para los pigmentos suministrados por la Universidad de Cartagena por la poca cantidad suministrada, mientras que para los suministrados por Toxement fue cumplido a cabalidad las 2 muestras por concentración.

➤ **NTC 220: Compresión:**

Este ensayo se realizó con probetas de 50 milímetros de lado en donde se realiza una muestra de mortero con una dosificación de 1:2,75 con una relación de agua cemento de



0,484. Previamente se añadió un desmoldante a los moldes con el objetivo de que la mezcla no se adhiriera a estos. La mezcla se realizó con guates de látex especializados que impedían el traspaso de humedad corporal a la mezcla y en una superficie no absorbente. Posteriormente cada cubo fue llenado antes de 135 segundos contados desde la terminación de la mezcla. En cada cubo se colocó una capa de mortero de 26 milímetros y se apisono con 32 golpes de compactador en 10 segundos. Terminada esta operación los moldes fueron llevados a una cámara húmeda, en donde permanecieron 24 horas. Pasadas las 24 horas fueron desencofrados, un primer molde fue ensayado y los demás sumergidos en agua limpia para ser ensayados a los 3, 7, 14 y 28 días.

La norma recomienda hacer un muestreo de 4 probetas por ensayo. Para el pigmento suministrado por la Universidad de Cartagena fue posible la realización de 2 probetas por pigmento, para un total de 24 probetas de las cuales se ensayaron 2 por día, mientras que la suministrada por Toxement fue posible la realización de 3 probetas por concentración debido a que las probetas debían pasar mucho tiempo y a falta de materiales solo se logró realizar estos 3 ensayos por día, para un total de 54 probetas, mientras que para los pigmentos suministrados por la empresa italiana solo se logró hacer 1 probeta de cada color para un total de 18 probetas, ensayada 1 por día.

➤ **NTC 221: Peso específico:**

Para calcular la densidad del cemento fueron necesarios 64 gramos de cemento y un frasco de Le Chatelier, en el cual se vertió kerosene hasta un punto entre 0 y 1 ml. Se agregó el cemento y se giró describiendo círculos concéntricos hasta que no salieran burbujas, posteriormente se colocó el frasco en baño de María y se tomó la lectura final. La diferencia entre lecturas fue el volumen desplazado por la masa de cemento.

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de pigmentos suministrados y trabajados con respecto al peso seco del cemento para la realización de los diferentes ensayos. Para esta muestra fue necesaria la realización de 3 ensayos por pigmento, donde el pigmento suministrado por la Universidad de Cartagena solo fue posible



ensayarse 1 vez debido a la falta de pigmento, mientras que para los de Toxement se realizaron 3 ensayo por concentración para obtener un resultado más valedero.

Tabla 7 Porcentaje de Pigmentos Utilizados Para probetas.

Pigmento	Porcentaje	Cantidad (gr)
Rojo Toxement	4, 6, 8	20, 30, 40
Azafrán U. de Cartagena	40	200
Achiote U. de Cartagena	40	200
Italiano Rojo	10	50
Italiano Verde	10	50
Italiano Azul	10	50
Italiano Amarillo	10	50

Fuente: Autores.

8.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

8.3.1 ENSAYO DE LOS ARIDOS

Se lavó la arena con el objetivo de eliminar los limos y arcillas, debido a que estos afectan la resistencia mecánica de cualquier elemento que sea fabricado en presencia de estos.

Seguidamente se secó la arena y se esperó a que la muestra estuviera fría para hacerla pasar por la serie de tamices (desde el tamiz numero 10 hasta el tamiz numero 200).



8.3.2 ENSAYO DEL AGUA

El agua es proveniente de la empresa aguas de Cartagena la cual es totalmente certificada para el consumo humano, por ende cumple con las características necesarias para la preparación de las probetas de acuerdo a lo establecido en la NTC-3459.

8.3.3 ENSAYO DEL CEMENTO

Se presentan los datos técnicos del cemento, suministrados por los fabricantes, en este caso la empresa cementera Argos, el cual fue utilizado para la preparación de las probetas de ensayo.

Tabla 8 Algunos Propiedades del cemento hidráulico.

PARAMETROS FÍSICOS	ESPECIFICACIONES ARGOS	NTC TIPO I	RESULTADO OBTENIDO
Fraguado Inicial (1), Mínimo (minutos)	45	45	90
Fraguado Inicial (1), Máximo (minutos)	420	480	90
Peso Específico (gr/cm ³)	No se especifica	3,1 a 3,15	3,1067 (M1) 3,0622 (M2)
Consistencia Normal	No se especifica	23% a 32%	26% a 28%
Resistencia a 3 días (3), Mínimo (Mpa)	9	8	8,5
Resistencia a 7 días (3), Mínimo (Mpa)	16	15	13,82
Resistencia a 28 días (3), Mínimo (Mpa)	26	24	24,5

Fuente: Normas técnicas colombianas para el cemento, Autor.



9 RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se muestran una serie de tablas en las cuales se logra observar el comportamiento de las muestras ensayadas tanto como para pigmentos como para la muestra patrón.

9.1 ENSAYO DE LOS PIGMENTOS

9.1.1 PIGMENTOS SUMINISTRADOS POR TOXEMENT

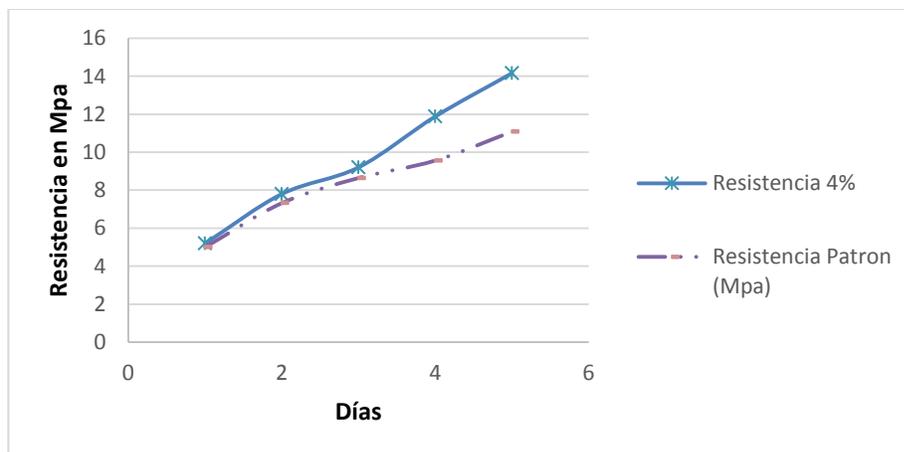
- **Concentración al 4%**

Tabla 9 Resistencia a la Compresión al 4% de Pigmento Toxement.

