



---

---

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

*COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO*

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE ARQUITECTURA

HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES UTILIZADOS EN  
ESPACIOS EXTERIORES

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

AUTOR: Jonnathan Paúl Guzmán Ávila

DIRECTOR: Arq. MSc. Pedro Angumba

CUENCA - ECUADOR

2018

### Declaración

Yo Jonnathan Paúl Guzmán Ávila, declaro bajo juramento que el presente trabajo aquí descrito, es de mi autoría y los resultados de las distintas pruebas son auténticos y originales, teniendo como respaldo las diferentes fotografías. Las referencias bibliográficas provenientes de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad académica y legal de los contenidos del presente trabajo de titulación.



Jonnathan Paúl Guzmán Ávila

### Certificación

Certifico que el presente trabajo fue realizado por  
Jonnathan Paúl Guzmán Ávila, bajo mi supervisión.



Arq. MSc Pedro Angumba

### Dedicatoria

Dedico este trabajo de graduación en especial a mi madre Zoila Ávila quien supo apoyarme incondicionalmente en todo momento de mi vida y carrera universitaria, a cada uno de mis hermanos y hermanas que supieron estar presentes desde el inicio de mis estudios, incentivando y brindando apoyo en todo momento. Al resto de mi familia que supieron aportar mucho en la obtención de mi título universitario. A mi hermano PACO que no se encuentra con nosotros, pero sé que está en un lugar mejor por la excelente persona que fue.

## Agradecimientos

Agradezco a cada uno de mis profesores que formaron mi carrera profesional a lo largo de mi estadía en la universidad, no solo obtengo un título profesional, termino la carrera universitaria creciendo como persona con valores como el respeto, honestidad y sinceridad. Además de concluir con muy buenos amigos compartiendo momentos inolvidables.

Un reconocimiento especial al ARQUITECTO PEDRO ANGUMBA, quien supo guiar este trabajo de titulación con profesionalismo y responsabilidad, siendo uno de los mejores catedráticos en el área de construcciones.

Agradezco a las diferentes personas que estuvieron involucradas en el trascurso de mi tesis:

DIS: William Muñoz (Laboratorio de suelos R&R)

ING: Marcos Gonzales (Laboratorio de suelos UCACUE)

ING: Fabiola Uday (Laboratorio químico UCACUE)

## Índice de Contenidos

Declaración .....	i
Certificación .....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice de contenidos.....	v
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I.- Introducción.....	xii
II.- Problema .....	xiii
III.- Justificación.....	xiii
IV.- Metodología.....	xiv
V.- Objetivos.....	xv
1 Capítulo 1: Hormigón pigmentado – Generalidades.....	1
1.1 Historia del hormigón.....	1
1.2 Hormigón pigmentado utilizado en la construcción.....	2
1.2.1 Clases de pigmentos utilizados.....	4
1.2.1.1 Naturales.....	4
1.2.1.2 Sintéticos.....	5
1.2.2 Efecto de los pigmentos sobre las propiedades del hormigón.....	5
1.2.2.1 Propiedades en estado fresco .....	5
1.2.2.1.1 Trabajabilidad.....	5
1.2.2.1.2 Tiempo de fraguado.....	5
1.2.2.1.3 Exudación.....	6
1.2.2.2 Propiedades en estado endurecido.....	6
1.2.2.2.1 Resistencia a la compresión.....	6
1.2.2.2.2 Permeabilidad al agua bajo presión.....	6
1.2.2.2.3 Porosidad.....	6
1.2.2.3 Factores externos que afectan el hormigón pigmentado.....	6
1.2.2.3.1 Eflorescencias.....	6
1.2.2.3.2 El color amarillento.....	7
1.2.2.3.3 Selladores de superficie.....	7
1.2.3 Componentes del hormigón pigmentado.....	7
1.2.3.1 Cemento.....	7
1.2.3.1.1 Cemento gris.....	7

1.2.3.1.2	Cemento blanco .....	8
1.2.3.2	Áridos.....	8
1.2.3.2.1	Árido fino (arena) .....	8
1.2.3.2.2	Árido grueso (ripio).....	9
1.2.3.3	Relación agua cemento. ....	10
1.2.3.4	Porcentaje de pigmentos. ....	11
1.3	Consideraciones para la elaboración del hormigón pigmentado.....	12
1.3.1	Moldes.....	12
1.3.2	Desmoldante.....	12
1.3.3	Preparación de la mezcla.....	13
1.3.4	Vibrado.....	13
1.3.5	Fraguado.....	14
1.3.6	Curado.....	14
1.4	Materia prima para elaboración del pigmento (Tierra).....	15
1.4.1	Reseña histórica.....	15
1.4.2	Estudio de caso similar.....	16
1.4.3	Extracción.....	19
2	Capítulo 2: Experimentación – Dosificación de Hormigón Pigmentado.....	21
2.1	Proceso para elaborar el pigmento.....	21
2.1.1	Secado inicial.....	21
2.1.2	Primera calcinación.....	21
2.1.3	Reducción de tamaño (moler).....	22
2.1.4	Tamizado.....	23
2.1.5	Segunda calcinación.....	26
2.2	Ensayo químico al pigmento utilizado.....	27
2.2.1	Humectación con agua.....	27
2.2.2	Resistencia a los álcalis.....	29
2.3	Diseño de hormigón.....	31
2.4	Primer diseño.....	31
2.4.1	Dosificación y elaboración de probetas.....	36
2.4.2	Resistencia a los 7 días de edad.....	38
2.5	Segundo diseño.....	40
2.5.1	Dosificación y elaboración de probetas.....	44
2.5.2	Resistencia a los 7 días de edad.....	45
2.5.3	Dosificación y elaboración de vigas.....	46
3	Capítulo 3: Pruebas de laboratorio – Resultados.....	48
3.1	Ensayo de compresión.....	48
3.2	Ensayo a la flexión.....	52
3.3	Ensayo de absorción.....	55
3.4	Ensayo de determinación de resistencia a las manchas.....	56

3.5	Conclusiones.....	63
3.6	Recomendaciones .....	65
3.7	BIBLIOGRAFÍA .....	66
3.8	Anexos.....	68

## Índice de fotografías

Fotografía 1: Calle hacia los trigales.....	3
Fotografía 2: Pintura Mural.....	16
Fotografía 3: Pintura Mural.....	16
Fotografía 4: Tubos de sedimentación con 454 gramos de tierra.....	17
Fotografía 5: Tubos de sedimentación a los 6 días de realización del ensayo.....	18
Fotografía 6: Extracción tierra.....	20
Fotografía 7: Extracción tierra roja.....	20
Fotografía 8: Tierra amarilla .....	21
Fotografía 9: Tierra roja. ....	21
Fotografía 10: Estufa .....	22
Fotografía 11: Tierra calcinada amarilla.....	22
Fotografía 12: Tierra calcinada roja .....	22
Fotografía 13: Tierra molida .....	22
Fotografía 14: Tierra molida .....	22
Fotografía 15: Tamices .....	23
Fotografía 16: Tierra roja .....	23
Fotografía 17: Tierra amarilla .....	23
Fotografía 18: Peso acumulado de tierra roja en cada tamiz.....	24
Fotografía 19: Peso acumulado de tierra amarilla en tamices.....	25
Fotografía 20: Tierra amarilla calcinada.....	26
Fotografía 21: Tierra roja calcinada .....	26
Fotografía 22: 10 gramos de tierra amarilla.....	28
Fotografía 23: 10 gramos de tierra roja.....	28
Fotografía 24: 150 MI de agua ionizada .....	28
Fotografía 25: Tierra amarilla con agua ionizada .....	28
Fotografía 26: Resultado de ensayo de humectación.....	28
Fotografía 27: 10 gramos (pigmento rojo).....	29
Fotografía 28: Pigmento mezclado con 150 ml de agua des ionizada.....	29
Fotografía 29: pigmento mezclado con 150 ml de agua des ionizada y 10 ml de hidróxido de sodio.....	29
Fotografía 30: Filtrado .....	30
Fotografía 31: Primer lavado con agua des ionizada caliente.....	30
Fotografía 32: Tercer lavado con agua des ionizada caliente.....	30

Fotografía 33: Estufa .....	30
Fotografía 34: Pigmento amarillo pulverizado.....	30
Fotografía 35: Pigmento rojo pulverizado.....	30
Fotografía 36: Comparación de pigmentos de color rojo.....	30
Fotografía 37: Comparación de pigmentos de color amarillo.....	30
Fotografía 38: Ensayo de asentamiento.....	35
Fotografía 39: Ensayo de asentamiento.....	35
Fotografía 40: Plastificante .....	35
Fotografía 41: Cilindro con 2.5 % de plastificante en relación al cemento .....	35
Fotografía 42: Cilindro con pigmento rojo .....	35
Fotografía 43: Aplicación de vaselina .....	37
Fotografía 44: Pesado del agregado de 3/8 .....	37
Fotografía 45: Varillado de probetas .....	37
Fotografía 46: Cilindros desencofrados a las 24 horas .....	38
Fotografía 47: Cilindros de hormigón gris .....	38
Fotografía 48: Resistencia en kilo newtons.....	38
Fotografía 49: Pesaje de arena.....	44
Fotografía 50: Cilindros de hormigón con cemento gris desencofrados a las 24 horas .....	44
Fotografía 51: Cilindros de hormigón con cemento blanco desencofrados a las 24 horas.....	45
Fotografía 52: Cilindro hormigón gris .....	45
Fotografía 53: Carga de rotura en kilogramos .....	45
Fotografía 54: Elaboración de vigas con pigmento rojo.....	47
Fotografía 55: Elaboración de vigas con pigmento amarillo.....	47
Fotografía 56: Ensayo de flexión, cemento gris puro .....	52
Fotografía 57: Resistencia a flexión.....	52
Fotografía 58: Aplicación de impermeabilizante .....	57
Fotografía 59: Aplicación de mancha verde .....	57
Fotografía 60: Aplicación de yodo y aceite de oliva.....	58
Fotografía 61: Aplicación de aceite de oliva .....	58
Fotografía 62: luna de reloj.....	58
Fotografía 63: Probetas después de 24 horas de haber sido manchadas.....	58
Fotografía 64: Aplicación de agua caliente.....	59
Fotografía 65: Aplicación de detergente.....	59
Fotografía 66: Probetas después de realizar el ensayo de resistencia a las manchas.....	60

## Índice de tablas

Tabla 1 Límites de Granulometría del árido fino.....	8
Tabla 2 Límites de Granulometría del árido grueso.....	9
Tabla 3 Clasificación de la tierra.....	18
Tabla 4 Peso retenido del pigmento.....	24

Tabla 5 Peso retenido del pigmento.....	26
Tabla 6 Análisis granulométrico de la arena.....	32
<i>Tabla 7 Análisis granulométrico del triturado.</i> .....	32
Tabla 8 Calculo del diseño. ....	33
Tabla 9 Diseño de hormigón.....	34
Tabla 10 Dosificación para cilindros con triturado de 3/8.....	36
Tabla 11 Calculo de resistencia a los 7 días. ....	39
Tabla 12 Análisis granulométrico de la arena.....	41
Tabla 13 Análisis granulométrico del triturado. ....	41
Tabla 14 Calculo del diseño. ....	42
Tabla 15 Calculo del diseño. ....	43
Tabla 16 Dosificación para cilindros con triturado de 3/4.....	44
Tabla 17 Dosificación para columnas con triturado de 3/4.....	46
Tabla 18 Dosificación para columnas con triturado de 3/4.....	47
Tabla 19 Resistencia a los 28 días. ....	49
Tabla 20 Resistencia probetas, cemento gris. ....	50
Tabla 21 Resistencia probetas, cemento Blanco.....	51
Tabla 22 Resistencia de vigas a la flexión. ....	53
Tabla 23 Correlación de la compresión y la flexión. ....	54
Tabla 24 Ensayo de absorción. ....	55
Tabla 25 Ensayo de resistencia a las manchas, probetas cemento gris.....	60
Tabla 26 Ensayo de resistencia a las manchas, probetas cemento blanco. ....	61
Tabla 27 Resultado de ensayo a las manchas. ....	61

## Índice de imágenes

Imagen 1: Casa Mirador, Chile (2012),.....	3
Imagen 2 Coordenadas de la tierra de color.....	19

## Resumen

El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados en la actualidad por sus reconocimientos de resistencia, durabilidad, fácil adquisición y producción en el mercado nacional. Las empresas que fabrican hormigón en la ciudad, utilizan pigmentos sintéticos importados o aditivos.

Existen otros materiales alternativos y ecológicos como la tierra de color que se puede utilizar para fabricar pigmento natural, llevándola por un proceso donde incluye la calcinación a elevadas temperaturas.

El proceso incluye el análisis de los efectos que provoca la adición de pigmento con porcentajes máximos establecidos en la American Concrete Institute (ACI 212) y La American Society of Testing Materials (ASTM C 979), realizando la experimentación con los diferentes ensayos: compresión, flexión, absorción y resistencia a las manchas. El análisis de los resultados permitirá conocer la reacción del hormigón con pigmento fabricado a base de tierras de color. Para ser aplicado en pisos exteriores, con las dosificaciones adecuadas y aportando al estudio de un nuevo producto local.

Palabras clave: PIGMENTOS NATURALES, TIERRA CALCINADA, REACCIÓN PIGMENTO, HORMIGÓN PIGMENTADO.

## Abstract

Concrete is one of the most frequently used building materials for its strength, and durability, easy acquisition and production in the local market. Companies which manufacture concrete in the city use imported synthetic pigments or additives.

There are alternative, environmentally friendly materials like colored earth that can be used to produce natural pigment, taking it through a process that includes calcination at high temperatures.

The process includes the analysis of the effects caused by the addition of pigment with maximum percentages established by the American Concrete Institute (ACI 212) and The American Society of Testing Materials (ASTM C 979). Experimenting with different tests: compression, bending, absorption and stain resistance. The analysis of the results will reveal the reaction of concrete produced with pigment-based colored earth. To be applied on outdoor floors, with the appropriate dosages and contributing to the study of a new local product.

**Keywords: NATURAL PIGMENTS, SCORCHED EARTH, PIGMENT REACTION, PIGMENTED CONCRETE**

## I.- Introducción

El hormigón al ser un material plástico podemos darle formas imaginables obteniendo superficies con texturas variadas y muy buenos terminados, es un material más empleado por muchos años en la construcción, motivo por el cual se ha preocupado por las características de resistencia, trabajabilidad y durabilidad del mismo.

Con el pasar de los años se incrementa la tendencia a dejar superficies de hormigón vistas permitiendo que sean elementos de terminación con el fin de mejorar el aspecto estético.

En nuestra ciudad para colorear un hormigón se requiere importar productos ya que se utilizan pigmentos sintéticos que encarecen la obra. Se puede colorear el hormigón con pigmento naturales fabricados a base de tierra calcinada que tenga las mismas características que un hormigón pigmentado artificialmente basado en dosificaciones adecuadas, además de ayudarnos a contrarrestar el impacto medioambiental. Contribuyendo con la investigación de un nuevo producto local y que cumpla con las características técnicas para formar un buen material de construcción.

El presente trabajo está orientado a recolectar tierras de colores que contengan un alto grado de pigmentación para ser utilizadas como agregado natural en la dosificación al momento de elaborar el hormigón, tierras que serán obtenida en Oña, Susudel.

Se revisarán proyectos ya realizados en otros países tales como Colombia y Chile, donde también aplicaron este método, las experiencias obtenidas, problemas encontrados, ventajas y desventajas en la elaboración del material propuesto servirán de guía en esta práctica.

El análisis de las características del hormigón pigmentado se realizará por medio de probetas cilíndricas las cuales serán sometidas a ensayos de laboratorio. Planteando como resultado el análisis de las propiedades que pueda llegar a tener el hormigón pigmentado con agregados naturales.

## **II.- Problema**

En la actualidad las hormigoneras para colorear sus productos (hormigón estructural, adocretos, hormigón estampado etc.), necesitan importar los pigmentos ya que utilizan productos sintéticos. El consumo del pigmento en el hormigón está creciendo, orientado a mejorar el aspecto estético, sin embargo, la coloración del hormigón se la realiza con la utilización de pigmentos artificiales encareciendo la obra.

El generar un pigmento natural ayuda a reducir el impacto medioambiental de la fabricación del hormigón coloreado con productos sintéticos, además de beneficiarnos con el costo ya que no tendríamos que importarlo, generando un pigmento natural y la investigación de un nuevo producto local.

## **III.- Justificación**

La aplicación de superficies de hormigón como elemento de terminación se ha incrementado en los últimos años. Por ese motivo para dar un carácter más expresivo al hormigón se le adiciona color, obteniéndolo al añadir finas partículas de polvo (pigmentos) a la mezcla con áridos, aglomerado, agua y otros aditivos que forman el hormigón o la masa. De esta forma el elemento constructivo tiene una función estética sin dejar de lado las características del mismo.

La importancia y justificación para la elaboración de la tesis se basa en el conocimiento científico y tecnológico adquirido; será realizar un análisis de las características del hormigón pigmentado naturalmente con el fin de obtener un hormigón durable y adecuado a las necesidades de obras utilizando pigmentos naturales.

Sustituir un pigmento artificial por un pigmento natural ayuda a reducir el impacto medioambiental y costos en la obra ya que utilizamos pigmentos de tierras calcinadas existentes en la zona de estudio, además de contribuir en la investigación de un nuevo producto que puede satisfacer las necesidades del mercado.

La disponibilidad de los materiales a ser utilizados nos facilita la investigación. La tierra a ser utilizada la podemos obtener en Oña y Susudel, encontrándose a menos de dos horas de la ciudad de Cuenca, además de contar con los laboratorios adecuados para realizar las pruebas correspondientes.