Días ensayados	Resistencia Pigmento al 4% (Mpa)	Resistencia Patrón (Mpa)
1	5,2	5
3	7,8	7,32
7	9,2	8,64
14	11,88	9,56
28	14,16	11,08

Fuente: Autor.

Gráfica 1 Resistencia a Compresión al 4% de concentración del pigmento Toxement.



Fuente: Autor.



Tabla 10 Peso específico del cemento con pigmento al 4% Toxement.

TOXEMENT	
Peso	50
L2	0,5
LF	21,6
Δ	21,1
PE.	2,369

Fuente: Autor.

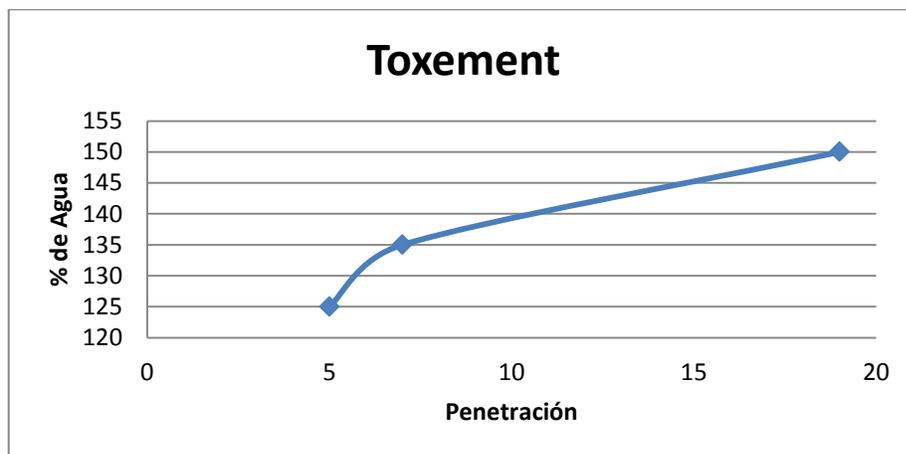
Tabla 11 Consistencia Normal con pigmento al 4% Toxement

Toxement			
masa(g)	Agua (%)	agua(ml)	Penetración (mm)
500	25%	125	5
500	27%	135	7
500	30%	150	19

CONSISTENCIA NORMAL=27% AGUA

Fuente: Autor.

Gráfica 2 Consistencia Normal al 4% de pigmento Toxement.



Fuente: Autor



Tabla 12 Tiempo de Fraguado al 4% del Pigmento Toxement.

FRAGUADO INICIAL	
TIEMPO	PENETRACION
	Toxement 4%
30	38
45	38
60	38
75	38
90	36
105	36
120	27
135	20

Fuente: Autor.

Con los resultados que se muestran más adelante y lo observado durante la realización del ensayo podemos concluir que para el pigmento Suministrado por Toxement a una concentración de 4% aumentó la resistencia con respecto a muestra patrón. Esta dosificación para la concentración fue suministrada por la empresa, la cual nos produjo una mezcla con una coloración notable tanto externa como interna, hecho que se observó al destruir la muestra a la hora de la realización del ensayo de compresión. Después de este ensayo se realizó el de peso específico en el cual se logró observar que dicha propiedad bajó considerablemente de acuerdo a lo establecido por la norma, también cabe resaltar que dicho ensayo no se pudo realizar de acuerdo a la norma con los 64g ya que esta cantidad podía desbordar la cantidad soportada por el recipiente.

Es notable observar que la consistencia normal del cemento fue del 27% con el cual se obtenía la plasticidad ideal; sin embargo, cabe resaltar que a veces el producto tendía a pedir un poco más de agua para alcanzar dicha consistencia pero este valor es admisible de acuerdo a lo establecido por la Norma.

Por último el tiempo de fraguado se redujo en un 65% con respecto a la muestra patrón, pero su valor es totalmente aceptable con respecto a la Norma con un TF de 122,205 minutos.



ANALISIS 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

Ilustración 1 Compresión a las 24 Horas, Maquina Compresión.



Ilustración 2 Compresión a los 7 Días, Maquina Compresión.



Ilustración 3 Consistencia Normal Aparato de Vicat



Ilustración 4 Tiempo de Fraguado, Aguja de Vicat





Ilustración 5 Peso específico, frasco Le Chatelier



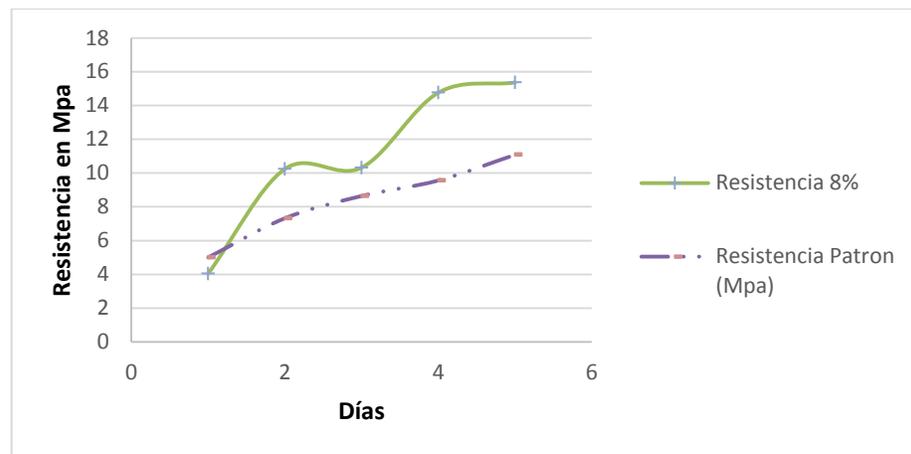
- **Concentración al 6%**

Tabla 13 Resistencia a la Compresión al 6% de Pigmento Toxement.

Días ensayados	Resistencia Pigmento al 6% (Mpa)	Resistencia Patrón (Mpa)
1	3,68	5
3	8,16	7,32
7	9,64	8,64
14	10,24	9,56
28	11,96	11,08

Fuente: Autor.

Gráfica 3. Resistencia a Compresión al 6% de concentración del pigmento Toxement.



Fuente: Autor.



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

Tabla 14. Peso específico del cemento con pigmento al 6% Toxement.

TOXEMENT	
Peso	50
L2	0,4
LF	21,4
Δ	21
PE.	2,380952381

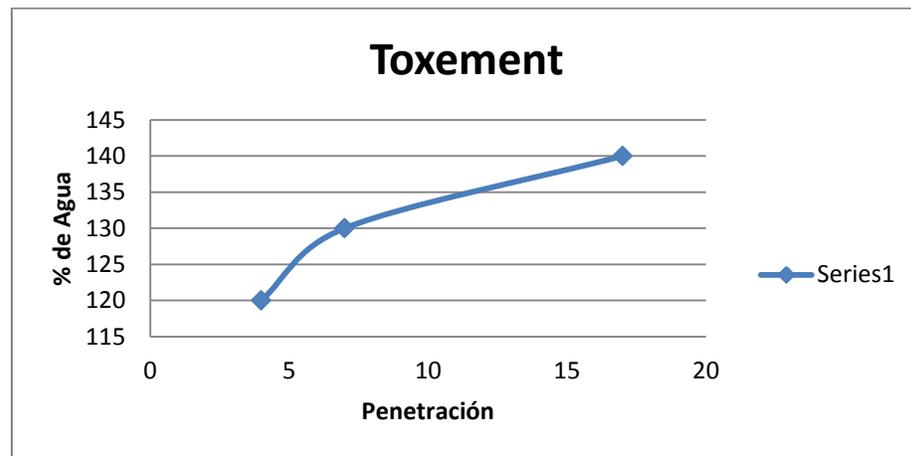
Fuente: Autor.

Tabla 15 Consistencia Normal con pigmento al 6% Toxement

Toxement			
masa(g)	Agua (%)	agua(ml)	Penetración (mm)
500	24%	120	4
500	26%	130	7
500	28%	140	17
CONSISTENCIA NORMAL=26% AGUA			

Fuente: Autor.

Gráfica 4 Consistencia Normal al 6% de pigmento Toxement.



Fuente: Autor

Tabla 16 Tiempo de Fraguado al 6% del Pigmento Toxement.

FRAGUADO INICIAL	
TIEMPO	PENETRACION



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

30	38
45	37
60	37
75	36
90	36
105	35
120	28
135	25
150	22

Fuente: Autor.

Para esta muestra observamos que el pigmento de Toxement a una concentración de 6% también aumenta considerablemente la resistencia del mortero con respecto a la muestra patrón, tiene una resistencia inicial baja pero luego aumenta de tal manera que supera lo esperado, esta coloración se realizó aleatoriamente, con el objetivo de observar los cambios ocurridos, lo que nos muestra un aumento de intensidad en el color.

Para el peso específico ocurrió lo mismo con el frasco, no pudo soportar la cantidad de cemento con pigmento suministrada. Debido a esto no se pudo realizar de acuerdo a la norma con los 64g ya que esta cantidad podía desbordar la cantidad soportada por el recipiente. Por último el tiempo de es el 37% menos que la muestra patrón pero es admisible este valor con respecto a la Norma.

Ilustración 6 Compresión a los 3 Días, Máquina Compresión.





ANALISIS 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

Ilustración 7 Compresión a los 14 Horas, Maquina Compresión.



Ilustración 8 Consistencia Normal Aparato de Vicat



Ilustración 9 Tiempo de Fraguado, Aguja de Vicat



Ilustración 10 Peso específico, frasco Le Chatelier





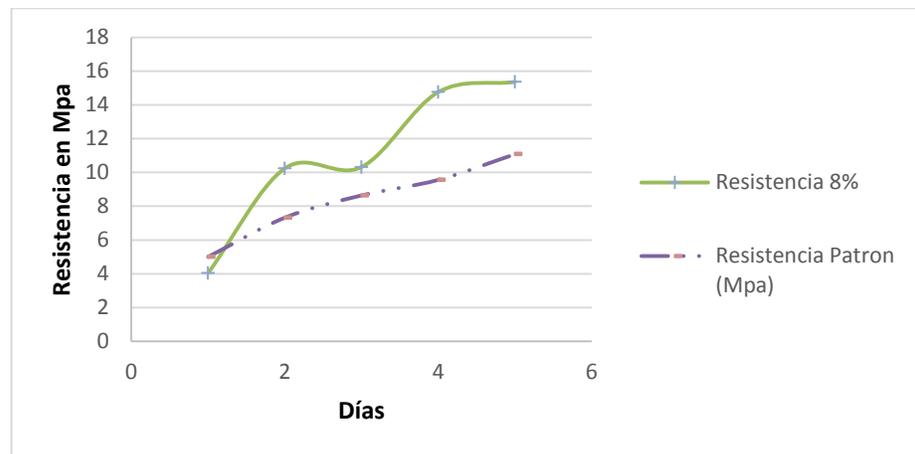
- **Concentración al 8%**

Tabla 17 Resistencia a la Compresión al 8% de Pigmento Toxement.

Días ensayados	Resistencia Pigmento al 8% (Mpa)	Resistencia Patrón (Mpa)
1	4,04	5
3	10,24	7,32
7	10,32	8,64
14	14,76	9,56
28	15,36	11,08

Fuente: Autor.