#### **IV.- Metodología**

Se realizará una investigación documental, recopilación de información ya existente sobre el hormigón pigmentado, mediante documentos físicos y virtuales que nos permitan tener mayor información, estos documentos a analizar son: tesis, artículos científicos, normas técnicas. Esta investigación nos permitirá encontrar similitudes y dosificaciones adecuadas en hormigones pigmentados para una posterior aplicación. Se analizan los siguientes parámetros:

- Incidencia de los pigmentos en el hormigón
- La dosificación empleada

Una vez obtenida la información, métodos, dosificaciones y especificaciones del hormigón, se procederá a la obtención de la tierra de yacimientos naturales, la cual será liberada de impurezas para luego ser calcinada en hornos con temperaturas mayores a 250 grados centígrados, pasadas por un rodillo para que los agregados sean pulverizados, seguidamente tamizadas para utilizar la granulometría correcta para una buena adherencia y fácil trabajabilidad de la mezcla. Con la obtención de este pigmento (polvo) se realizarán las dosificaciones correctas para fabricar las probetas de hormigón. Pasará por un tiempo de fraguado y secado correspondiente para obtener su máxima resistencia (Castro Guiachetti, 2005).

Seguidamente del uso de laboratorios; aplicación del método experimental de pruebas:

- Compresión
- Flexión
- Absorción

- Resistencia a las manchas

Finalmente se realizará el análisis de los resultados obtenidos y serán comparados con la norma correspondiente a cada uno de los ensayos.

## **V.- Objetivos**

### GENERAL

Realizar un hormigón pigmentado utilizando agregados naturales de color (tierra calcinada a temperaturas elevadas), sometiéndolas a pruebas de laboratorio para determinar su resistencia en espacios exteriores.

### ESPECÍFICOS

- Revisar bibliografía sobre estudios de hormigón pigmentado, captación y análisis de la materia prima a ser utilizada, identificar la incidencia de los agregados en el comportamiento del hormigón, revisión de normas técnicas del hormigón y dosificaciones adecuadas.
- Realizar probetas de hormigón pigmentado (utilizando la tierra de color recolectada en Oña, calcinada como pigmento natural), sometiéndolos a pruebas de laboratorio. (Compresión, flexión absorción y resistencia a las manchas).
- Analizar los resultados de las distintas pruebas de laboratorio sobre el hormigón pigmentado.

# **1 Capítulo 1: Hormigón pigmentado – Generalidades**

---

## **1.1 Historia del hormigón.**

La obra de hormigón más antigua fue descubierta durante excavaciones en las riberas del río Danubio en Lepenski, fue empleado para hacer pisos en un pueblo de la edad de piedra, se evidenció que la fecha estaba alrededor de los 5600 A.C. Luego parece haber desaparecido por un largo tiempo, no obstante, existen autores que sostienen que algunas obras, especialmente las pirámides de Egipto y de ellas Giza, utilizaron concreto en su construcción. La referencia gráfica más antigua que se tiene son los trabajos que provienen de un mural de Tebas (Egipto), que data en el año de 1950 A.C, muestra etapas de la utilización del mortero y hormigón, por varios años fue usado como un material de relleno en muros de piedra luego pasando a ser utilizado como material estructural (Gómez, 1994).

El uso del concreto pasó de Egipto al mediterráneo occidental alrededor del año 500 A.C utilizando compuestos basados en la cal como materia de recubrimiento de muros o ladrillos no cocidos, llegando a conocerse que los palacios de Cresos y Atalantes, fueron construidos de esta manera. Previo al concreto como tal, se utilizó un pseudo concreto que estaba formado por una piedra fracturada y unida mediante un material de cal y arena (Gómez, 1994).

Los romanos probablemente copiaron la utilización de la manufactura del concreto de la civilización griega. Encontrando concretos romanos alrededor de los 300 A.C, durante el siglo II A.C. Extrayendo el material de una cantera cercana a la población de Pozzuoli, obteniendo arena de apariencia rosada que al mezclar con cal obtenían un material mucho más resistente que los producidos anteriormente. El material extraído de la cantera no era simplemente arena, estaba formado de una ceniza volcánica que contiene sílice y alúmina que al ser combinada químicamente con la cal resultaba en lo que luego se conocería como cemento puzolánico.

Con la caída del imperio romano, el uso del hormigón declinó y muchos de los conocimientos adquiridos desaparecieron completamente. La técnica comenzó a ser reutilizada en Inglaterra hacia el año de 700 D.C (Gómez, 1994).

Durante la edad media el material fue muy poco utilizado, a juzgar por las evidencias encontradas, en 1753 por George Semple, utilizó el hormigón en la cimentación del puente en Dublín. El modernismo impulsó a grandes arquitectos como Le Corbusier, Walter Gropius y Alvar Alto, entre otros. El racionalismo, la expresividad fueron los motivos que guiaron a la estructura de fachadas en la arquitectura (Castro, 2005).

En los años sesenta el uso del hormigón surge como una reacción a la monotonía buscando lograr un diseño de fachada más expresivo permitiéndose conocer las posibilidades del hormigón en cuanto a diseño, color y textura.

Se puede decir que a principios del siglo XX, los arquitectos en su búsqueda de generar nuevas formas comienzan a utilizar el hormigón para realizar construcciones más expresivas tomando en cuenta las bondades en la parte estructural, dando con ello impulso a la utilización plena y franca de este material.

## **1.2 Hormigón pigmentado utilizado en la construcción.**

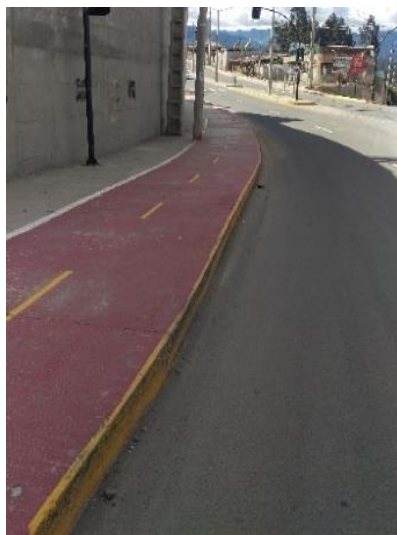
El hormigón pigmentado forma parte de los hormigones arquitectónicos, el uso de este tipo de hormigón no es muy antiguo y apenas se remonta al siglo pasado, algunos autores han encontrado vestigios de hormigón con color en algunas obras de la antigüedad de manera muy puntual.

En los años 80 se difunde su uso en países desarrollados donde se ha diversificado la forma final ya sea por adición o texturas. Los pigmentos naturales han sido utilizados desde la prehistoria, aplicados fundamentalmente a las artes visuales. La historia remota desde el hombre de las cavernas quien pintaba y expresaba su arte en las paredes utilizando pigmentos que él mismo preparaba (Cardoso, 2015).

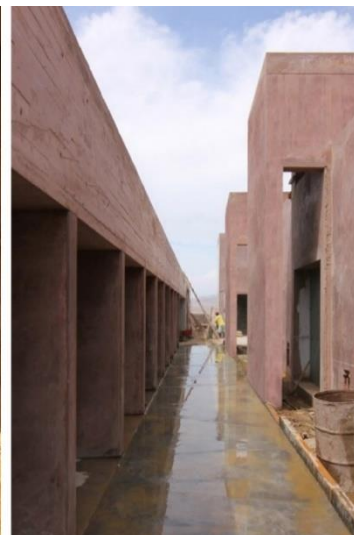
Los egipcios (3000 a 2000 a.C) utilizaban pigmentos fabricados a base de arcillas de colores (rojas, amarillas y verdes), y como aglutinante usaban goma arábiga, huevo, cera de abeja o gelatina. La elaboración de la pintura servía para demostrar su arte y transferirlo de generación en generación (Cardoso, 2015).

Los pigmentos a utilizar para elaborar el hormigón deben ser insolubles al agua, resistentes a la alcalinidad, además deben poseer gran capacidad de pigmentación, posibilidad de obtener el brillo, luminosidad, uniformidad en el tamaño y la finura de las partículas que lo componen, así como garantía en el suministro y costo accesible (Argüello & Pérez, 2013).

Al igual que otros componentes en polvo, la adición de pigmentos modificará la fluidez y la cohesión de la mezcla. Los cambios en las proporciones de los materiales deben ser considerados para optimizar las propiedades del hormigón. Los pigmentos existen en versión sólida (polvo) o líquidos.



*Imagen 1: Casa Mirador, Chile (2012),  
Museo de la Cultura, Paracas, Perú (2012)  
Fuente: Plataforma Arquitectura*



*Fotografía 1: Calle hacia  
los trigales  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*

En el caso de Ecuador, el uso del color en la arquitectura respondía “al empleo de pigmentos y materiales importados desde Europa”, pero también se aprovechó materiales de la región (Achig & Paredes, 2001).

Los materiales se fabricaban a base de minerales y vegetales dotando de color la arquitectura, se registran documentos públicos que hacen referencia a la ciudad de Cuenca, que dictan ordenanzas que estipulaban el blanqueamiento de las fachadas, aplicando el color en pinturas murales y edificaciones coloniales. En la actualidad en Cuenca, el uso de hormigón coloreado está tomando más énfasis en parques y aceras, aplicado en su mayoría en tonos rojizos.

### **1.2.1 Clases de pigmentos utilizados.**

Los pigmentos que pueden utilizarse para colorear un hormigón son orgánicos o inorgánicos, estos se definen como un polvo fino seco o una lechada de polvo inerte a componentes del concreto.

Los pigmentos inorgánicos pueden ser naturales o sintéticos.

#### **1.2.1.1 Naturales.**

Se puede obtener pigmentos naturales procedentes de extracciones mineras, localizadas en distintas regiones del mundo, la tierra presenta una variedad de colores con un buen grado de saturación de color para utilizarlas como pigmento para hormigón, al estar en contacto con todos los agentes del medio ambiente, están contaminadas con grandes impurezas y no tienen una uniformidad adecuada para aplicarlas directamente como pigmento.

Para que la tierra pueda servir como pigmento se debe calcinar a elevadas temperaturas (mayores a 250° C). Se requiere tener un material uniforme para lo cual se reduce el tamaño de las partículas en un tamiz hasta obtener un tamaño uniforme de granos de 5 a 7 mm para realizar una primera calcinación, posteriormente se pasan por rodillos (moler) reduciendo el tamaño alcanzando un rango de partículas que van desde las 100 hasta las 150 micras, finalmente se calcina para que el pigmento este completamente seco. (Castro Guiachetti, 2005).

### **1.2.1.2 Sintéticos**

Son fabricados por una composición química estrictamente uniforme, con un tamaño de partículas que predomina con granulometría precisa, propiedades que hacen que se facilite la coloración del hormigón produciendo colores más oscuros y una mayor saturación de color. Es necesario utilizar pigmentos que tengan las siguientes características pudiendo ser naturales o sintéticos.

- Tener gran poder colorante
- Asegurar y mantener su color original
- Soportar la influencia agresiva de la pasta de cemento fuertemente alcalina durante el fraguado
- Integrarse firmemente en la matriz del hormigón

Al obtener un pigmento con las características anteriores no afecta a las propiedades del hormigón en su estado fresco o estado endurecido (Castro Guiachetti, 2005).

## **1.2.2 Efecto de los pigmentos sobre las propiedades del hormigón**

### **1.2.2.1 Propiedades en estado fresco**

#### **1.2.2.1.1 Trabajabilidad.**

Generalmente la incorporación de pigmentos en el hormigón implica una reducción en su trabajabilidad especialmente en alto niveles de carga. La ASTM especifica que el incremento en demanda de agua para mantener la misma trabajabilidad que el concreto sin pigmentos no debe exceder el 10% (Lynsdale & Cabrera, 1990).

#### **1.2.2.1.2 Tiempo de fraguado.**

La mayoría de los pigmentos y multi-componentes agregados al hormigón no producen alteraciones en el fraguado aplicados en las dosificaciones adecuadas. El pigmento negro y algunos óxidos de hierro pueden acelerar el fraguado (Positieri, 2005).

### **1.2.2.1.3 Exudación.**

Los pigmentos utilizados en dosis recomendadas no producen alteraciones en el hormigón, cuando se utilizan dosis más altas pueden reducir la cohesión que promueve la exudación (Positieri, 2005).

### **1.2.2.2 Propiedades en estado endurecido**

#### **1.2.2.2.1 Resistencia a la compresión.**

Mientras se utilice dosificaciones adecuadas no afecta significativamente a la resistencia del hormigón. "Presentan una tendencia general a mostrar que las mezclas pigmentadas con óxido de hierro, natural y sintético, tienen resistencias iguales" (Positieri, 2005).

#### **1.2.2.2.2 Permeabilidad al agua bajo presión.**

RAMACHANDRAN (1995), menciona que al utilizar dosificaciones de pigmentos mayores a las recomendadas y la relación de agua cemento inadecuada altera las características del hormigón.

Resistencia a compresión y tracción: depende del porcentaje de pigmento.

Permeabilidad: varía con la relación agua/cemento.

#### **1.2.2.2.3 Porosidad.**

La incorporación de pigmentos que no tengan la granulometría correcta incrementa el nivel de porosidad (Carvalho, 2000).

### **1.2.2.3 Factores externos que afectan el hormigón pigmentado.**

#### **1.2.2.3.1 Eflorescencias.**

Representan un gran problema estético en los hormigones de color pues estas manchas se evidencian dependiendo el grado de coloración del hormigón.

Algunos estudios demuestran que las eflorescencias pueden desaparecer entre 1 y 2 años dependiendo de las características climáticas en la zona que este expuesto el hormigón. Sin embargo, la mayoría de eflorescencias se pueden quitar por medio de un escobillado y con abundante agua. Es necesario dejar la superficie lisa sin muchas porosidades ya que estas

ayudan a que se formen las eflorescencias siendo más dificultoso su limpieza (Castro Guiachetti, 2005).

#### **1.2.2.3.2 El color amarillento.**

Esto generalmente se da en tonos azules que con el pasar del tiempo comienzan a tener un color verdoso. Aunque el cambio de color es muy ligero se debe tomar en cuenta al momento de construir elementos nuevos con algunos ya edificados (Castro Guiachetti, 2005).

#### **1.2.2.3.3 Selladores de superficie.**

Se podría considerar la aplicación de un sellador ayudando a que el hormigón no se manche principalmente con la eflorescencia, estos selladores pueden dar la apariencia de mojado sin embargo existen selladores mates. Su aplicación se la recomienda hacer pasado los 28 días de curado total y ser aplicados periódicamente para que el hormigón no se vea manchado (Castro Guiachetti, 2005).

### **1.2.3 Componentes del hormigón pigmentado.**

#### **1.2.3.1 Cemento.**

El cemento es un material básico utilizado en el área de la construcción, obtenido mediante la transformación de minerales. El producto final obtenido es un sólido de elevada finura de color gris o blanco, teniendo propiedades conglomerantes que al contacto con el agua y áridos forma una masa la cual fragua y endurece (Amor, 2011).

##### **1.2.3.1.1 Cemento gris.**

La industria del cemento en el Ecuador inicia en el año de 1923, cuando la empresa de industria y construcción, instaló la primera planta en Guayaquil. Las marcas más comercializadas en la ciudad de Cuenca son:

HOLCIM ECUADOR (Cementos Rocafuerte), con Plantas en Guayaquil y Latacunga.  
CEMENTOS GUAPAN, su planta está instalada en Guapán – Azogues.

### 1.2.3.1.2 Cemento blanco.

El cemento blanco difiere con el cemento gris únicamente por su color, se fabrica conforme a las especificaciones de la norma ASTM C 150, normalmente con respecto al tipo I o tipo III; el proceso de manufactura sin embargo es controlado de tal manera que el producto terminado sea blanco.

### 1.2.3.2 Áridos.

Los áridos componen alrededor del 75% del hormigón considerando árido fino o agregado fino a las partículas menores a 5mm y árido grueso o agregado grueso a partículas mayores a 5mm. Para elaborar el hormigón éstas deben cumplir con las especificaciones de NTE INEN 872.

#### 1.2.3.2.1 Árido fino (arena)

La arena se divide en gruesa, fina y menores a 2mm. La arena para elaborar hormigón puede ser natural, triturada o una mezcla. La granulometría que debe cumplir según NTE INEN 872 y ASTM C33 es la siguiente.

*Tabla 1 Límites de Granulometría del árido fino.*

Tamiz ASTM	Tamiz INEN	Porcentaje que pasa
3/8"	9.5mm	100
#4	4.75mm	95 a 100
#8	2.36mm	80 a 100
#16	1.18mm	50 a 85
#30	600 µm	25 a 60
#50	300 µm	10 a 30
#100	150 µm	2 a 10

*Fuente: NTE INEN 0872*

Según las distintas hormigoneras de la ciudad es recomendable para la elaboración de hormigón, utilizar un árido (fino) variado que esté dentro de los diferentes tamices ya definidos en la tabla anterior.

Los áridos se obtienen de plantas extractoras y trituradoras de la ciudad de Cuenca ubicadas en varios puntos cercanos como Paute, Gualaceo, Santa Isabel y El Descanso, incluso se comercializa arena que es extraída en el oriente, sin embargo, ésta tiene un tono gris oscuro.

Según la NTE INEN, el árido fino es aquel que pasa por el Tamiz de 9,5 mm (3/5") y que la mayor parte de sus partículas pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el Tamiz 75  $\mu$ m (No. 200).

#### 1.2.3.2.2 Árido grueso (ripio).

El árido grueso puede ser grava, grava triturada, piedra natural o una mezcla de estas. La granulometría recomendada según NTE INEN 872 es la siguiente:

*Tabla 2 Límites de Granulometría del árido grueso.*

Tamiz ASTM	Tamiz INEN	Porcentaje que pasa
2"	53 mm	100
1 1/2"	37.5 mm	95 a 100
1"	26.5 mm	-
3/4"	19 mm	35 a 70
1/2"	13.2 mm	-
3/8"	9.5 mm	10 a 30
#4	4.75 mm	0 a 5

*Fuente: NTE INEN 0872*

Al igual que la arena se recomienda utilizar un árido grueso (ripio) variado con diferentes tamaños especificados en la tabla anterior. Al utilizar áridos con tamaños diferentes aseguramos un buen diseño de hormigón.

#### **Tamaño nominal máximo.**

Se recomienda utilizar árido grueso con un tamaño nominal que este entre 3/4" y 2" para hormigones eficientes (Quijije, 2017).

Al igual que el árido fino en nuestra región, el árido grueso, tiene origen fluvial, se obtiene de la trituración de la piedra de río extraída de los mismos lugares que el árido fino. Se comercializa normalmente en tamaño  $\frac{3}{4}$ ; sin embargo, para usos específicos bajo pedido se puede conseguir en otras dimensiones. El árido grueso obtenido de esta manera se denomina comúnmente ripio.

Cabe señalar que salvo si el agregado grueso queda expuesto en el acabado final del hormigón, su coloración no es importante.

Los áridos utilizados en los hormigones preparados son los descritos y serán sometidos a los análisis que exige la Norma Técnica Ecuatoriana, de tal manera que se garantice la calidad de los hormigones.

### **1.2.3.3 Relación agua cemento.**

El agua participa en las reacciones de hidratación del cemento además de conferirle trabajabilidad

La característica principal que debe cumplir el agua para la elaboración y curado del hormigón es ser potable (NTE INEN 1108).

Si el agua no es potable debe ser analizada en laboratorios químicos para comprobar que no esté contaminada con sustancias químicas que dañen el hormigón o a su vez el acero de refuerzo. No es recomendable utilizar agua de mar por el alto contenido de sal afectando directamente a las armaduras de refuerzo.

El uso de agua durante la elaboración del hormigón (amasado) debe ser el adecuado para que no afecte a sus características. No se puede fijar una cantidad específica de agua a utilizar, esto dependerá del estado de humedad del volumen aparente de los áridos (Castro, 2005).

Para obtener un hormigón fluido con una trabajabilidad normal se aplica generalmente el 8 a 9  $\frac{1}{2}$  % de volumen aparente de los tres materiales (cemento, árido fino, árido grueso) siendo de

21 a 23 litros de agua por 50 kg de cemento, tomando en cuenta que los agregados están en estado húmedo. Sin embargo, cuando utilizamos agregados totalmente secos se utiliza hasta el 11 % de volumen aparente de los tres materiales, siendo de 24 a 27 litros de agua por cada 50 kg de cemento (Castro, 2005).

La relación agua cemento es la parte principal en la elaboración del hormigón, determinando la resistencia final del mismo, el exceso de agua genera de una manera visual una mejor trabajabilidad, pero altera totalmente las características del hormigón. Para evitar la aplicación de adición de agua generalmente se utiliza plastificantes que al mezclarse con el cemento reaccionan químicamente y lo hacen más trabajable.

#### **1.2.3.4 Porcentaje de pigmentos.**

Lastimosamente en la norma Ecuatoriana de la construcción, no se han incorporado recomendaciones cuanto a pigmentación de hormigones, por lo necesario se decidió basar en normativa de otros países que presentan especificaciones claras y puntuales por su amplia experiencia. Se consideró específicamente la ASTM C 979 y la ACI 212, que analiza los aditivos químicos para el hormigón.

En la GUIA ACI 212, en el capítulo 6, analiza los pigmentos para uso en hormigones y morteros no debe sobrepasar el 10 %, sin embargo, en caso de pigmentos fabricados a base de carbón se debería utilizar un porcentaje menor. Señalando que su incorporación no afecta en las propiedades en estado endurecido, sin embargo, hace notar que ciertos pigmentos pueden generar mayor demanda de agua y su consecuencia a la resistencia y abrasión.

En la ASTM C 979, señala también un límite máximo de adición de pigmentos que no debe sobrepasar del 10%, esta norma muy específica define los porcentajes máximos que deben tener los pigmentos en cuanto a humectación con el agua y resistencia a los álcalis.

### **1.3 Consideraciones para la elaboración del hormigón pigmentado.**

#### **1.3.1 Moldes.**

El tipo de molde empleado tiene repercusión en el color, mientras más agua absorba el molde más oscuro será el tono del hormigón, razón por la que debemos utilizar uno no absorbente.

Los moldes que se recomiendan utilizar deben ser.

- Rígidos para fabricar piezas, con medidas correctas dentro de la tolerancia exigida.
- Durables para ser reutilizados.
- Fáciles de desencofrar para que no lastimen al hormigón en sus filos.
- Herméticos para evitar pérdidas de lechada o mortero.
- Lisos para evitar que el hormigón se adhiera a las caras del encofrado.

De acuerdo al ACI existe una variedad ilimitada de materiales para fabricar encofrados.

Entre ellos tenemos la madera, metales, plásticos, entre otros. En el caso de los encofrados de madera producen distintas tonalidades por el uso que tengan, debido a su capacidad de absorción de agua, por lo que se recomienda no usarlos al trabajar con hormigón pigmentado.

Los moldes a utilizar deben cumplir con la norma que hace referencia al diámetro de la probeta, siendo 3 veces el tamaño del agregado grueso. Por la razón que las probetas generalmente utilizadas son de 15 cm \* 30 cm partiendo de un agregado de 5 cm.

Tomando en cuenta el número de probetas que debemos realizar optamos por construirlas a partir de tubo PVC.

#### **1.3.2 Desmoldante.**

Dependiendo de la textura y la materialidad del encofrado se necesitará un desmoldante que evite la adherencia del hormigón en el encofrado.

En situaciones en las que el hormigón vaya a ser sometido a procesos de recubrimiento no hay mayor problema con el desmoldante, sin embargo, al tratarse de hormigones que serán visibles se debe tener cuidado en el tipo de encofrado y desmoldante a utilizar.

Los moldes que utilizaremos son contruidos con tuvo PVC. Además de un desmoldante fabricado a base de vaselina simple disuelta (Castro Guiachetti, 2005).

### **1.3.3 Preparación de la mezcla.**

Generalmente las hormigoneras recomiendan colocar primero el ripio junto con el cemento y un 50% de agua, mezclarlos por un lapso de unos minutos, seguidamente colocar la arena y el resto de agua, sin embargo por la cantidad de material que se utiliza y la adición de pigmento, se coloca la arena junto con el cemento y el pigmento para mezclar en seco, posteriormente la grava y el agua para proceder a mezclarlos por el lapso de 4 minutos.

El amasado influye de gran manera en el resultado final del hormigón, es importante que las distintas amasadas sean iguales incluyendo el orden de los materiales y porcentaje de los pigmentos.

Es recomendable en el caso de los hormigones coloreados aumentar la duración de amasado más allá del tiempo normalmente requerido para un hormigón normal, para que el pigmento este completamente disuelto y mejore la tonalidad del color.

Después de precisar la dosificación del pigmento, es indispensable tener en cuenta ciertas pautas en el proceso de amado para lograr un producto homogéneo.

1. Hacer una pre mezcla seca de los áridos finos y cemento
2. Añadir pigmento
3. añadir árido grueso
4. Añadir el agua, una vez ubicado en la obra
5. Realizar un amasado final. (Castro, 2005)

### **1.3.4 Vibrado.**

Durante la mezcla de los materiales y el vaciado en los moldes se incorpora aire en el hormigón en forma de burbujas, deben ser eliminadas al máximo pues ello garantiza la resistencia y durabilidad.

Este aire incorporado se consigue eliminar con la compresión del material o la vibración, permitiendo que la masa sea uniforme; en el caso del hormigón coloreado es una buena vibración, ayudando a mejorar el acabado final del mismo. Sin embargo, un exceso de vibrado puede producir un exceso de lechada que finalmente puede manchar la superficie de los elementos construidos.

### **1.3.5 Fraguado.**

En condiciones normales un hormigón comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado transcurridas 10 o 12 horas para luego pasar a retirar de los moldes. Normalmente los elementos son fabricados in situ, por lo tanto, en nuestro medio no tendrán ningún tipo de variación de temperatura que afecte la resistencia del hormigón.

### **1.3.6 Curado.**

El curado del hormigón es definido por el ACI, como “El proceso de mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto durante la hidratación de los materiales cementantes, de manera que se desarrollen en el concreto las propiedades deseadas”.

El curado es indispensable para tener un hormigón de buena calidad más aún si hablamos de hormigón coloreado.

Cuando se combinan cemento y agua se produce un proceso químico denominado hidratación, el cual requiere una cantidad mínima de agua que evite la contracción de la pasta de cemento a una edad en la que aún es muy débil, esta contracción se traduce en la presencia de fisuras por retracción de secado.

La pérdida de agua se denomina tasa de evaporación, esta aumenta dependiendo de la temperatura del hormigón, la baja humedad y temperatura del ambiente.

## 1.4 Materia prima para elaboración del pigmento (Tierra)

### 1.4.1 Reseña histórica

El lenguaje cromático de la arquitectura varía a lo largo de la historia y su estudio refleja parte de la identidad de un lugar reflejado en la cotidianidad. El uso del color en las etapas históricas permite vivir una realidad, características básicas de la arquitectura vernácula (Rosales & Salazar, 2017).

Las diferentes culturas asentadas en el lugar, pueden dar un primer acercamiento al uso de materiales e influencia del color en la arquitectura del cantón y sus alrededores.

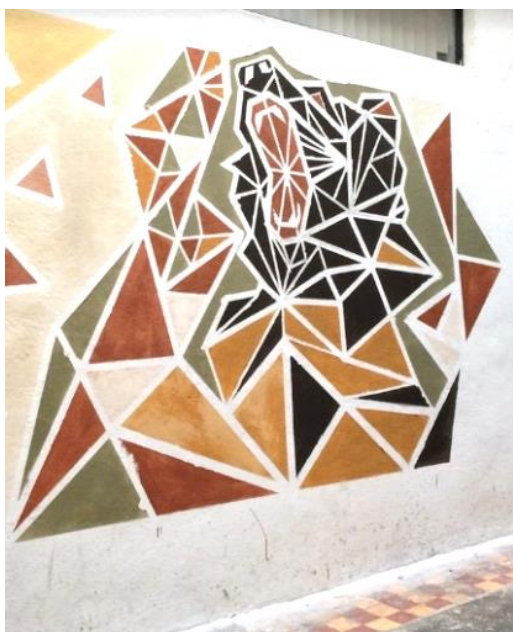
Según González Suárez, habla sobre varias exposiciones sobre el uso del color en las culturas ecuatorianas antes de la llegada de los incas, refiriéndose también al uso de piedrecillas de varios colores como un método de escritura propia de los Shyris de Quito. De igual manera se menciona el uso de un recubrimiento de estuco de color rojizo en las paredes interiores de Ingapirca (complejo arqueológico Inca Cañarí, ubicado en la provincia del Cañar), manteniéndose algunos testigos hasta la fecha de publicación del artículo de González Suárez en 1878. En la actualidad ya no existe el barro de la tierra utilizada como revestimiento mencionada.

Según Jaime Idrovo, reconoce que a través de las excavaciones arqueológicas realizadas en los sitios de Dumapara y Uduzhupa, lugares que están situados en la misma línea del Qapac Ñan, cerca del actual cantón Nabón que:

Los muros manifiestan que nunca han tenido cubierta: están contruidos de piedra tosca, unidas por medio de un mortero o mezcla durísima de color rojo muy oscuro. Los muros se conservan en muy buen estado, y tienen dos metros poco más o menos de elevación. El único punto cubierto parece haber sido el aposento interior. (Idrovo, 2015)

El cantón Oña se caracteriza por su arquitectura vernácula, utilizando los colores en las fachadas por gusto de los propietarios manteniendo el aspecto de la fachada en tierra cruda como en otras edificaciones se utilizaba tierra de colores terrosos y pasteles. Teniendo como materia prima el color de la tierra.

Teniendo como experiencia vivida un taller sobre pintura de tierra, tuvimos la oportunidad de trabajar con pintura hecha a base de tierra diluida con agua y cola blanca, teniendo una gran capacidad de pigmentación y generando colores muy claros.



*Fotografías 2: Pintura Mural*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografías 3: Pintura Mural*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

En las fotografías observamos que son colores vivos demostrando que la tierra tiene un gran nivel de pigmentación.

#### **1.4.2 Estudio de caso similar.**

Se realiza un análisis de la tesis “LA TIERRA DE OÑA COLOR, TÉCNICA Y PATRIMONIO”, la cual tiene como objetivo realizar un análisis de las técnicas constructivas tradicionales de pintura en base a tierras de color.

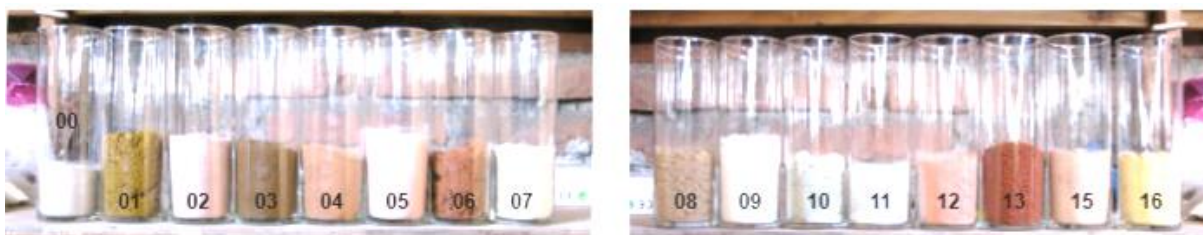
Según Priscila Rosales y Yajaira Salazar, estudiantes de la Universidad de Cuenca, realizaron un estudio de la tierra de colores identificando características de la tierra para la elaboración de pintura la cual se utilizó en la arquitectura del cantón Oña.

El análisis consistió en la recolección de 16 tipos de tierras de colores diferentes, realizando un ensayo de sedimentación para ver la composición de cada una.

El ensayo consiste en definir la granulometría del suelo, en este caso para las partículas inorgánicas, limos y arcilla. Se realiza tomando una muestra de suelo en agua donde se lleva a cabo un proceso de disgregación de partículas determinando el tipo según su velocidad de sedimentación.

Sabiendo que los pigmentos que vamos a utilizar serán mezclados con cemento y agregados fino y grueso, optamos por utilizar la tierra con colores más fuertes y así resaltar en el hormigón.

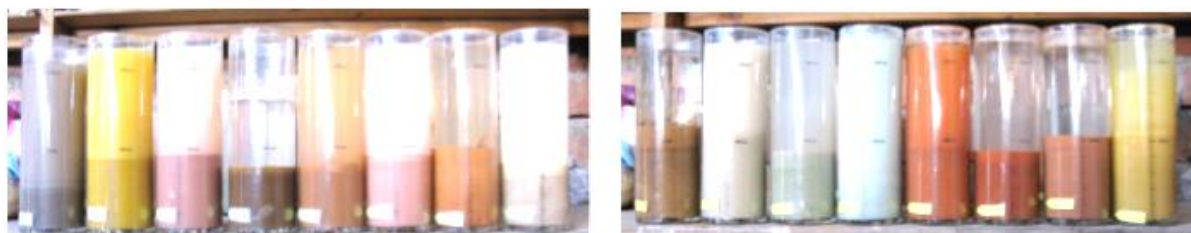
En la siguiente fotografía observamos los 16 tipos de tierras utilizadas colocadas en tubos de ensayo donde se coloca agua y se procede a agitar para que la tierra quede esparcida y comience el proceso de sedimentación.



Fotografías 4: Tubos de sedimentación con 454 gramos de tierra

Fuente: Priscila Rosales, Yajaira Salazar

Se observa en la siguiente fotografía a los seis días de reposo, la diferencia de velocidad de sedimentación de cada muestra y proporciones de sus componentes, tomando en cuenta que se sedimentan en el orden de arcilla, limos y partículas inorgánicas orden tomado desde la parte inferior.



Fotografías 5: Tubos de sedimentación a los 6 días de realización del ensayo.  
Fuente: Priscila Rosales, Yajaira Salazar

Tomando en cuenta que el pigmento se encuentra en la arcilla, es necesario determinar las muestras con mayor cantidad de la misma. Observando las muestras determinan que las que mayor cantidad de arcilla son: 01, 03, 06, 10, 13, 16 (Rosales & Salazar, 2017)

Según el caso analizado anteriormente se identifica cual es la tierra con mayor cantidad de arcilla y con mayor capacidad de pigmentación, para realizar el hormigón pigmentado se requiere utilizar colores vivos optando por utilizar la tierra amarilla número 01 y la roja número 13. Lo cual concuerda con un estudio realizado por la Universidad del Azuay, sobre la composición dan como resultado que gran parte de las tierras de colores contienen: arena, arcilla, caliza, óxidos de hierro y sales. Las de mayor grado de pigmentación son las de color amarillo y rojo.

Tabla 3 Clasificación de la tierra.

Arena	Arcilla	Caliza	Óxidos de hierro	Sales
Procede de la meteorización de la roca madre, la sálica es la más típica.	Proceden de silicatos descompuestos de la roca madre, Son principalmente una mezcla de silicatos de aluminio	Suele presentarse en forma de arenas, limos o unidas a las arcillas margosas. Tienen la capacidad de disolver se en el agua, las cuales	Los óxidos e hidróxidos de hierro (oligisto y limonita) se producen como resultado de la meteorización de la mica negra (biotita) y otros silicatos	Las sales, tales como nitratos, fosfatos, sulfatos y cloruros proceden de la descomposición de la materia orgánica, o mediante la

	hidratados, los cuales pueden incorporar además hierro, magnesio y potasio. La más típica es la caolinita (sílice, alúmina y agua).	arrastran en forma de bicarbonato cálcico; a su vez, los ácidos nítrico y fosfórico originan nitratos y fosfatos cálcicos	(anfíboles y piroxenos). Estos elementos son los causantes de que las tierras presenten colores rojos y amarillos.	acción bacteriana que fija el nitrógeno de la atmósfera
--	---	---	--	---

Fuente: Universidad del Azuay

### 1.4.3 Extracción.

La actividad incluye la extracción directa de pigmentos naturales (tierra) proveniente del cantón de San Felipe de Oña y la parroquia de Susudel, en las coordenadas correspondientes al número 01 y 13, basándonos en el siguiente cuadro de coordenadas.