Gráfica 5 Resistencia a Compresión al 8% de concentración del pigmento Toxement.



Fuente: Autor.

Tabla 18 Peso específico del cemento con pigmento al 8% Toxement.

TOXEMENT	
Peso	50
L2	0,3
LF	20,9
Δ	20,6
PE.	2,427184466

Fuente: Autor.

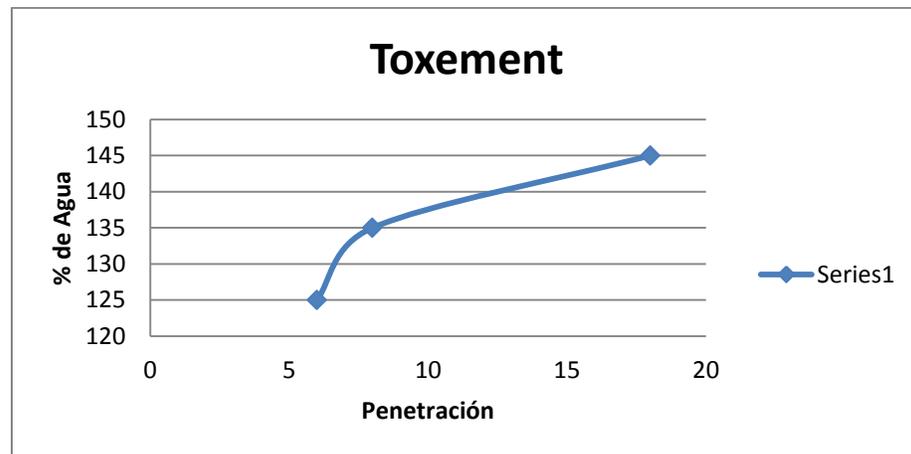


Tabla 19 Consistencia Normal con pigmento al 8% Toxement

Toxement			
masa(g)	Agua (%)	agua(ml)	Penetración (mm)
500	25%	125	6
500	27%	135	8
500	29%	145	18
CONSISTENCIA NORMAL=27% AGUA			

Fuente: Autor.

Gráfica 6 Consistencia Normal al 8% de pigmento Toxement.



Fuente: Autor.

Tabla 20 Tiempo de Fraguado al 8% del Pigmento Toxement.

FRAGUADO INICIAL	
TIEMPO	PENETRACION
	Toxement 6%
30	38
45	38
60	37
75	36
90	36
105	35
120	30
135	29
150	25
165	23

Fuente: Autor.



ANALISIS 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

Realizamos una muestra con el pigmento Toxement a una concentración de 8%, a pesar de que su resistencia varía mucho se mantiene por encima de los resultados de la muestra patrón, esta concentración fue proporcionada aleatoriamente para comprobar la coloración a dicha concentración.

Para el peso específico, las propiedades de los pigmentos se mantuvieron estables, por ende no pudimos observar cambios con respecto a este ensayo. Para el tiempo de fraguado claramente no se ve afectado por este pigmento ni por la concentración y su valor es totalmente admisible con respecto a la Norma.

Ilustración 11: Probetas.



Ilustración 12 Preparación de Muestra.



Ilustración 13 Maquina de Compresión con probeta.





Ilustración 14 Probeta Ensayada



Ilustración 15 Lector de Máquina de Compresión.



9.1.2 PIGMENTOS SUMINISTRADOS POR LA UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

- **Color Azafrán.**

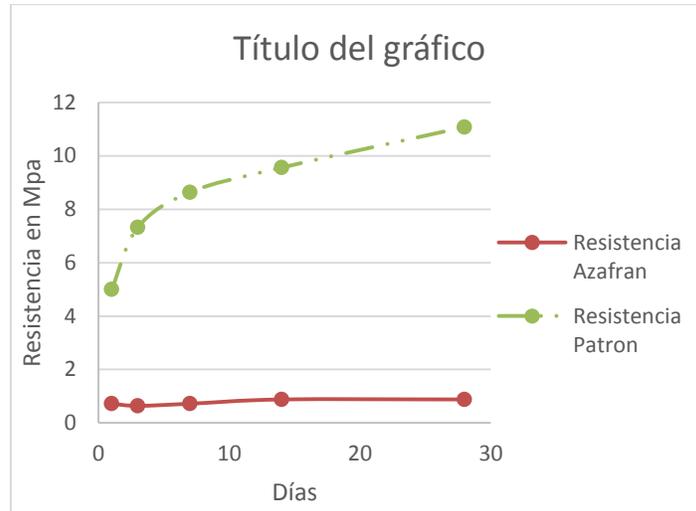
Tabla 21 Resistencia a la Compresión de Pigmento Azafrán.

Días ensayados	Resistencia Pigmento al Azafrán (Mpa)	Resistencia Patrón (Mpa)
1	0,72	5
3	0,64	7,32
7	0,72	8,64
14	0,88	9,56
28	0,88	11,08

Fuente: Autor.



Gráfica 7 Resistencia a Compresión de pigmento Azafrán.



Fuente: Autor.

Tabla 22 Peso específico del cemento de pigmento Azafrán.

AZAFRAN	
Peso	64
L2	0
LF	26
Δ	26
PE.	2,461538462

Fuente: Autor.

Tabla 23 Consistencia Normal de pigmento Azafrán

Azafrán			
masa(g)	Agua (%)	agua(ml)	Penetración (mm)
500	26%	130	7
500	27%	135	11
500	28%	140	18
CONSISTENCIA NORMAL=26% AGUA			

Fuente: Autor.



Gráfica 8 Consistencia Normal de pigmento Azafrán.



Fuente: Autor.

Tabla 24 Tiempo de Fraguado de Pigmento Azafrán.

FRAGUADO INICIAL	
TIEMPO	PENETRACION
	Toxement 6%
30	39
45	39
60	39
75	39
90	39
105	39
120	39
135	38
150	38
165	38
180	38
195	38
210	38
225	37
240	38
255	36
270	36

Fuente: Autor.