Imagen 2 Coordenadas de la tierra de color

MUESTRAS DE TIERRAS EXTRAÍDAS



Tabla 2.1. COORDENADAS DE UBICACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

MUESTRA	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
00	704985,6062	9617396,9557	3017
01	718019,3183	9643751,3391	3359
02	703285,9742	9631847,8772	3071
03	702553,9913	9630697,8663	3014
04	702544,1151	9630696,9618	3016
05	700797,1064	9626580,1246	2966
06	701187,8915	9626385,8709	2904
07	701245,0513	9626410,3374	2899
08	701965,0116	9625764,1876	2832
09	696982,0715	9621742,1976	2790
10	696097,8429	9621007,1923	2715
11	702380,8480	9615740,4776	2718
12	702323,0000	9612739,0000	2775
13	708354,0000	9614147,0000	2660
15	701920,0000	9625753,0000	2825
16	700660,0000	9628132,0000	3023

Elaboración: Autoras Fuente: Proyecto Tierras de Colores Año: 2016

Fuente: Priscila Rosales, Yajaira Salazar

La extracción se la realizo de una forma manual utilizando palas y picos obteniendo la mayor cantidad de tierra posible para realizar el proceso para fabricar el pigmento.



*Fotografías 6: Extracción  
tierra amarilla  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografías 7: Extracción  
tierra roja  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*

---

## **2 Capítulo 2: Experimentación – Dosificación de Hormigón Pigmentado**

---

La fabricación del pigmento se realiza de acuerdo a las distintas normas y recomendaciones investigadas en el capítulo número 1, la tierra extraída para ser utilizada como pigmento debe pasar un distinto proceso que describimos a continuación.

### **2.1 Proceso para elaborar el pigmento.**

#### **2.1.1 Secado inicial.**

Para que la fabricación del pigmento se facilite debemos tener tierra totalmente seca, se agiliza el proceso realizando un secado artesanal en fuego sobre un recipiente de metal alrededor de 20 minutos, tratando de generar una granulometría similar.



*Fotografías 8: Tierra amarilla*

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografías 9: Tierra roja.*

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*

#### **2.1.2 Primera calcinación.**

Luego del secado artesanal se obtiene una tierra manejable y con granulometría similar en un estado parcialmente seco. Se realiza la calcinación utilizando la estufa a una temperatura de 250°C por un tiempo de dos horas con el objetivo de obtener una tierra completamente seca liberándola de impurezas, facilitando el siguiente proceso de molido.



*Fotografías 10: Estufa  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografías 11: Tierra  
calcificada amarilla  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografías 12: Tierra  
calcificada roja  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*

### **2.1.3 Reducción de tamaño (moler).**

Al obtener una tierra totalmente seca luego de haber sido calcificada, se procede a reducir su tamaño. Tomando en cuenta que son pruebas a pequeña escala, molem de una forma artesanal reduciendo al máximo su tamaño inicial. El fin de moler la tierra es para luego tamizarla en un cierto rango de tamices separando la materia inservible del pigmento especialmente los limos.



*Fotografías 13: Tierra molida  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografías 14: Tierra molida  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*

#### 2.1.4 Tamizado.

Una vez molida la tierra se tamiza con la finalidad de obtener el pigmento en su tamaño recomendado. Según Castro Guiachetti, la tierra debe tener un tamaño entre 100 y 150 micras para ser utilizada como pigmento (pág. 4). Se realiza el tamizado en el Laboratorio de Suelos de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; se utiliza tamices en un rango de números de: 30 (600 micras), 40(450 micras), 50(300 micras), 60(250 micras), y 100(150 micras). Tomando en cuenta que se utiliza como pigmento el material pasante del tamiz # 100 que equivale a 150 micras.

Se coloca 500 gramos de tierra para tamizarla alrededor de 2 minutos.



*Fotografías 15: Tamices  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



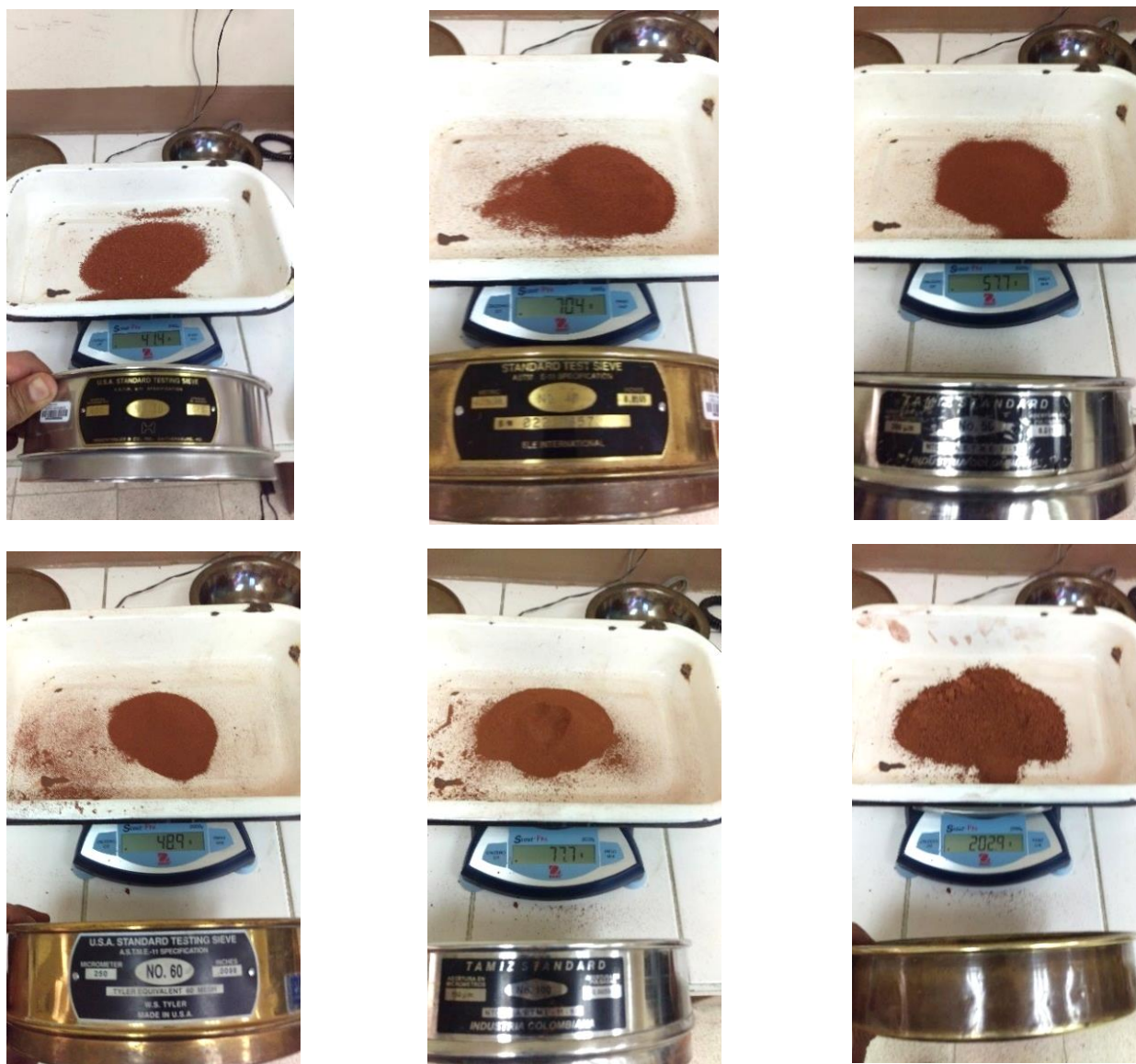
*Fotografías 16: Tierra roja  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografías 17: Tierra amarilla  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*

Una vez terminado de tamizar, pesamos la cantidad que queda en cada uno, tomando en cuenta que utilizaremos el material pasante del tamiz # 100 que es el recomendado para utilizar como pigmento (pág. 16).

Tierra roja.



Fotografías 18: Peso acumulado de tierra roja en cada tamiz.

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Tabla 4 Peso retenido del pigmento.

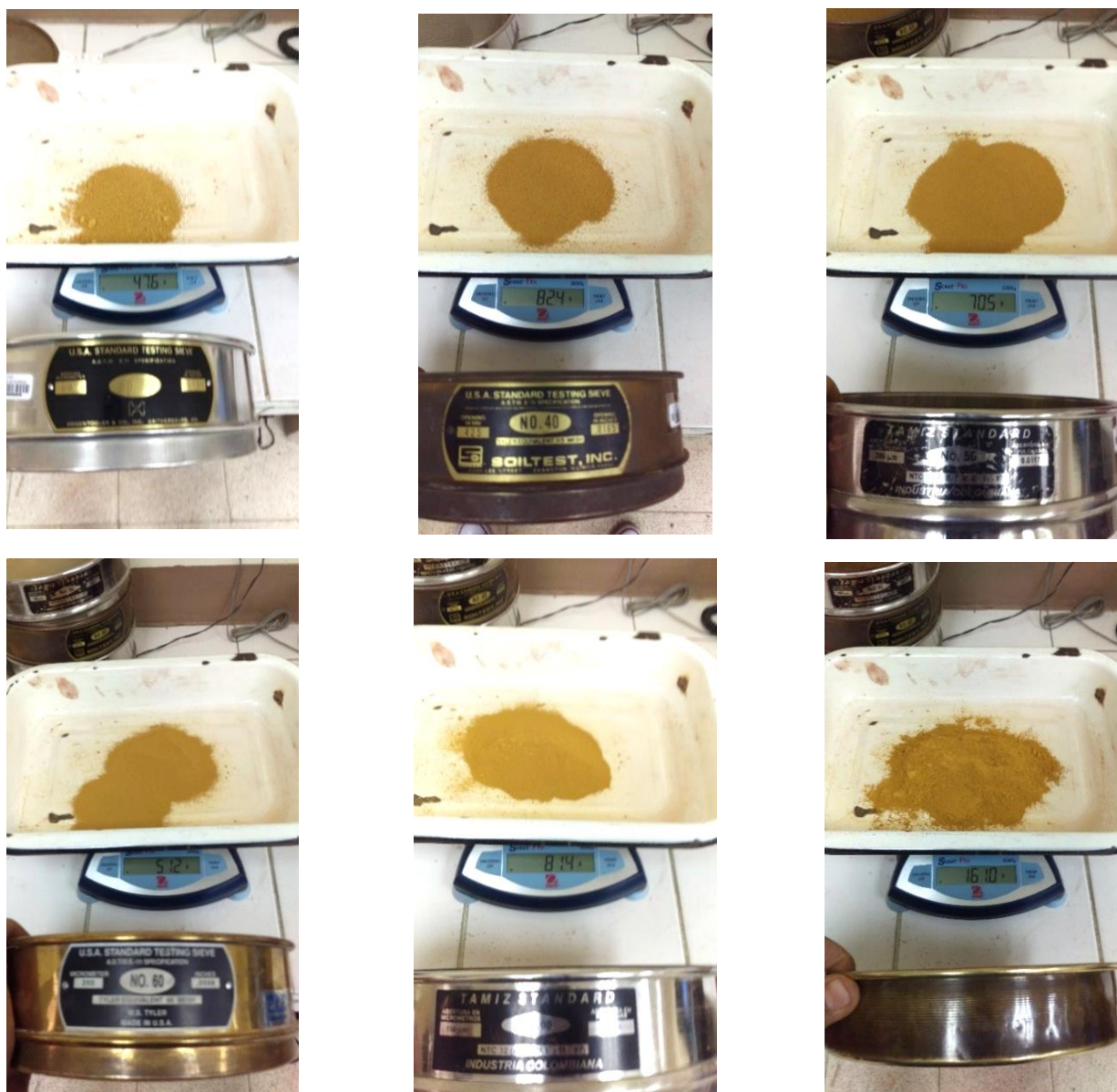
Tierra	Total	Tamiz 30	Tamiz 40	Tamiz 50	Tamiz 60	Tamiz 100	Base
Peso retenido	499 g	41.4 g	70.4 g	57.7 g	48.9 g	77.7 g	202.9 g
%	100%	8.28 %	14.08 %	11.58 %	9.88 %	15.54 %	40.5 %

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

De los 500 g de tierra tamizada obtenemos 202.9 g de material pasante del tamiz #100, que equivale a un 40.5%, material que utilizamos para calcinarlo por segunda vez y utilizarlo como pigmento. El material pasante del tamiz # 60 que equivale al 15.54% del peso total podemos moler y tamizarlo una vez más para obtener mayor cantidad de pigmento, sin embargo, el material pasante del tamiz # 50 e inferiores, se recomienda no reutilizarlo porque en su mayoría contienen impurezas.

#### Tierra amarilla



Fotografías 19: Peso acumulado de tierra amarilla en tamices.

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Tabla 5 Peso retenido del pigmento.

Tierra	Total	Tamiz 30	Tamiz 40	Tamiz 50	Tamiz 60	Tamiz 100	Base
Peso retenido	498 g	47.6 g	82.4 g	70.5 g	51.2 g	81.4 g	161.0 g
%	100%	9.52%	16.48%	14.1%	10.24%	16.28%	32.2%

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Se realiza el mismo procedimiento anterior obteniendo 161 g de material pasante al tamiz #100, que equivalen al 32% del total tamizado, material que se utiliza ya como pigmento. De igual manera se puede reutilizar la materia pasante del tamiz # 60.

### 2.1.5 Segunda calcinación.

Una vez ya obtenida la tierra (pigmento) en su granulometría recomendada de 100 a 150 micras, se calcina una vez más para garantizar que esté libre de impurezas y totalmente seca. Dejamos en la estufa por un tiempo de dos horas a una temperatura de 250° C.



Fotografías 20: Tierra amarilla calcinada

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografías 21: Tierra roja calcinada

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

## 2.2 Ensayo químico al pigmento utilizado

Si bien a la tierra de color, tiene un proceso de secado, molido, tamizado, hasta obtener un material que cumple con la granulometría recomendada de un pigmento, existe una normativa que proporciona distintos ensayos químicos que debe cumplir el material verificando si es apto para utilizarlo como colorante en el hormigón.

Ya que en nuestro país no contamos con una norma vigente sobre fabricación y utilización de pigmentos en el hormigón, nos basamos en la ASTM C125 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) donde regula el tipo y métodos de ensayos que se deben realizar a los pigmentos para utilizar como colorantes en el hormigón.

Los ensayos a realizar son los siguientes:

Humectación con agua – El pigmento debe tener la capacidad de humectación con agua.

Resistencia a los álcalis – El pigmento tratado con hidróxido de sodio no debe mostrar un cambio significativo de color.

La finalidad de realizar los siguientes ensayos es verificar que la tierra después de pasar por un proceso es factible mezclarla con hormigón sin que afecte sus características.

### 2.2.1 Humectación con agua.

El pigmento debe tener la capacidad de humectación con el agua. Para lo cual se aplica el siguiente ensayo donde se verifica la reacción que tienen los pigmentos de color al contacto con el agua, se basa en la ASTM C125 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales), el ensayo se lo realiza de una manera visual.

Se pesa 10 gramos de pigmento de cada color, se coloca 150 ML de agua ionizada y se procede a mover con un agitador de vidrio. Si el pigmento se mezcla inmediatamente es humectante con el agua, sin embargo si se demora en mezclar y se forma una capa superficial no es humectante.



Fotografías 22: 10 gramos de tierra amarilla

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografías 23: 10 gramos de tierra roja

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografías 24: 150 ml de agua ionizada

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografías 25: Tierra amarilla con agua ionizada

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Una vez terminado el ensayo observamos en las fotografías que los pigmentos si son humectantes con el agua, en el caso del pigmento rojo se disolvió inmediatamente con el agua ionizada sin generar ningún tipo de capa superficial, de igual manera el pigmento amarillo se disolvió inmediatamente sin embargo el pigmento, genera una mínima cantidad de polvo seco en la superficie.



Fotografías 26: Resultado de ensayo de humectación.

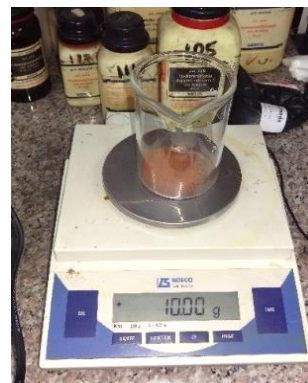
Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Al realizar el primer ensayo obtenemos buenos resultados al verificar que es un pigmento humectante y se disuelve inmediatamente al contacto con el agua, sin generar ningún tipo de masa que a futuro puede afectar a la resistencia del hormigón.

### 2.2.2 Resistencia a los álcalis

Para realizar el ensayo se basa en la ASTM C125 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales), el ensayo se lo realiza de una manera visual, el cual consiste en verificar si los pigmentos son resistentes a los álcalis o tienen un cambio significativo del color con el contacto del hidróxido de sodio. El pigmento tratado con hidróxido de sodio no debe mostrar un cambio significativo de color.



Fotografías 27: 10 gramos (pigmento rojo)

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Sé utilizan dos recipientes con capacidad de 250 ml, se agrega una porción de 10 g, del pigmento en cada uno de los vasos que contengan 150 ml, de agua des ionizada. Se mueven ambos frascos con una espátula hasta obtener una mezcla homogénea, agregamos 10 ml, de solución de hidróxido de sodio al 10% por masa a uno de los vasos agitando levemente una vez más, luego dejamos reposar por 1 hora.



Fotografía 28: Pigmento mezclado con 150 ml de agua des ionizada

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía 29: pigmento mezclado con 150 ml de agua des ionizada y 10 ml de hidróxido de sodio.

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Pasado el tiempo de reposo se remezcla y se filtran en embudos Buchner por separado, luego se lava el filtro con tres lavados de recambio con agua caliente des ionizada Se seca en papel filtro en un horno a  $110 \pm 3^\circ\text{C}$  por  $4 \pm 0.5$  h, una vez secado se retira del horno colocando en morteros para pulverizar con una espátula, formando 2 pilas adyacentes del pigmento

comparando los colores del pigmento de control y tratado con hidróxido de sodio. El procedimiento se realiza con los 2 colores de pigmento.



Fotografía 30: Filtrado  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía 31: Primer lavado con agua des ionizada caliente.  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía 32: Tercer lavado con agua des ionizada caliente.  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía 33: Estufa  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía 34: Pigmento amarillo pulverizado  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía 35: Pigmento rojo pulverizado  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán

En las siguientes fotografías observamos que luego de realizar el ensayo de resistencia a los álcalis tenemos como resultado que no presentan cambios significativos del color del pigmento, manteniendo el color original.



Fotografía 36: Comparación de pigmentos de color rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía 37: Comparación de pigmentos de color amarillo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán

Luego de realizar los dos ensayos anteriores, tenemos como resultado que la tierra calcinada sirve como pigmento cumpliendo la norma ASTM. Al obtener buenos resultados procedemos a utilizar el pigmento en la mezcla con los demás áridos para formar el hormigón.

### **2.3 Diseño de hormigón**

Para la elaboración del hormigón pigmentado se trabajó con materiales de la zona de El Descanso. Considerando que el hormigón pigmentado se utilizara en camineras y elementos estructurales se logra obtener una resistencia de 210 Kg. /cm<sup>2</sup>.

Para realizar al análisis de los áridos con los cuales se trabajó, se siguió las recomendaciones establecidas en la NTE INEN 695:10 ÁRIDOS MUESTREO, donde se establece los procedimientos para obtener las muestras de los áridos finos y gruesos. Es necesario tomar las mínimas precauciones para conseguir que las muestras tomadas reflejen la naturaleza y las condiciones que presentan los materiales.

Se realizó el análisis de acuerdo a lo que establece la NTE INEN 2566 ÁRIDOS. REDUCCIÓN

### **2.4 Primer diseño.**

Se realiza un primer diseño que consta de triturado de 3/8, conocido en el mercado como chispa por su granulometría pequeña. Además de utilizar arena gruesa.

Se tomó una muestra de la arena seleccionada y se procedió a calcular el contenido de agua obteniendo un valor medio de 4,50.

Del análisis granulométrico se definió un módulo de finura de 2,48.

Tabla 6 Análisis granulométrico de la arena.

<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO EN ARQUITECTURA (UCACUE)
<b>SOLICITADO POR:</b>	HORMIGÓN PIGMENTADO
<b>CONTRATISTA:</b>	SR. PAÚL GUZMÁN
<b>MATERIAL:</b>	ARENA
<b>POSEDENCIA:</b>	PAUTE
<b>FECHA:</b>	ABRIL 11 DEL 2018

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

CONTENIDO DE AGUAS	PESO HUM + CAPS	PESO SECO + CAPS	PESO CAPSULA	CONTEN DE AGUA	VALOR MEDIO
NORMAS:	140,25	136,23	46,70	4,49	4,50
ASTM D-2216	140,87	136,78	46,10	4,51	

PESO ANTES DEL LAVADO:	500 Gr.	P. INICIAL =	100 Gr.
PESO SECO:	478,467798 Gr.		

TAMIZ		PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
No.	mm.				
1"	25,400	0,0	0	100	
3/4"	19,050	0,0	0	100	
1/2"	12,700	0,0	0	100	
3/8"	9,525	0,0	0	100	
No. 4	4,763	0,0	0	100	
No. 8	2,381	29,4	6	94	
No. 16	1,191	112,5	24	76	
No. 30	0,595	244,7	51	49	
No. 50	0,298	369,2	77	23	
No. 100	0,149	432,9	90	10	
No. 200	0,074	449,8	94	6	
PASA EL No. 200		28,7			
<b>TOTAL</b>		478,5			

MODULO DE FINURA =				2,48
--------------------	--	--	--	------

Fuente: Laboratorio de suelo R y R

Tabla 7 Análisis granulométrico del triturado.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

TAMIZ		PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
No.	mm.				
3"	76,200				
2 1/2"	63,500	0			
2"	50,800	0	0	100	
1 1/2"	38,100	0	0	100	
1"	25,400	0	0	100	
3/4"	19,050	0	0	100	
1/2"	12,700	40	1	99	
3/8"	9,525	431	6	94	
No. 4	4,763	6.420	89	11	
PASA EL No. 4		825			
<b>TOTAL</b>					
PESO TOTAL ANTES ENSAYO		7.245			
PESO TOTAL DESPUES ENSAYO		7.245			

Fuente: Laboratorio de suelo R y R

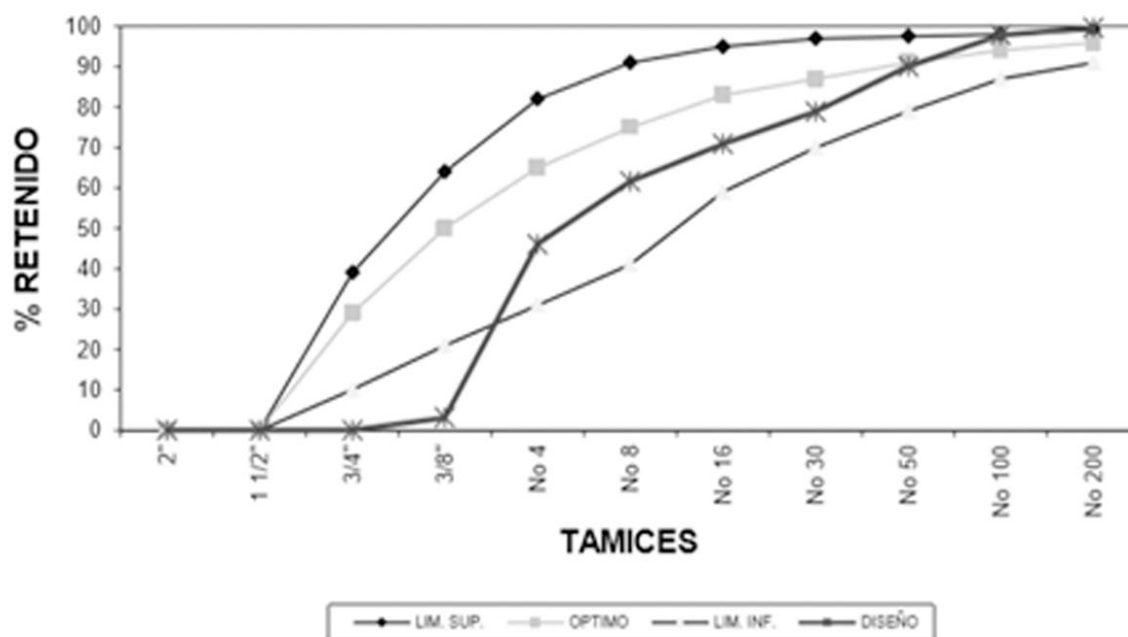
Tabla 8 Calculo del diseño.

CÁLCULO DEL DISEÑO										
TAMICES	LIM. SUP.	L. MEDIO	LIM. INF.	GRAVA	ARENA	% x GRAVA	% x ARENA	SUMAS		
2"	51	0	0	100	100	52	48	100	0	
1 1/2"	40	0	0	100	100	52	48	100	0	
3/4"	20	39	29	100	100	52	48	100	0	
3/8"	10	64	50	21	94	49	48	97	3	
No 4	5	82	65	11	100	6	48	54	46	
No 8	2,500	91	75	41	80	0	38	38	62	
No 16	1,250	95	83	59	61	0	29	29	71	
No 30	0,625	97	87	70	44	0	21	21	79	
No 50	0,313	97,5	91	79	21	0	10	10	90	
No 100	0,156	98	94	87	4	0	2	2	98	
No 200	0,078	99	96	91	1	0	0	0	100	

PE SO VOLUMETRICO:	GRAVA	1481,8	ARENA	1585,8
	13,235		14,181	
	13,250		14,159	
MEDIA:	13,246	13,244	14,173	14,171
DIAMETRO:	0,255		0,255	
ALTURA:	0,175		0,175	
VOLUMEN:	0,009		0,009	

PE SO ESPECIFICO:	2,646	2,648	
Ps en aire = B	5000	P.Pic+W = B	1205,8
Psss en agua = C	3110	P.Pic+W+Ps = C	1516,8

### CURVA DISEÑO DE HORMIGÓN



Fuente: Laboratorio de suelo R y R

Tabla 9 Diseño de hormigón.

Dosificación por metro cúbico	
Cemento	Portland tipo 1
Relación A/C	0.5
% de grava	52%
% de arena	48%
Asentamiento	8+-2cm
Cemento	352
Agua	176
Grava	978
Arena	902
Suma de componentes	2406 kg

Fuente: Laboratorio de suelo R y R

Se ha definido en el diseño una relación de a/c de 0,5 en tanto las proporciones de grava y arena son 52% y 48% respectivamente.

El cemento calculado por metro cúbico es de 360 Kg, valor base para la cantidad de pigmento a utilizar.

Los cilindros a elaborar para los ensayos son de 14cm de altura y 7 cm de diámetro, se utilizó este tamaño de molde ya que el agregado es inferior a 3/8.

Elaboración de las probetas.

Por la cantidad de mezcla que se debe preparar es necesario que el peso de cada elemento sea exacto para no alterar en las características del hormigón.

Se realizó el ensayo de asentamiento (cono de Abrams) tomando una muestra y colocando en el cono formando tres capas consecutivas debidamente compactadas de una varilla con una punta semiesférica de acuerdo a lo que establece la NTE INEN 1576, considerando que el asentamiento obtenido fue de 4 cm (consistencia plastica), estando dentro de los valores de diseño.



*Fotografías 38: Ensayo de asentamiento*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografías 39: Ensayo de asentamiento*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

Antes de realizar las probetas se decidió aplicar un aditivo plastificante para ver la reacción que tiene con los pigmentos. Aplicando en un 2.5% en relación al peso del cemento se obtiene como respuesta un blanqueamiento superficial de las probetas, en base al efecto negativo que causa el plastificante se decide no utilizarlo.



*Fotografía 40: Plastificante*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía 42: Cilindro con pigmento rojo*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía 41: Cilindro con 2.5 % de plastificante en relación al cemento*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl*

#### 2.4.1 Dosificación y elaboración de probetas.

Se realizó el cálculo del volumen que debe utilizar, obteniendo 0.00068 m<sup>3</sup> para 3 probetas, donde relacionamos el volumen obtenido con el volumen del diseño para 1 m<sup>3</sup>, para obtener el peso de los distintos materiales. Las probetas que se utilizan son de 7cm de diámetro y 14 de altura.

Tabla 10 Dosificación para cilindros con triturado de 3/8.

	Área	Grava (ripio)	Cemento	Agua	Pigmento	
1 m <sup>3</sup>	902 kg	978 kg	352 kg	176 lt	6 %	8%
0.00068 m <sup>3</sup>	0.613	0.665	0.239	0.119	0.014	0.019

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

En la tabla anterior se especifica el peso de cada uno de los materiales que necesitamos para las probetas, por la pequeña cantidad de material, se utiliza una balanza digital para tener mayor exactitud en los pesos.

Es recomendable por diferentes concreteras para la elaboración del hormigón, colocar primero la grava con cemento, mezclarlas colocando el agua parcialmente para luego agregar la arena, sin embargo, en la fabricación de cilindros de hormigón pigmentado se realiza el diseño de la mezcla según a la recomendación del autor (Castro, 2005). (Ver pág. 13)

1. Hacer una pre mezcla seca de la arena y cemento.
2. Añadir pigmento y mezclar.
3. Añadir árido grueso.
4. Añadir el agua.
5. Realizar un amasado final.

Se utiliza como desmoldante vaselina diluida para que se facilite el desencofrado de las probetas.

Se pesa los distintos materiales, la mezcla se realizará en una bandeja pequeña, el motivo que al ser cantidades pequeñas al utilizar la concretera se desperdiciaría material.

Se coloca 0.613 kg de arena con 0.293 kg de cemento donde se mezclan, se agrega el pigmento en el porcentaje que se utilizara y se mezclan por unos minutos.

Seguidamente se coloca 0.665 de grava y de igual manera se mezcla añadiendo el agua por cuatro minutos.

Al fabricar las probetas, colocamos tres capas de hormigón

varillando, 16 veces en cada capa, una vez fraguado el hormigón resantíamos con una espátula dejando la superficie lo más uniforme posible.



*Fotografía 43: Aplicación de vaselina*

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía 44: Pesado del agregado de 3/8*

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*

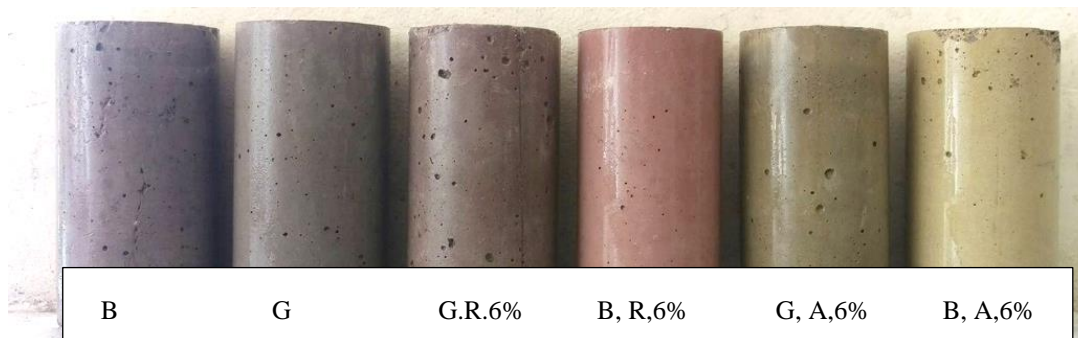


*Fotografía 45: Varillado de probetas*

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*

Se desencofro las probetas después de 24 horas para luego sumergirlas en agua, realizado el curado de las mismas, es necesario limpiarlas por la vaselina que se utilizó como desmoldante.



Fotografía 46: Cilindros desencofradas a las 24 horas

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

En la fotografía se observa que el hormigón tiene un buen grado de pigmentación, sobresaliendo con el cemento blanco, además de obtener aristas vivas y poca porosidad.

Para garantizar una resistencia total a los 28 días, es necesario llevar un control a los 7 días, sometiéndolas al ensayo de compresión.

#### 2.4.2 Resistencia a los 7 días de edad.

Se realiza las pruebas de compresión a la edad de siete días en los laboratorios de suelos de la Unidad Académica de Ingeniería Industria y Construcción.



Fotografía 47: Cilindros de hormigón con cemento gris.

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía 48: Resistencia en kilo newtons

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

En las fotografías se observa cómo se realiza la prueba de compresión simple, en una prensa aplicando carga hasta llegar a la rotura. El equipo para realizar la prueba de compresión nos da el resultado de la carga de rotura en kilo newtons teniendo que transformarla a kg.

La resistencia se obtiene al dividir la carga máxima en kilogramos sobre el área de contacto en  $\text{cm}^2$ . Donde tenemos que transformar los kilos newtons a  $\text{kg}/\text{cm}^2$  teniendo la relación de:

$$1 \text{ KN} = 101.97 \text{ kg}$$

$$\text{Formula del área de contacto } ac = \frac{(d)^2 * \pi}{4}$$

Tabla 11 Calculo de resistencia a los 7 días.

ESPECIFICACIONES			Carga máxima en KN	Diámetro	Edad	Esfuerzo requerido ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	% fatiga de requerida
Color del cemento	Color del pigmento	% del pigmento					
Gris		0%	32.472 KN	7cm	7 días	86.04 $\text{Kg}/\text{cm}^2$	41 %
Blanco		0%	33.944 KN	7 cm	7 días	89.94 $\text{Kg}/\text{cm}^2$	42 %
Gris	Amarillo	6%	29.805 KN	7 cm	7 días	79.98 $\text{Kg}/\text{cm}^2$	38 %
Blanco	Gris	8%	29.133 KN	7 cm	7 días	77.20 $\text{Kg}/\text{cm}^2$	36 %
Gris	Amarillo	8%	29.792 KN	7 cm	7 días	78.94 $\text{Kg}/\text{cm}^2$	37 %
Blanco	Gris	6%	30.389 KN	7 cm	7 días	80.52 $\text{Kg}/\text{cm}^2$	38 %

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Los valores estimativos de la resistencia a compresión a la edad de “j” días en relación con la resistencia a 28 días.

Edad del hormigón (días)	3	7	28	90	360
Hormigones de endurecimiento normal	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Hormigones de endurecimiento rápido	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

Es decir, a los 3 días su resistencia será del orden del 40% de la que tendrá a los 28 días, a los 7 días, del 65%, etc. (Valcuende & Serrano, 2011)

Para garantizar la resistencia del hormigón a los 28 días, debe cumplir el 65% a los 7 días. Sin embargo, las pruebas realizadas dan como resultado alrededor de un 40%.

Según recomendaciones del Arquitecto Pedro Angumba, el hormigón de esas características de resistencia debe contener mayor agregado grueso (# ¾) por lo que se procedió a realizar un nuevo diseño de hormigón con triturado de # ¾.

Es necesario realizar un segundo diseño ya que la resistencia máxima del primer diseño con triturado 3/8, proporciona una resistencia total a los 28 días de 170 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente quedando fuera de la resistencia esperada de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.5 Segundo diseño.

Se realizó un segundo diseño que consta de triturado de ¾, utilizando la arena de las mismas características del primer diseño.

Se tomó una muestra de la arena seleccionada y se procedió a calcular el contenido de agua obteniendo un valor medio de 4,50.

Del análisis granulométrico se definió un módulo de finura de 2,48.

Tabla 12 Análisis granulométrico de la arena.