La Universidad de Cartagena suministro una serie de pigmentos con respecto a los suministrados por la empresa Toxement, para ver la total afectación de estos pigmentos. Ya que el pigmento se debió hacer a una concentración superior a la establecida por la empresa Toxement, de tal manera que la proporción logro llevarse a un 40% para así lograr ver un leve cambio en la coloración del mortero, esta concentración logro cambiarle el color a un tono parecido a la pimienta. La resistencia con respecto a la muestra patrón no fue la deseada, ya que la variación fue muy por debajo de lo permitido.

Después de este ensayo se realizó el ensayo de peso específico en el cual se logró observar que dicha propiedad bajo considerablemente de acuerdo a lo establecido por la norma, también cabe resaltar que dicho ensayo no se pudo realizar de acuerdo a la norma con los 64g ya que esta cantidad podía desbordar la cantidad soportada por el recipiente. A la hora de la realización del ensayo de consistencia normal, esta si logro mantenerse en los límites permitidos por la norma y se obtuvo a un 27%.

Por último el tiempo de fraguado fue afectado por este pigmento debido a su gran proporción, la cual a pesar de tener una buena consistencia, su tiempo de fraguado supera lo establecido por la norma con un 545%, donde el tiempo de fraguado sería aproximadamente a los 1023,7 minutos. Este cambio se notó a la hora de los ensayos de compresión ya que esta mezcla de mortero era muy sensible.

Ilustración 16 Muestra Azafrán.





ANALISIS 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

Ilustración 17 Coloración a las 24 Horas.



Ilustración 18 Probetas.



Ilustración 19 Probeta Ensayada a los 7



Ilustración 20 Probeta ensayada a los 14 Días.





Ilustración 21 Pesos Específicos.



Ilustración 22 Consistencia Normal.



- **Color Achioté.**

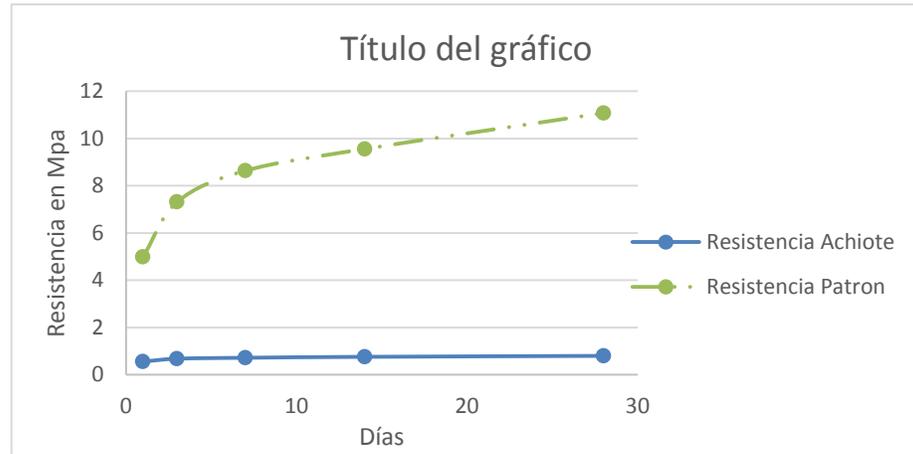
Tabla 25 Resistencia a la Compresión de Pigmento Achioté.

Días ensayados	Resistencia Pigmento Achioté (Mpa)	Resistencia Patrón (Mpa)
1	0,56	5
3	0,68	7,32
7	0,72	8,64
14	0,76	9,56
28	0,8	11,08

Fuente: Autor.



Gráfica 9 Resistencia a Compresión de Pigmento Achiote.



Fuente: Autor.

Tabla 26 Peso específico del cemento de Pigmento Achiote.

ACHIOTE	
Peso	62
L2	0,3
LF	20,7
Δ	20,4
PE.	3,039215686

Fuente: Autor.

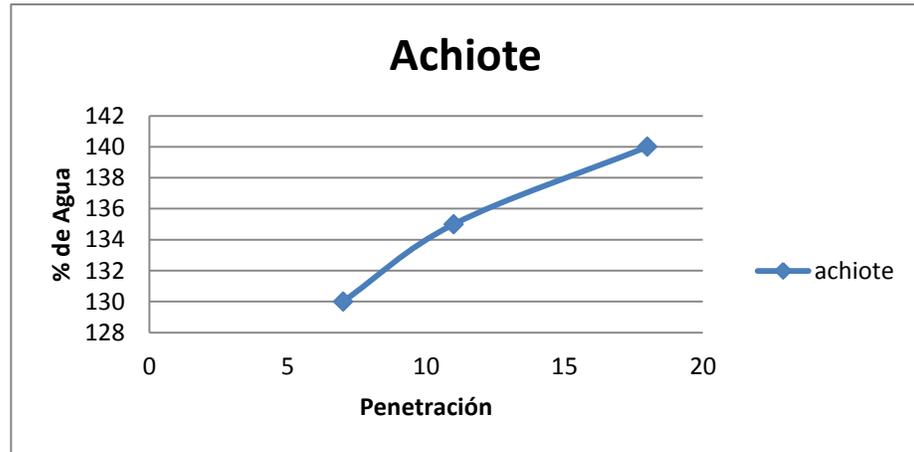
Tabla 27 Consistencia Normal de Pigmento Achiote.

Achiote			
masa(g)	Agua (%)	agua(ml)	Penetración (mm)
500	26%	130	7
500	27%	135	11
500	28%	140	18
CONSISTENCIA NORMAL=27% AGUA			

Fuente: Autor.



Gráfica 10 Consistencia Normal de Pigmento Achiote.



Fuente: Autor.

Tabla 28 Tiempo de Fraguado de Pigmento Achiote.

FRAGUADO INICIAL	
TIEMPO	PENETRACION
	Toxement 6%
30	41
45	41
60	41
75	41
90	41
105	41
120	41
135	40
150	39
165	39
180	39
195	39
210	39
225	37
240	34
255	30
270	28

Fuente: Autor.