<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO EN ARQUITECTURA (UCACUE)				
<b>SOLICITADO POR:</b>	HORMIGÓN PIGMENTADO				
<b>CONTRATISTA:</b>	SR. PAÚL GUZMÁN				
<b>MATERIAL:</b>	ARENA				
<b>POSEDENCIA:</b>	PAUTE				
<b>FECHA:</b>	ABRIL 11 DEL 2018				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
CONTENIDO DE AGUAS	PESO HUM + CAPS	PESO SECO + CAPS	PESO CAPSULA	CONTEN DE AGUA	VALOR MEDIO
NORMAS:	140,25	136,23	46,70	4,49	4,50
ASTM D-2216	140,87	136,78	46,10	4,51	
PESO ANTES DEL LAVADO:	500 Gr.			P. INICIAL =	100 Gr.
PESO SECO:	478,467798 Gr.				
TAMIZ		PESO RETENIDO	%	%	%
No.	mm.	ACUMULADO	RETENIDO	QUE PASA	ESPECIFICADO
1"	25,400	0,0	0	100	
3/4"	19,050	0,0	0	100	
1/2"	12,700	0,0	0	100	
3/8"	9,525	0,0	0	100	
No. 4	4,763	0,0	0	100	
No. 8	2,381	29,4	6	94	
No. 16	1,191	112,5	24	76	
No. 30	0,595	244,7	51	49	
No. 50	0,298	369,2	77	23	
No. 100	0,149	432,9	90	10	
No. 200	0,074	449,8	94	6	
PASA EL No. 200		28,7			
<b>TOTAL</b>		478,5			
MODULO DE FINURA =					2,48

Fuente: Laboratorio de suelo R y R

Tabla 13 Análisis granulométrico del triturado.

<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO EN ARQUITECTURA (UCACUE)				
<b>SOLICITADO POR:</b>	HORMIGÓN PIGMENTADO				
<b>CONTRATISTA:</b>	SR. PAÚL GUZMÁN				
<b>MATERIAL:</b>	TRITURADO				
<b>POSEDENCIA:</b>	PAUTE				
<b>FECHA:</b>	ABRIL 11 DEL 2018				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ		PESO RETENIDO	%	%	%
No.	mm.	ACUMULADO	RETENIDO	QUE PASA	ESPECIFICADO
3"	76,200				
2 1/2"	63,500	0			
2"	50,800	0	0	100	
1 1/2"	38,100	0	0	100	
1"	25,400	0	0	100	
3/4"	19,050	0	0	100	
1/2"	12,700	5,463	93	7	
3/8"	9,525	5,835	99	1	
No. 4	4,763	5,880	100	0	
PASA EL No. 4		13			
<b>TOTAL</b>					
PESO TOTAL ANTES ENSAYO		5,893			
PESO TOTAL DESPUES ENSAYO		5,893			

Fuente: Laboratorio de suelo R y R

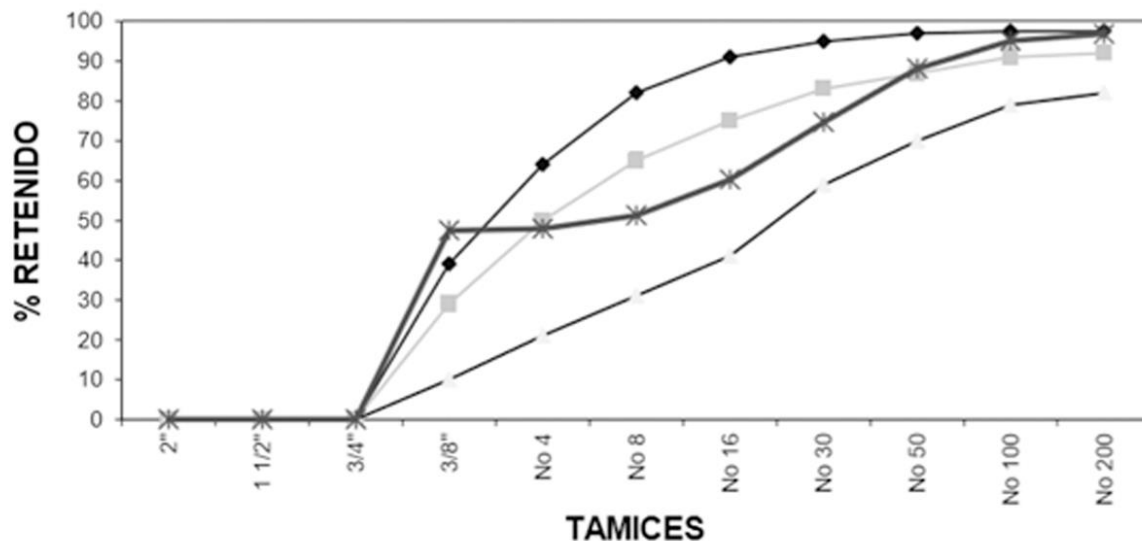
Tabla 14 Cálculo del diseño.

CÁLCULO DEL DISEÑO											
TAMICES	LIM. SUP.	L. MEDIO	LIM. INF.	GRAVA	ARENA	% x GRAVA	% x ARENA	SUMAS			
2"	51	0	0	100	100	48	52	100	0	0	0
1 1/2"	40	0	0	100	100	48	52	100	0	0	0
3/4"	20	0	0	100	100	48	52	100	0	0	0
3/8"	10	39	29	1	100	0	52	52	48	0	0
No 4	5	64	50	0	100	0	52	52	48	0	0
No 8	2,500	62	65	31	94	0	49	49	51	0	0
No 16	1,250	91	75	41	76	0	40	40	60	0	0
No 30	0,625	95	83	59	49	0	25	25	75	0	0
No 50	0,313	97	87	70	23	0	12	12	88	0	0
No 100	0,156	97,5	91	79	10	0	5	5	95	0	0
No 200	0,078	97,5	92	82	6	0	3	3	97	0	0

PESO VOLUMETRICO:	GRAVA	1259,3	ARENA	1359,5
	11,265		12,142	
	11,254		12,145	
<b>MEDIA:</b>	11,245	<b>11,255</b>	12,164	<b>12,150</b>
DIAMETRO:	0,255		0,255	
ALTURA:	0,175		0,175	
VOLUMEN:	0,009		0,009	

PESO ESPECIFICO:	2,641	2,627	
Ps en aire = B	5000	P.Pic+W = B	1205,8
Pss en agua = C	3107	P.Pic+W+Ps = C	1515,5

### CURVA DISEÑO DE HORMIGÓN



Fuente: Laboratorio de suelo R y R

Tabla 15 Cálculo del diseño.

Dosificación por metro cúbico	
Cemento	Portland tipo 1
Relación A/C	0.48
% de grava	62%
% de arena	38%
Asentamiento	8+-2cm
Cemento	360 kg
Agua	173 lt
Grava	1110 kg
Arena	684 kg
Suma de componentes	2327 kg

Fuente: Laboratorio de suelo R y R

Se ha definido en el diseño una relación de a/c de 0,48 en tanto las proporciones de grava y arena son 62% y 38% respectivamente.

El cemento calculado por metro cúbico es de 360 Kg, siendo el valor base para la cantidad de pigmento a utilizar.

Los cilindros a elaborar para los ensayos son de 20 cm de altura y 10 cm de diámetro, se utilizó este tamaño de molde ya que el agregado es inferior a 3/4.

Se realizó el ensayo de asentamiento (cono de Abrams) tomando una muestra y colocando en el cono formando tres capas consecutivas debidamente compactadas de una varilla con una punta semiesférica de acuerdo a lo que establece la NTE INEN 1576, considerando que el asentamiento obtenido fue de 4.5 cm (consistencia plástica), estando dentro de los valores de diseño.

Calculamos el peso de los materiales en base al nuevo diseño.

*Tabla 16 Dosificación para cilindros con triturado de 3/4.*

	Área	Grava	Cemento	Agua	Pigmento	
1 m <sup>3</sup>	684 kg	1110 kg	360 kg	173 lt	6 %	8%
0.0066 m <sup>3</sup>	4.514 kg	7.326 kg	2.376 kg	1.141 lt	0.142	0.190

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*

### 2.5.1 Dosificación y elaboración de probetas

Se realiza el mismo procedimiento utilizado anteriormente, colocando 4.514 kg de arena con 2.376 kg de cemento donde se mezcla, se procede a agregar el pigmento en el porcentaje que se va a utilizar y se mezclan por unos minutos.

Seguidamente se coloca 7.326 de grava y de igual manera se mezclan añadiendo el agua (1.141 lt) por cuatro minutos.

Este procedimiento se realiza con el cemento gris y de igual manera con el cemento blanco añadiendo los distintos porcentajes de pigmento.

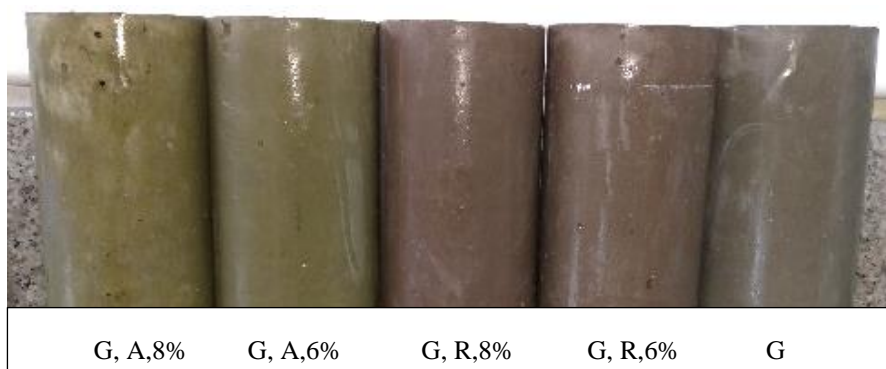


*Fotografía 49: Pesaje de arena*

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*

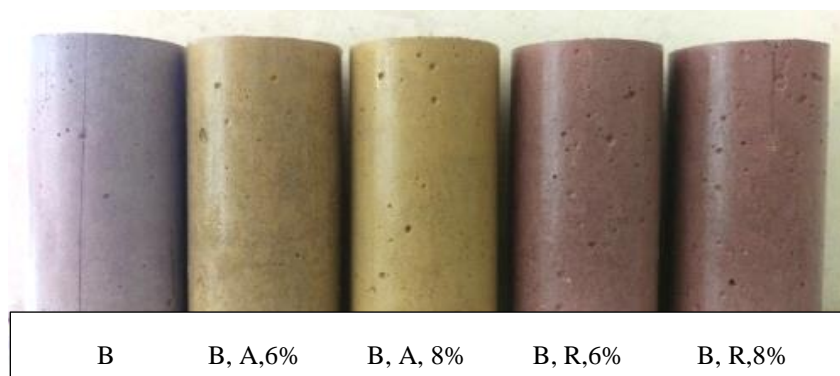
Las probetas se desencofran después de 24 horas para sumergirlas en agua, para que se realice el proceso de curado. Debemos tener en cuenta que se utiliza vaselina como desmoldante por esta razón limpiamos los cilindros antes de sumergirla en agua.



*Fotografía 50: Cilindros de hormigón con cemento gris desencofrados a las 24 horas*

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*



Fotografía 51: Cilindros de hormigón con cemento blanco desencofrados a las 24 horas

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

De igual manera al primer diseño se obtiene un buen nivel de pigmentación, aristas vivas y fácil desencofrado.

### 2.5.2 Resistencia a los 7 días de edad.

De igual manera se obtiene un hormigón con un buen grado de pigmentación y aristas vivas. Se realiza el ensayo de compresión a los 7 días de edad los cilindros de hormigón con triturado de  $\frac{3}{4}$ . En el laboratorio R & R.



Fotografía 52: Cilindro hormigón con cemento gris

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía 53: Carga de rotura en kilogramos

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

El equipo para realizar las pruebas de compresión nos da la carga de rotura en kilogramos, aplicamos directamente sobre el área del cilindro (78.5398 cm<sup>2</sup>).

Tabla 17 Dosificación para columnas con triturado de  $\frac{3}{4}$ .

ESPECIFICACIONES			Carga máxima en Kilogramos	Diámetro	Edad	Fatiga de rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	% de fatiga requerida
Color del cemento	Color del pigmento	% del pigmento					
Gris		0%	13065 kg	10 cm	7 días	166.34 kg	79 %
Blanco		0%	16890 kg	10 cm	7 días	215.05 kg	102 %
Gris	Rojo	6%	12090 kg	10 cm	7 días	153.93 kg	73%
Gris	Rojo	8 %	11270 kg	10 cm	7 días	143.49 kg	68 %
Blanco	Rojo	6 %	17980 kg	10 cm	7 días	228.92 kg	109 %
Blanco	Rojo	8 %	16985 kg	10 cm	7 días	216.25 kg	102 %
Gris	Amarillo	6%	12365 kg	10 cm	7 días	157.43 kg	74 %
Gris	Amarillo	8 %	10880 kg	10 cm	7 días	138.52 kg	65 %
Blanco	Amarillo	6 %	18170 kg	10 cm	7 días	231.34 kg	110 %
Blanco	Amarillo	8 %	16965 kg	10 cm	7 días	216 kg	102 %

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Los resultados a la compresión de los cilindros (triturado de  $\frac{3}{4}$ ) a los siete días de edad son muy buenos, superiores al 65 % lo cual nos garantiza una resistencia de 210 Kg/cm<sup>2</sup> (ver pág. 40) a los 28 días de edad. El uso de pigmentos no afecta al hormigón al utilizar los porcentajes recomendables, sin embargo, tenemos que realizar la prueba de compresión a los 28 días para sacar un promedio del hormigón en su máxima resistencia.

### 2.5.3 Dosificación y elaboración de vigas.

Al obtener buenos resultados a la compresión, se procede a realizar las vigas para el ensayo de flexión, tomando en cuenta que el hormigón pigmentado se lo utilizara en pisos exteriores y podría ser aplicado en losas o de manera estructural. De igual manera se realiza los diferentes ensayos para verificar reacción de los pigmentos.

Los resultados al ensayo de compresión se pueden correlacionar a la flexión que llegaría a tener las vigas con la misma dosificación, la resistencia a la flexión se encuentra entre un 10% y un 20% del resultado a las pruebas de compresión (Argel & Zúñiga, 2009).

Sin embargo, se decidió fabricar seis tipos de vigas para analizar su comportamiento con los diferentes pigmentos, utilizando la misma dosificación de triturado de  $\frac{3}{4}$ . Las dimensiones de las vigas según la norma ASTM C-78, son de 15cm de ancho por 15cm de alto por 45cm de largo.

Las vigas que fundirán son las siguientes con las distintas dosificaciones:

- 1.- cemento gris
- 2.- cemento blanco
- 3.- cemento gris, pigmento rojo 6%
- 4.- cemento blanco, pigmento rojo 8%
- 5.- cemento gris, pigmento amarillo 8%
- 6.- cemento blanco, pigmento amarillo 8%

*Tabla 18 Dosificación para columnas con triturado de  $\frac{3}{4}$ .*

	Área	Grava	Cemento	Agua	Pigmento	
1 m <sup>3</sup>	684 kg	1110 kg	360 kg	173 lt	6 %	8%
0.0068 m <sup>3</sup>	4.651 kg	7.548 kg	2.448 kg	1.176 lt	0.146	0.195

*Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía 54: Elaboración de vigas con pigmento rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía 55: Elaboración de vigas con pigmento amarillo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*

### **3 Capítulo 3: Pruebas de laboratorio – Resultados**

---

En el presente capítulo se analiza el comportamiento de las probetas de hormigón pigmentado a los 28 días de edad, realizando distintos tipos de ensayos tales como:

- Compresión simple.
- Flexión
- Absorción
- Resistencia a las manchas

El ensayo de resistencia a las manchas es aplicado a la cerámica que se utiliza en espacios interiores y exteriores, sin embargo el propósito del hormigón pigmentado es aplicar en pisos exteriores y al no contar con una norma establecida se decide aplicar el ensayo sobre las probetas de hormigón determinado la factibilidad en el uso.

#### **3.1 Ensayo de compresión.**

Con la finalidad de determinar las propiedades mecánicas del hormigón se ensayan las probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, aplicando carga rápida, hasta la rotura. Siguiendo el procedimiento que se detalla en las normas ASTM-C-192-95.

La compresión simple se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de hormigón a carga axial. Es una propiedad fundamental, frecuentemente empleada para el diseño de una edificación, puentes etc.

Se ensayaron 3 probetas, para determinar la resistencia a compresión simple para cada diseño y con los porcentajes de pigmento utilizado. Rompiendo una a la edad de siete días para llevar un control del hormigón pigmentado, finalmente rompiendo dos probetas para determinar la resistencia máxima a una edad de 28 días.

Tabla 19 Resistencia a los 28 días.

ESPECIFICACIONES			Carga máxima en Kilogramos	Diámetro	Edad	Fatiga de rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	% fatiga de requerida
Color del cemento	Color del pigmento	% del pigmento					
Gris		0%	18330	10cm	28días	233.41	111 %
Gris		0%	18890	10cm	28días	240.54	114 %
Blanco		0%	19125	10cm	28días	243.53	115 %
Blanco		0%	21300	10cm	28días	271.23	129 %
Gris	Rojo	6%	19175	10cm	28días	244.17	116 %
Gris	Rojo	6%	18440	10cm	28días	234.81	111 %
Gris	Rojo	8 %	19035	10cm	28días	242.39	115 %
Gris	Rojo	8 %	18040	10cm	28días	229.72	109 %
Blanco	Rojo	6 %	20100	10cm	28días	255.95	121 %
Blanco	Rojo	6 %	20330	10cm	28días	258.88	122 %
Blanco	Rojo	8 %	20405	10cm	28días	259.83	123 %
Blanco	Rojo	8 %	19300	10cm	28días	245.76	116 %
Gris	Amarillo	6%	18470	10cm	28días	235.19	111 %
Gris	Amarillo	6%	18465	10cm	28días	235.13	111 %
Gris	Amarillo	8 %	17440	10cm	28días	222.08	105 %
Gris	Amarillo	8 %	16925	10cm	28días	215.52	102 %
Blanco	Amarillo	6 %	20070	10cm	28días	255.57	121 %
Blanco	Amarillo	6 %	20690	10cm	28días	263.46	125 %
Blanco	Amarillo	8 %	19890	10cm	28días	253.27	120 %
Blanco	Amarillo	8 %	17700	10cm	28días	225.39	107 %

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Luego de realizar el ensayo de compresión a los 28 días se obtiene buenos resultados que van entre un 102% y un 129% con las distintas dosificaciones.

Tabla 20 Resistencia probetas, cemento gris.

Especificaciones			Fatiga de rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fatiga de rotura promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% fatiga de requerida
Color del cemento	Color del pigmento	% del pigmento			
Gris		0%	233.41	236.97	112 %
Gris		0%	240.54		
Gris	Rojo	6%	244.17	239.48	114 %
Gris	Rojo	6%	234.81		
Gris	Rojo	8 %	242.39	236.05	112 %
Gris	Rojo	8 %	229.72		
Gris	Amarillo	6%	235.19	235.16	111 %
Gris	Amarillo	6%	235.13		
Gris	Amarillo	8 %	222.08	218.8	104 %
Gris	Amarillo	8 %	215.52		

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

La reacción de los pigmentos en sus distintos porcentajes no afecta sobre resistencia a compresión simple del hormigón, obteniendo un promedio de 112% entre las probetas de hormigón gris, con pigmento rojo y amarillo en un 6%, sin embargo la resistencia baja en un 8% con la aplicación de pigmento amarillo, en un 8% al peso seco del cemento, tomando en cuenta que tiene un promedio de 104%, es decir esta sobre la fatiga de rotura requerida.

Analisis de los resultados con el cemento blanco.

*Tabla 21 Resistencia probetas, cemento Blanco*

Especificaciones			Fatiga de rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fatiga de rotura promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% fatiga de requerida
Color del cemento	Color del pigmento	% del pigmento			
Blanco		0%	243.53	257.38	122 %
Blanco		0%	271.23		
Blanco	Rojo	6 %	255.95	257.41	122 %
Blanco	Rojo	6 %	258.88		
Blanco	Rojo	8 %	259.83	249.79	118 %
Blanco	Rojo	8 %	245.76		
Blanco	Amarillo	6 %	255.57	259.51	123 %
Blanco	Amarillo	6 %	263.46		
Blanco	Amarillo	8 %	253.27	239.33	113 %
Blanco	Amarillo	8 %	225.39		

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*

La resistencia con cemento blanco aumenta en un 9% en relación a la resistencia obtenida con el cemento gris, teniendo como promedio un 121% entre las probetas de hormigón blanco puro, con pigmento rojo y pigmento amarillo aplicado en un 6%. Sin embargo, baja un 8% de la resistencia con la aplicación de pigmento amarillo en un 8% en relación al peso del cemento en seco. Tomando en cuenta que obtiene un promedio de 113% de la fatiga de rotura requerida.

### 3.2 Ensayo a la flexión.

El ensayo se lo realiza tomando como elemento una vigueta de hormigón de 15cm de ancho por 15cm de alto por 56 cm de largo, expuestas a 2 cargas iguales y simétricas que son aplicadas a un tercio de la luz libre, hasta que la vigueta llegue a la rotura. Se realiza el ensayo en base a la norma ASTM C-78.

La vigueta se coloca centrada en la máquina para calcular el módulo de ruptura en base a la teoría elástica ordinaria  $PL/db^2$

Nomenclatura

P= carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N o lbf

L= longitud de la separación de apoyos, mm o pulg.

b=ancho promedio del espécimen, en la fractura, mm o pulg.

d=espesor promedio del espécimen, en la fractura, mm o pulg.

Se puede realizar una correlación entre la compresión y la flexión. Tomando en cuenta que el módulo de rotura de las viguetas esa entre un 10% y 20% de la resistencia a la compresión, sin embargo, la manera de obtener resultados exactos son las pruebas de laboratorio.



*Fotografía 56: Ensayo de flexión, cemento gris puro  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía 57: Resistencia a flexión  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*

Tabla 22 Resistencia de vigas a la flexión.

Especificaciones			Carga máxima	Separación de apoyos	Ancho promedio	Espesor promedio	Fatiga de rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )
Color del cemento	Color del pigmento	% del pigmento	P	L	d	d	
Gris		0%	2290 Kg	45cm	15cm	15cm	30.53 Kg/cm <sup>2</sup> )
Blanco		0%	2570 Kg	45cm	15cm	15cm	34.26 Kg/cm <sup>2</sup> )
Gris	rojo	6%	2080 Kg	45cm	15cm	15cm	27.73 Kg/cm <sup>2</sup> )
Blanco	Rojo	8%	2640 Kg	45cm	15cm	15cm	35.2 Kg/cm <sup>2</sup> )
Gris	Amarillo	8%	2060 Kg	45cm	15cm	15cm	27.46 Kg/cm <sup>2</sup> )
Blanco	Amarillo	6%	2430 Kg	45cm	15cm	15cm	32.4 Kg/cm <sup>2</sup> )

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Una vez realizado el ensayo de flexión a las vigas de hormigón pigmentado, se obtienen buenos resultados para un hormigón de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

Con un promedio de 28.57 Kg/cm<sup>2</sup> con hormigón de cemento gris y un 33.95 % con hormigón de cemento blanco, se puede evidenciar al igual que en el ensayo de compresión simple la

aplicación de cemento blanco produce mayor resistencia alrededor de un 8% sobre el cemento gris.

En la siguiente tabla analizamos la correlación que existe entre el ensayo de compresión y el ensayo de flexión. Donde resistencia de la flexión se encuentra entre un 10 % y un 20 % del resultado de la compresión simple.

*Tabla 23 Correlación de la compresión y la flexión.*

Especificaciones			Fatiga de rotura flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fatiga de rotura compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	% de compresión		Observaciones
Color del cemento	Color del pigmento	% del pigmento			10%	20%	
Gris		0%	30.53 Kg/cm <sup>2</sup>	236.97 Kg/cm <sup>2</sup>	23.69	47.39	Dentro de rango
Blanco		0%	34.26 Kg/cm <sup>2</sup>	257.38 Kg/cm <sup>2</sup>	25.73	51.47	Dentro de rango
Gris	rojo	6%	27.73 Kg/cm <sup>2</sup>	239.48 Kg/cm <sup>2</sup>	23.94	47.89	Dentro de rango
Blanco	Rojo	8%	35.2 Kg/cm <sup>2</sup>	249.79 Kg/cm <sup>2</sup>	24.97	49.95	Dentro de rango
Gris	Amarillo	8%	27.46 Kg/cm <sup>2</sup>	218.8 Kg/cm <sup>2</sup>	21.88	43.76	Dentro de rango
Blanco	Amarillo	6%	32.4 Kg/cm <sup>2</sup>	259.51 Kg/cm <sup>2</sup>	25.95	51.90	Dentro de rango

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*

Según el rango del 10% al 20% del resultado del ensayo de la compresión simple, la fatiga de rotura de la flexión se encuentra dentro del rango, demostrando que la adición de pigmentos no altera sustancialmente al hormigón.

### 3.3 Ensayo de absorción

Al aplicar el hormigón en espacios exteriores debemos tomar en cuenta que la adición de pigmento de tierra no afecta en la absorción de agua produciendo problemas a futuro.

El ensayo se realiza en base a la norma ASTM C 642 para obtener el porcentaje de absorción de agua, una vez que las probetas han pasado los 28 días de edad. Fue realizado en el laboratorio de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, las muestras se secan durante 24 horas en un horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , para luego ser pesadas en una balanza digital obteniendo un dato real del hormigón en estado seco al 100%. Luego de esto se sumergen en agua durante 24 horas y pesadas de igual manera en la balanza digital, con la finalidad de obtener el peso en completa saturación de agua.

Una vez obtenido los diferentes pesos se aplica la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de capacidad de absorción de las diferentes muestras.

$$\frac{(\text{peso saturado}) - (\text{peso seco})}{(\text{peso seco})} * 100 = \%CA$$

Tabla 24 Ensayo de absorción.

Especificaciones					
Color del cemento	Color del pigmento	% del pigmento	Peso seco	Peso saturado de agua	% de absorcion
Gris			3894,5	4001,5	2,7 %
blanco			3973,1	4084	2,7 %

Gris	Rojo	6%	3899	4012,5	2,9 %
Gris	Rojo	8%	3902	4004	2,6 %
blanco	Rojo	6%	3974	4092	2,9 %
blanco	Rojo	8%	3976	4082,5	2,6 %
Gris	Amarillo	6%	3900,5	4015	2,9 %
Gris	Amarillo	8%	814,5	835,5	2,5 %
blanco	Amarillo	6%	3977,5	4095,5	2,9 %
blanco	Amarillo	8%	3975,5	4086	2,7 %

Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán

Al finalizar el ensayo de absorción obtenemos como resultado que todas las muestras varían entre un 2.5% y un 2.9%. demostrando que la aplicación de pigmentos en porcentajes adecuados no genera alteraciones en el hormigón endurecido.

### 3.4 Ensayo de determinación de resistencia a las manchas.

El siguiente ensayo se aplica a cerámicas que se pueden utilizar en espacios interiores como exteriores de la vivienda, para determinar las características de limpieza de ellas, se toma como referencia para emplear en el hormigón pigmentado.

Se realiza según lo establecido en la norma NTE INEN 2 198: 2000, basada en la norma internacional ISO 10545-14:1995. Determina el tipo de soluciones químicas y procedimiento que se utiliza.

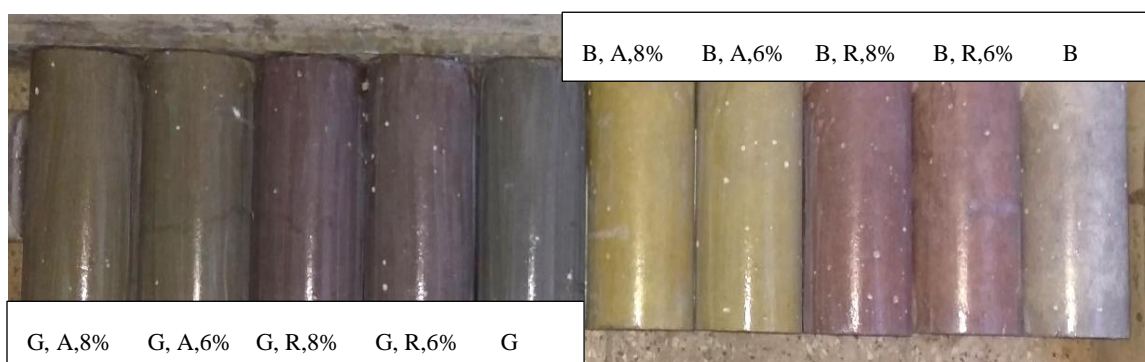
Se realiza en las probetas de hormigón de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, a las cuales se aplicó impermeabilizante MK2.

#### Soluciones químicas

- Agente verde (trióxido de cromo + glicerina)
- Aceite de olivo
- Yodo

#### Procedimiento.

Una vez transcurridas 24 horas de aplicar el impermeabilizante MK2 y se lava con agua fría.



Fotografía 58: Aplicación de impermeabilizante

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Se aplica el agente verde (trióxido de cromo + glicerina) de 3 a 4 gotas.



Fotografía 59: Aplicación de mancha verde

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

En la parte superior de la probeta se coloca de 3 a 4 gotas de yodo, y en la parte inferior se coloca de 3 a 4 gotas de aceite de oliva.



*Fotografía 60: Aplicación de yodo y aceite de oliva*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía 61: Aplicación de aceite de oliva*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

A cada una de las muestras se debe esparcir con una luna de reloj, dejar reposar por 24 horas.



*Fotografía 62: luna de reloj*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

Probetas después de 24 horas de haber aplicado el agente verde.

En la siguiente fotografía se observa las probetas después de 24 horas de haber sido manchadas, en la parte superior la aplicación de la mancha verde con yodo, y en la parte inferior la mancha verde con aceite de oliva.



*Fotografía 63: Probetas después de 24 horas de haber sido manchadas*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

Procedimiento de limpieza. Dentro de la norma tenemos cuatro procesos de limpieza lo que nos permitirá clasificar los resultados mediante un examen visual determinado por la norma.

A. Agua caliente: Se lava las manchas con agua caliente a una temperatura de 50° C; las probetas manchadas con aceite de olivo son removida en su totalidad; mientras tanto las probetas manchadas con yodo no son removidas por completo, para lo cual se procede con el segundo proceso de limpieza.



*Fotografía 64: Aplicación de agua caliente*

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*

B. Agente débil de limpieza: para su respectivo lavado lo realizamos con jabón pH neutro, se aplica frotando sobre la mancha para luego ser removido con agua fría.

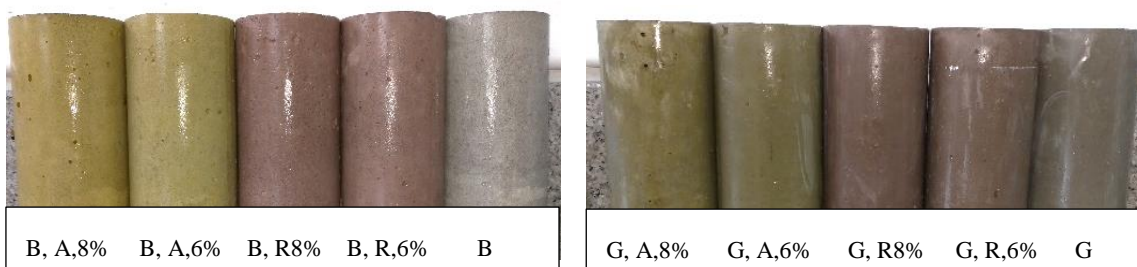


*Fotografía 65: Aplicación de detergente*

*Fuente: Paúl Guzmán*

*Elaboración: Paúl Guzmán*

Luego de aplicar el segundo método de limpieza las manchas se quitan por completo.



Fotografía 66: Probetas después de realizar el ensayo de resistencia a las manchas

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Tabla 25 Ensayo de resistencia a las manchas, probetas cemento gris

Probetas con cemento gris					
Solucion química	Sellante	Probeta	Clasificación de limpiador	Observaciones	
Pasta Agente verde + yodo	MK2	Gris puro	B	Agua caliente + agente debil	
		Gris rojo 6%	B	Agua caliente + agente debil	
		Gris rojo 8 %	B	Agua caliente + agente debil	
		Gris amarillo 6%	B	Agua caliente + agente debil	
		Gris amarillo 8%	B	Agua caliente + agente debil	
Pasta Agente verde + aceite de oliva	MK2	Gris puro	A	Agua caliente	
		Gris rojo 6%	A	Agua caliente	
		Gris rojo 8 %	A	Agua caliente	
		Gris amarillo 6%	A	Agua caliente	
		Gris amarillo 8%	A	Agua caliente	
Identificación					
Agentes de limpieza simples	A	B	C	D	
	Agua caliente	Agente débil (jabón pH neutro)	Agente fuerte: Sosa caustica	Solvente apropiado: acetona	

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Tabla 26 Ensayo de resistencia a las manchas, probetas cemento blanco.

Probetas con cemento blanco					
Solucion quimica	Sellante	Probeta	Clasificacion de limpiador	Observaciones	
Pasta Agente verde + yodo	MK2	Blanco puro	B	Agua caliente + agente debil	
		Blanco rojo 6%	B	Agua caliente + agente debil	
		Blanco rojo 8 %	B	Agua caliente + agente debil	
		Blanco amarillo 6%	B	Agua caliente + agente debil	
		Blanco amarillo 8%	B	Agua caliente + agente debil	
Pasta Agente verde + aceite de oliva	MK2	Blanco puro	A	Agua caliente	
		Blanco rojo 6%	A	Agua caliente	
		Blanco rojo 8 %	A	Agua caliente	
		Blanco amarillo 6%	A	Agua caliente	
		Blanco amarillo 8%	A	Agua caliente	
Identificacion					
Agentes de limpieza simples	A	B	C	D	
	Agua caliente	Agente débil (jabón pH neutro)	Agente fuerte: Sosa caustica	Solvente apropiado: acetona	

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán

Tabla 27 Resultado de ensayo a las manchas.

Resultados ensayos de resistencia a las manchas		
Pasta Agente verde + yodo	MK2	Se obtuvieron buenos resultados, se elimina con agua caliente o jabón pH neutro
Pasta Agente verde + aceite de oliva	MK2	Se obtuvieron buenos resultados, se elimina con agua caliente.

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán



---

---

De acuerdo a la norma NTE INEN 2 198: 2000 el impermeabilizante empleado cumple con las condiciones determinadas en ésta, ya que se utilizan procedimientos de limpieza simples para remover las manchas.

Con los resultados del ensayo se establece que el hormigón pigmentado puede ser aplicado en pisos con un respectivo impermeabilizante.

### 3.5 Conclusiones

- El pigmento natural (tierra calcinada) no influye en las propiedades del hormigón como: homogeneidad y trabajabilidad.
- El hormigón pigmentado con cemento gris presenta una resistencia normal a baja edad (7 días) de un 65%, garantizando la resistencia total a los 28 días.
- La resistencia final del hormigón pigmentado con cemento gris a los 28 días es de un 112 % con el pigmento de color rojo en un 6% y 8 % y el pigmento amarillo en un 6%, sin embargo, disminuye 8% con la aplicación del 8% de pigmento amarillo obteniendo un 104% de resistencia final.
- El hormigón pigmentado con cemento blanco presenta una resistencia alta a baja edad (7 días) un 105 %.
- La resistencia final del hormigón pigmentado con cemento blanco a los 28 días es de un 121 % con el pigmento de color rojo en un 6% y 8 % y el pigmento amarillo en un 6%, sin embargo, disminuye 8% con la aplicación del 8% de pigmento amarillo obteniendo un 113% de resistencia final.
- El ensayo a la flexión tiene un promedio de 28.57 Kg/cm<sup>2</sup> con hormigón de cemento gris y un 33.95 % con hormigón de cemento blanco.
- Los resultados del ensayo a la flexión están dentro del rango del 10% al 20% de la resistencia al ensayo de compresión.
- El ensayo de absorción varía entre un 2.5% y un 2.9%, determinando que no afecta la adición de pigmentos naturales al hormigón sin generar porosidad excesiva.
- Los resultados del ensayo a resistencia de manchas determinan que el uso de hormigón pigmentado con un respectivo impermeabilizante es aplicable en pisos exteriores, demostrando su fácil limpieza.