El segundo pigmento suministrado por La Universidad de Cartagena, también presentó el mismo problema con la coloración, de tal manera que la proporción tuvo que llevarse a un 40% para así lograr ver un leve cambio en la coloración del mortero, este cambio fue más notable que el establecido por el color azafrán a pesar de tener la misma concentración, el color fue más intenso. La resistencia con respecto a la muestra patrón no fue la deseada, ya que la variación fue muy por debajo de lo permitido.

En el ensayo de peso específico se logró observar que dicha propiedad bajo considerablemente de acuerdo a lo establecido por la norma pero fue mejor que la proporcionada por los otros pigmentos, también debemos resaltar que dicho ensayo no se pudo realizar de acuerdo a la norma con los 64g ya que esta cantidad podía desbordar la cantidad soportada por el recipiente. La consistencia normal, se obtuvo a un 27%.

La cual está entre los rangos admisibles, Por último el tiempo de fraguado fue afectado por este pigmento debido a su gran proporción, la cual a pesar de tener una buena consistencia, su tiempo de fraguado supera lo establecido por la norma, obteniendo un 191% con respecto a la muestra patrón, donde el tiempo de fraguado puede estar a los 357,72 minutos. Este cambio se notó a la hora de los ensayos de compresión ya que esta mezcla de mortero era muy sensible.

Ilustración 23 Muestras.





ANALISIS 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

Ilustración 24 Consistencia Normal.



Ilustración 25 Tiempo de Fraguado.



Ilustración 26 Preparación Para Tiempo de Fraguado.





9.1.3 PIGMENTOS SUMINISTRADOS POR LA EMPRESA ITALIANA

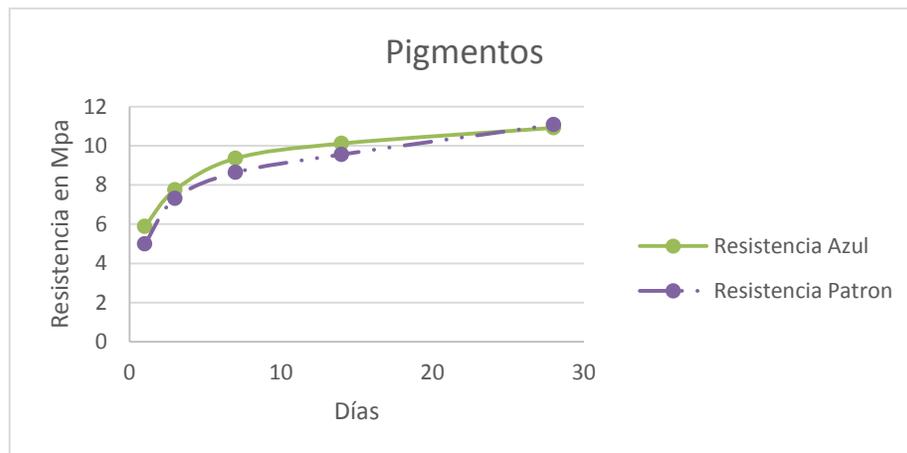
- **Color Azul**

Tabla 29 Resistencia a la Compresión de Pigmento Azul.

Días ensayados	Resistencia Pigmento Azul (Mpa)	Resistencia Patrón (Mpa)
1	5,88	5
3	7,76	7,32
7	9,36	8,64
14	10,12	9,56
28	10,92	11,08

Fuente: Autor.

Gráfica 11 Resistencia a Compresión de Pigmento Azul.



Fuente: Autor.

- **Color Verde**

Tabla 30 Resistencia a la Compresión de Pigmento Verde.

Días ensayados	Resistencia Pigmento Verde (Mpa)	Resistencia Patrón (Mpa)
1	5	5
3	6,76	7,32
7	8,64	8,64

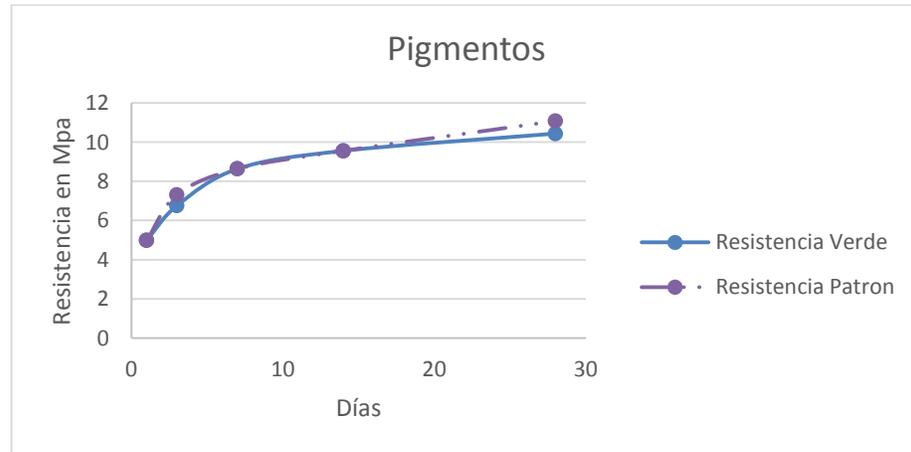


ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MORTEROS BAJO LOS EFECTOS DE LAS CONCENTRACIONES DE PIGMENTOS BIODEGRADABLES Y LOS ACTUALMENTE UTILIZADOS POR LAS CENTRALES DE MEZCLA

14	9,56	9,56
28	10,44	11,08

Fuente: Autor.

Gráfica 12 Resistencia a Compresión de Pigmento Verde.



Fuente: Autor.

- **Color Rojo**

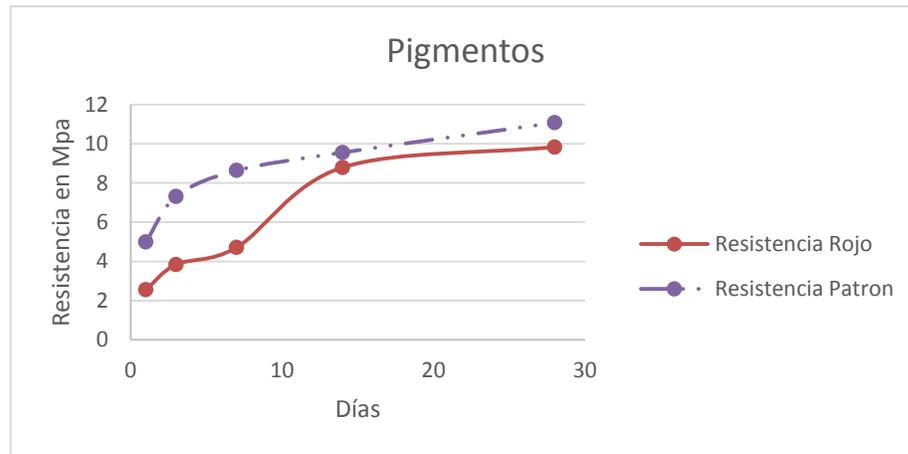
Tabla 31 Resistencia a la Compresión de Pigmento Rojo.

Días ensayados	Resistencia Pigmento Rojo (Mpa)	Resistencia Patrón (Mpa)
1	2,56	5
3	3,84	7,32
7	4,72	8,64
14	8,8	9,56
28	9,84	11,08

Fuente: Autor.



Gráfica 13 Resistencia a Compresión de Pigmento Rojo.



Fuente: Autor.

Para estas muestras no fue posible la realización de otro tipo de ensayo debido a que estas muestras fueron obsequiadas por una empresa y con la cual no fue posible contactar para el suministro de más pigmento, el cual se agotó a la hora de la realización de estos ensayos. Se lograron hacer los moldes para la realización del ensayo de compresión.

Para el ensayo de compresión, la preparación de la muestra fue igual a lo establecido por la norma NTC cumpliendo a cabalidad con lo dicho en esta, este ensayo se debió realizar a una concentración de 10% con respecto al peso seco del cemento, pues a esta concentración fue que se logró identificar el cambio de color del mortero. Como se muestra en la tabla y en el gráfico, la resistencia para el color azul fue aceptable con respecto a la muestra patrón y puede ser aceptada ya que su resistencia fue mayor.

A la hora de la ruptura del cubo este presentó una pérdida de color del lado interior del cubo de tal manera que el pigmento solo tinto la parte externa.

Haciendo referencia al color verde, este se mantuvo a una resistencia similar a la muestra patrón, pero al igual que el color azul a la hora de la ruptura perdió la coloración en su interior y un poco en el exterior dejando así un mortero con colores similares al cemento, en el color rojo se logró presenciar una desventaja con respecto a su resistencia



pues está bajo considerablemente con respecto a la muestra patrón, pero a diferencia de los otros dos pigmentos, esta probeta no perdió coloración en su interior y se mantuvo a la hora de la ruptura, se deja claro que los pigmentos provienen de la misma empresa y deben tener las mismas propiedades, por lo que podemos resumir que este resultado no se esperaba.

Ilustración 27 Probeta Azul Ensayada.



Ilustración 28 Preparación de Probetas.



Ilustración 29 Ensayo de Probeta Roja.





Ilustración 30 Interior de la Probeta.



Ilustración 31 Probeta Roja Ensayada.





10 CONCLUSIONES

- Debido a que la empresa Toxement facilitó un pigmento, cuando fue suministrado, recomendó una concentración la cual fue usada para la preparación de la muestra con la que se iba a comparar la intensidad del color; la recomendada a un 4% con respecto al peso seco del cemento, luego se trabajó al 6% y 8% donde se vio un aumento en la intensidad del color, a medida que se añadía el pigmento.

Esta concentración se usó para la trituration de la probeta con el pigmento italiano y el suministrado por la Universidad de Cartagena. A la hora de fabricar la probeta con el pigmento italiano no se logró obtener una coloración óptima por lo cual se elevó al 10% donde se logró observar el cambio, mientras que con el suministrado por la Universidad de Cartagena se logró ver un leve cambio a una proporción del 40% en el cual como mencione anteriormente, la coloración no fue notable a pesar de la proporción.

- Se realizaron los ensayos de compresión a las distintas probetas a las 24 horas, 3, 7, 14 y 28 días en los cuales se compararon los resultados con una muestra patrón, después de realizada la ruptura de las probetas se logró obtener una resistencia aceptable para el pigmento suministrado por la empresa Toxement a las diferentes concentraciones proporcionada.

Tabla 32 Resistencia a la Compresión de los Pigmentos Toxement.

PIGMENTOS TOXEMENT				
Día	Resistencia 4%	Resistencia 6%	Resistencia 8%	Resistencia Patrón (Mpa)
1	5,2	3,68	4,04	5
3	7,8	8,16	10,24	7,32
7	9,2	9,64	10,32	8,64
14	11,88	10,24	15,36	9,56

Fuente: Autor.



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

Para la proporción del 4% del pigmento se logró observar un aumento de la resistencia en un 10% con respecto a la muestra patrón, para la proporción del 6% aumento en 1% con respecto a la muestra patrón y para la proporción del 8% el aumento de la resistencia fue notable, a un 25% con relación a la muestra patrón.

- Para el pigmento suministrado por la empresa Italiana obtuvo una aceptable resistencia.

Tabla 33 Resistencia a la Compresión de los Pigmentos Italianos.

PIGMENTOS ITALIANOS				
Días	Resistencia Verde	Resistencia Rojo	Resistencia Azul	Resistencia Patrón
1	5	2,56	5,88	5
3	6,76	3,84	7,76	7,32
7	8,64	4,72	9,36	8,64
14	9,56	8,8	10,12	9,56

Fuente: Autor.

Para las probetas de color verde se obtuvo una disminución de la resistencia en un 2%, pero la coloración observada en su interior no fue notable, ya que solo fue tinturado exteriormente, esto se observó a la hora de la rotura en el ensayo de compresión. Para el color azul se vio un aumento en un 9% con respecto a la resistencia del mortero patrón, esta muestra presento las mismas características que el pigmento verde, pues su coloración era solo externa. Pero para el rojo hubo una reducción de la resistencia del 38% con respecto a la muestra patrón, pero este fue el único pigmento que logro tinturar interior y exteriormente. Los pigmentos eran químicamente iguales, tenían la misma procedencia y características, este resultado puede considerarse extraordinario ya que los pigmentos solo cambiaban su color mas no sus características.



- Por último el pigmento suministrado por la Universidad de Cartagena.

Tabla 34 Resistencia a la Compresión de los Pigmentos Suministrados por UdeC.

PIGMENTOS UNIVERSIDAD			
Días	Resistencia Achiote	Resistencia Azafrán	Resistencia Patrón
1	0,56	0,72	5
3	0,68	0,64	7,32
7	0,72	0,72	8,64
14	0,76	0,88	9,56

Fuente: Autor.

No fueron los resultados esperados, ya que su resistencia en ambos pigmentos se redujo en un 90% con respecto a la muestra patrón.

Tabla 35 Tiempo de Fraguado.

FRAGUADO INICIAL				
TIEMPO	PENETRACION			
	Azafrán	Achiote	Toxement	Patrón
30	39	41	38	39
45	39	41	38	38
60	39	41	38	38
75	39	41	38	37,5
90	39	41	36	37
105	39	41	36	36,5
120	39	41	27	36
135	38	40	20	34
150	38	39	-	31,5
165	38	39	-	24,5
180	38	39	-	-
195	38	39	-	-
210	38	39	-	-
225	37	37	-	-
240	38	34	-	-



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

255	36	30	-	-
270	36	28	-	-

Fuente: Autor.

- Para el ensayo de tiempo de Fraguado podemos observar que no logro llegar a fraguar el mortero, el ensayo fue detenido a este tiempo debido a que ya superaba los límites admisibles de tiempos. Para las probetas hechas por el pigmento de Toxement, el tiempo de fraguado se mantuvo en el rango admisible. La densidad no pudo ser analizada según la norma ya que a que a la hora de realizar el ensayo el kerosene desbordaba el frasco. Y para la consistencia normal, el valor de agua proporcionada al cemento fue de un 27% aproximadamente, suficiente para alcanzar una buena plasticidad.
- 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, 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.
- No fue posible realizar el análisis económico de la muestra, debido a que la empresa que suministro el pigmento solo dio una muestra ya que el pigmento no es vendido al público sino directamente a la central de mezcla para que esta sea la que lo suministre.



11 RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un estudio químico a los pigmentos producidos por la Universidad de Cartagena, para identificar que propiedades contraproducentes poseen que alteren las propiedades mecánicas del mortero.
- A la hora de realizar el ensayo de peso específico, es recomendable usar otro método diferente al frasco Le Chatelier, ya que al combinar el pigmento con el cemento, la muestra creada posee más volumen de tal manera que desborda el frasco.
- Para la pigmentación es recomendable usar pigmentos de buena calidad, ya que este afecta directamente la calidad del mortero y la duración del color. Estos pigmentos deben ser certificados por el fabricante.
- Es recomendable el buen manejo de los pigmentos y curado, debido a que ciertos pigmentos tienden a perder coloración.
- Es recomendable revisar la producción de los pigmentos producidos por la Universidad de Cartagena y buscar una composición que logre tinturar el mortero a una menor proporción y a una mayor intensidad.
- Hacer un análisis e identificar las características que alteren el tiempo de fraguado del cemento.
- Es factible realizar un análisis económico del costo de los materiales biodegradables y la mano de obra de la preparación de cada pigmento.



12 BIBLIOGRAFIA

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *NSR 10*. Bogota, Colombia.

Carvalho, F. (2002). *Simpósio Internacional sobre concretos Especiais*. Sobral.

Castro. M (2005). *Hormigón con pigmentos de color Bayer*. Tesis para optar al título de ingeniero constructor.

Cementos Valle. (1997). Notas técnicas para la Construcción Don Sebas. *Don Sebas* .

Cemex. (2013). *Folleto de Concretos*. Obtenido de <http://www.cemexcolombia.com/index.asp>

Centro Panamericano de Investigación e Innovación. (2007). *Cepii Universidad Panamericana*. Recuperado el 20 de Febrero de 2013, de <http://www.up.edu.mx/document.aspx?doc=27527>

Concreto con color S.A. (s.f.). *concreto con color, S.A.* Recuperado el 20 de febrero de 2013, de <http://concretoconcolor.com/concolor.html>

Figueroa T, Palacio. R (2008). *Patologías, Causas y Soluciones del Concreto Arquitectónico* en Medellín. Revista EIA

Fuentes. H, Udeus. C, González. B. (2010) *Hormigón Visto en Estructura: Proceso Constructivo y Acabado Final*. Guayaquil, Ecuador.

Gage, John (1999). *Color and Culture: Practice and Meaning from Antiquity to Abstraction*. University of California Press.



Giraldo. T. (2008). *Estudio del efecto puzolánico del pigmento azul ultramar en el cemento pórtland blanco*. Tesis de maestría para acceder al grado académico de Magister en Ingeniería.

Helene. P, Hartmann. (2005). *HPCC (High-Performance Colored Concret) en la torre-e del Brasil.Sao Paulo*.

Jiménez Montoya P., García Meseguer A., Morán Cabré F. (1987). *Hormigón Armado Tomo I. Barcelona*: Editorial Gustavo Gili S.A

HIDRO, H (23 de Mayo de 2011). *concreto coloreado*. Recuperado el 20 de Febrero de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/56081919/CONCRETO-COLOREADO-TRABAJO> Universidad de Alicante. (s.f.). Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de <http://sgitt-otri.ua.es/en/empresa/documentos/tincion-cemento-esp.pdf>

Jiménez Montoya P., García Meseguer A., Morán Cabré F. (1987). *Hormigón Armado Tomo I. Barcelona*: Editorial Gustavo Gili S.A

Normas Técnicas Colombiana, NTC 220

Normas Técnicas Colombiana, NTC 221

Normas Técnicas Colombiana, NTC 118

Normas Técnicas Colombiana, NTC 111.

Solá-Morales Rubió, Ignasi de, y col. (2001). *Introducción a la arquitectura*. Conceptos fundamentales. Edicions UPC.