- El uso de plastificante (161 HC, Sika) produce blanqueamiento superficial al hormigón pigmentado.
- El uso de triturado de 3/8 disminuye la resistencia del hormigón presentan un 35 % de resistencia a los 7 días.
- El uso de cemento blanco sobrepasa un 100% sobre el costo de cemento gris.
- La tierra sirve para utilizar como pigmento en hormigón, calcinándola por un tiempo de 4 horas a una temperatura de 250°C, si la tierra es calcinada a mayor temperatura pierde pigmentación.
- Al utilizar cemento blanco para realizar el hormigón el resultado de pigmentación es mayor sobre el cemento gris.
- Al realizar el ensayo de absorción de agua y de resistencia a las manchas tenemos como resultado que el hormigón pigmentado puede ser utilizado en espacios exteriores.
- Después de realizar las distintas pruebas de laboratorio a las probetas de hormigón pigmentado tenemos como resultado general que la adición de pigmento no afecta en las propiedades del hormigón tomando en cuenta que debemos aplicar en porcentajes adecuados.

### 3.6 Recomendaciones

- Enfatizar estudio sobre comportamiento de los pigmentos en las características del hormigón en largo plazo.
- Investigar a fondo los acabados que puede recibir el hormigón pigmentado para obtener mayor calidad y estética.
- Analizar el comportamiento de los sellantes sobre el color del hormigón a largo plazo.
- Enfatizar estudio y análisis sobre la tierra de color, potencializando la investigación para la creación de un nuevo producto local.
- Investigar la aplicación de los pigmentos de color en distintos ámbitos de la construcción.
- Plantear como propuesta innovadora estructuras de hormigón visibles.
- Se recomienda utilizar agregados de diferentes tañamos para garantizar una buena resistencia final.
- Es importante limpiar el desmoldante luego de desencofrar para que se realice el proceso de curado de mejor manera.
- Se debe realizar el amasado de acuerdo a lo investigado para garantizar un hormigón bien pigmentado.
- Se recomienda que al utilizar el hormigón pigmentado en espacios exteriores se pueda realizar algún tipo de ensayo para ver el comportamiento del hormigón pigmentado con el pasar de los años.

### 3.7 BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. ACI 212.3R-91. (1991). Chemical Admixtures for Concrete.
- American Society of Testing Materials. ASTM C979 / C979M – 16. Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete.
- American Society of Testing Materials. ASTM C150 – 07. Historical Standard: Especificación Normalizada para Cemento Portland.
- American Society of Testing Materials. ASTM C125. Pigmentos para la coloración integral del concreto. Especificaciones.
- Argüello, M., & Pérez, J. (2013). 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.  
<http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/2762>.
- Amor, G. (2011). Tecnología del hormigón.
- Carvalho de Arruda Coelho, F. (2000). Variación del color y textura superficial de hormigones vistos con adición de pigmentos inorgánicos, sometidos a distintos estados de exposición ambiental. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Castro, M. (2005). Hormigón con pigmentos de color. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfic355h/doc/bmfic355h.pdf>.
- Gómez, C. (1994). Historia del cemento y el concreto. Revista Alcan No 15, p. 1
- Idrovo, J. (2015). Dumapara. Un sitio kañari-inka atravesado por el Qhapaqñan. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Nabón.
- Lynsdale, C., & Cabrera, J. (1990). Concreto coloreado: revisión del estado del arte. [http:// Concreto%20Coloreado\\_Revision%20del%20estado%20del%20arte\(1\).pdf](http://Concreto%20Coloreado_Revision%20del%20estado%20del%20arte(1).pdf).
- NTE INEN 0695: Áridos. Muestreo





- NTE INEN 2566: Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo.
- NTE INEN 2 198:2000 Baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a las manchas.
- NTE INEN 0872: Áridos para hormigón. Requisitos
- Positieri, M. (2005). Propiedades fisicomecánicas y durabilidad del hormigón coloreado. Córdova.
- Quijije, M. (2017). Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales. Ambato.
- Rosales, P., & Salazar, Y. (2017). La tierra de oña color, técnica y patrimonio. (Cuenca).

### 3.8 Anexos

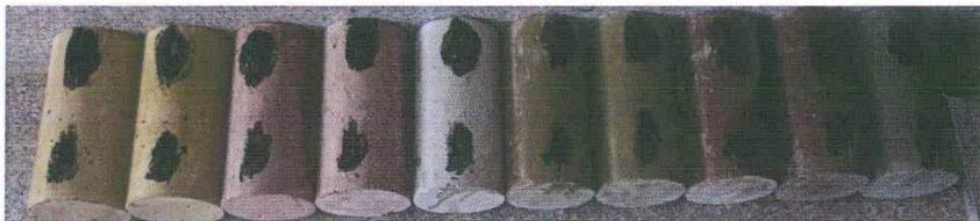
#### UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

TESIS	HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES UTILIZADOS EN ESPACIOS EXTERIORES
PRACTICA	ENSAYO DE DETERMINACION A LAS MANCHAS
DOCENTE	ARQ. Pedro Angumba
AUTOR	Jonnathan Paúl Guzmán Avila
PROFESOR ASISTENTE	ING. DIGNA ORTEGA

<b>INTRODUCCIÓN</b>
Ya que en nuestro país no existe una norma establecida sobre hormigón pigmentado, se realiza el ensayo de determinación de la resistencia a las manchas en cerámica, este ensayo nos permite determinar la resistencia a las manchas mediante agentes de limpieza sobre el hormigón pigmentado, que se realiza según lo establecido en la norma NTE INEN 2 198: 2000, basada en la norma internacional ISO 10545-14:1995. Para lo cual partiremos de probetas de hormigón de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, a las cuales se aplicó impermeabilizante MK2, y se aplicara en 5 muestras con cemento blanco y 5 muestras con cemento gris.
<b>OBJETIVO</b>
Determinar la resistencia a las manchas en el hormigón pigmentado impermeabilizado con MK2.
<b>METODOLOGIA</b>
Para la determinación de las resistencias de manchas, se mantiene en contacto con la superficie del hormigón y soluciones ensayo por un tiempo apropiado. las superficies deben ser manchadas con un agente verde más un agente liviano (yodo y aceite de oliva), las cuales deben reposar 24 horas, sometiendo a continuación las superficies a los métodos de limpieza necesarios como es (agua caliente, jabón de ph neutro, aceite fuerte, hidróxido de sodio, acetona), y finalmente examinándolas para detectar cambios irreversibles de agentes.
<b>MATERIALES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vasos de precipitación de 100 ml</li><li>• Luna de reloj</li><li>• Varilla de vidrio</li><li>• Probetas</li><li>• Franela</li><li>• Espátula</li></ul>
<b>REACTIVOS (SUSTANCIAS DE ENSAYO)</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Trióxido de cromo</li><li>• Glicerina</li><li>• Aceite de oliva</li><li>• Yodo</li><li>• Acetona</li><li>• Jabón líquido</li><li>• Sosa caustica</li></ul>

EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Estufa</li><li>• Balanza</li></ul>
PROCESO
1.- Se aplica el agente verde (trióxido de cromo + glicerina) de 3 a 4 gotas.

<i>Fotografía Aplicación de mancha verde</i> <i>Fuente: Paúl Guzmán</i> <i>Elaboración: Paúl Guzmán</i>
2.- En la parte superior de la probeta se coloca de 3 a 4 gotas de yodo, y en la parte inferior se coloca de 3 a 4 gotas de aceite de oliva.

<i>Fotografía Aplicación de yodo y aceite de oliva</i> <i>Fuente: Paúl Guzmán</i> <i>Elaboración: Paúl Guzmán</i>

<i>Fotografía Aplicación de aceite de oliva</i> <i>Fuente: Paúl Guzmán</i> <i>Elaboración: Paúl Guzmán</i>
3.- A cada una de estas se debe esparcir con una a luna de reloj y dejar reposar por 24 horas.

<i>Fotografía luna de reloj</i> <i>Fuente: Paúl Guzmán</i> <i>Elaboración: Paúl Guzmán</i>

5.- En la siguiente fotografía se observa las probetas después de 24 horas de haber sido manchadas con la aplicación del agente verde con yodo en la parte superior y en la parte inferior el agente verde con aceite de oliva.



*Fotografía Probetas después de 24 horas de haber sido manchadas*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

6.- Procedimiento de limpieza. Dentro de la norma tenemos cuatro procesos de limpieza lo que nos permitirá clasificar los resultados mediante un examen visual determinado por la norma.

A. Agua caliente: Se lava las manchas con agua caliente a una temperatura de 50° C; las probetas manchadas con aceite de oliva, las manchas es removida en su totalidad; mientras tanto en las probetas manchadas con yodo no son removidas por completo, para lo cual se procede con el segundo proceso de limpieza.



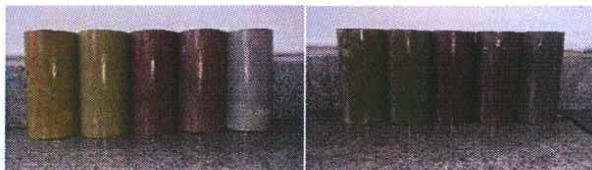
*Fotografía Aplicación de agua caliente*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

B. Agente débil de limpieza: para su respectivo lavado lo realizamos con jabón pH neutro, se aplica frotando sobre la mancha para luego ser removido con agua fría.



*Fotografía Aplicación de detergente*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

7.- Luego de aplicar el segundo método de limpieza las manchas son removidas por completo.



Fotografía Probetas después de realizar el ensayo de resistencia a las manchas

Fuente: Paúl Guzmán

Elaboración: Paúl Guzmán



#### RESULTADOS OBTENIDOS

Con las condiciones de la norma INEN NTE 198:2000, y de acuerdo a la Tabla 18, se determina que el sellante a utilizar en el hormigón pigmentado es:

- Mk2 reacciona muy bien forma al aplicar las soluciones y la limpieza es muy simple.



#### RESULTADOS

Probetas con cemento gris					
Solucion quimica	Sellante	Probeta	Clasificacion de limpiador	Procedimiento de limpiza	
Pasta Agente verde + yodo	MK2	Gris puro	B	Agua caliente + agente debil	
		Gris rojo 6%	B	Agua caliente + agente debil	
		Gris rojo 8 %	B	Agua caliente + agente debil	
		Gris amarillo 6%	B	Agua caliente + agente debil	
		Gris amarillo 8%	B	Agua caliente + agente debil	
Pasta Agente verde + aceite de oliva	MK2	Gris puro	A	Agua caliente	
		Gris rojo 6%	A	Agua caliente	
		Gris rojo 8 %	A	Agua caliente	
		Gris amarillo 6%	A	Agua caliente	
		Gris amarillo 8%	A	Agua caliente	
Identificacion					
Agentes de limpieza simples	A	B	C	D	
	Agua caliente	Agente débil (jabón pH neutro )	Agente fuerte: Sosa caustica	Solvente apropiado: acetone	

Probetas con cemento blanco					
Solucion química	Sellante	Probeta	Clasificación de limpiador	Observaciones	
Pasta (Trióxido de cromo + Glicerina) + yodo	MK2	Blanco puro	B	Agua caliente + agente débil	
		Blanco rojo 6%	B	Agua caliente + agente débil	
		Blanco rojo 8 %	B	Agua caliente + agente débil	
		Blanco amarillo 6%	B	Agua caliente + agente débil	
		Blanco amarillo 8%	B	Agua caliente + agente débil	
Pasta (Trióxido de cromo + Glicerina) + aceite de oliva	MK2	Blanco puro	A	Agua caliente	
		Blanco rojo 6%	A	Agua caliente	
		Blanco rojo 8 %	A	Agua caliente	
		Blanco amarillo 6%	A	Agua caliente	
		Blanco amarillo 8%	A	Agua caliente	
Identificación					
Agentes de limpieza simples	A	B	C	D	
	Agua caliente	Agente débil (jabón pH neutro)	Agente fuerte: Sosa caustica	Solvente apropiado: acetone	
<b>CONCLUSIONES</b>					
De acuerdo a la norma NTE INEN 2 198: 2000 el impermeabilizante empleado cumple con las condiciones determinadas en esta, ya que se utilizan procedimientos de limpieza simples para remover las manchas. Con los resultados del ensayo se establece que el hormigón pigmentado puede ser aplicado en pisos con un respectivo impermeabilizante.					
<b>RECOMENDACIONES</b>					
Utilizar el equipo de protección adecuado en laboratorio químico. Trabajar con los reactivos de acuerdo a lo estipulado en la norma NTE INEN 2 198:2000					
<b>BIBLIOGRAFIA</b>					
Norma NTE INEN 2 198:2000 Baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a las manchas.					
<b>FIRMA DE RESPONSABILIDAD</b>					
			 Jonnathan Paúl Guzmán Avila Estudiante		
Responsable de laboratorio químico					

CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

TESIS	HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES UTILIZADOS EN ESPACIOS EXTERIORES
PRACTICA	ENSAYO DE HUMECTACIÓN CON AGUA SOBRE PIGMENTOS DE COLOR
DOCENTE	ARQ. Pedro Angumba
AUTOR	Jonnathan Paúl Guzmán Ávila
PROFESOR ASISTENTE	ING. DIGNA ORTEGA

<b>INTRODUCCIÓN</b>
El pigmento tiene que tener la capacidad de humectación con el agua. Para lo cual se aplica el siguiente ensayo donde se verifica la reacción que tienen los pigmentos de color al contacto con el agua, se basa en la ASTM C125 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales), el ensayo se lo realiza de una manera visual.
<b>OBJETIVO</b>
Determinar la capacidad de humectación de pigmentos fabricados a base de tierra con el contacto de agua.
<b>METODOLOGIA</b>
La metodología que se aplica para realizar este proceso es aplicar agua ionizada en los pigmentos de color amarillo y rojo de tal manera que se pueda determinar la humectación, este ensayo se basa en la ASTM C125
<b>MATERIALES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipiente de vidrio</li> <li>• Vasos de precipitación de 150 ml</li> <li>• Varilla de vidrio</li> <li>• Probetas</li> <li>• Espátula</li> </ul>
<b>REACTIVOS (SUSTANCIAS DE ENSAYO)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 gramos de pigmento de cada color (amarillo, rojo)</li> <li>• 150 ml de agua ionizada</li> </ul>
<b>EQUIPOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza</li> </ul>
<b>PROCESO</b>
1.- Se pesa 10 gramos de pigmento de cada color y se coloca a cada uno en un vaso de precipitación que contenga 150 de agua ionizada,
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Fotografías 10 gramos de tierra amarilla Fuente: Paúl Guzmán Elaboración: Paúl Guzmán</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Fotografías 10 gramos de tierra roja Fuente: Paúl Guzmán Elaboración: Paúl Guzmán</p> </div> </div>

2.- Se procede a mover con un agitador de vidrio.



Fotografías Tierra amarilla con agua ionizada  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán

3.- Si el pigmento se mezcla inmediatamente con el agua cumple con las condiciones de ser humectante, sin embargo, si la muestra se demora en mezclar se considera que no es humectante formando una capa superficial.



Fotografías Resultado de ensayo de humectación.  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán

4.- Una vez terminado el ensayo observamos en las fotografías que los dos pigmentos tomados como muestras son humectantes con el agua.

#### RESULTADOS OBTENIDOS

En el caso del pigmento rojo se disolvió inmediatamente con el agua ionizada sin generar ningún tipo de capa superficial, de igual manera el pigmento amarillo se disolvió inmediatamente sin embargo el pigmento, genera una mínima cantidad de polvo seco en la superficie.

#### CONCLUSIONES

Al realizar el ensayo obtenemos buenos resultados al verificar que es un pigmento humectante y se disuelve inmediatamente al contacto con el agua, sin generar ningún tipo de masa que a futuro puede afectar a la resistencia del hormigón.

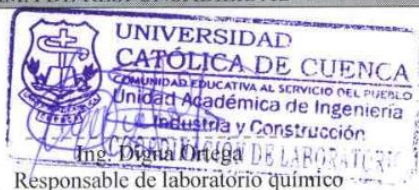
#### RECOMENDACIONES

Utilizar el equipo de protección adecuado en laboratorio químico.  
Trabajar con los reactivos de acuerdo a lo estipulado en la norma NTE INEN 2 198:2000

#### BIBLIOGRAFIA

- Norma NTE INEN 2 198:2000 Baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a las manchas.

#### FIRMA DE RESPONSABILIDAD

  
Ing. Diana Ortega  
Responsable de laboratorio químico

  
Jonathan Paul Guzmán Avila  
Estudiante

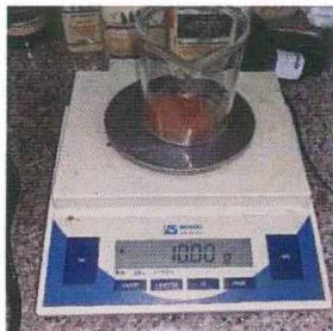
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

TESIS	HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES UTILIZADOS EN ESPACIOS EXTERIORES
PRACTICA	ENSAYO DE RESISTENCIA A LOS ÁLCALIS SOBRE PIGMENTOS DE COLOR.
DOCENTE	ARQ. Pedro Angumba
AUTOR	Jonnathan Paúl Guzmán Ávila
PROFESOR ASISTENTE	ING. DIGNA ORTEGA

<b>INTRODUCCIÓN</b>
Para realizar el presente ensayo se basa en la ASTM C125 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales), este ensayo se lo realiza de una manera visual, el cual consiste en verificar si los pigmentos son resistentes a los álcalis. O tienen un cambio significativo del color con el contacto del hidróxido de sodio. El pigmento tratado con hidróxido de sodio no debe mostrar un cambio significativo de color.
<b>OBJETIVO</b>
Verificar si el pigmento tiene un cambio significativo del color al contacto con el hidróxido de sodio.
<b>METODOLOGIA</b>
La metodología que se utiliza es la comparación mediante el empleo del hidróxido de sodio al 10% y agua des ionizada, aplicadas sobre los pigmentos de color. Con la aplicación del hidróxido de sodio vamos a tener un posible de cambio de color cumpliéndose así la resistencia a los álcalis.
<b>MATERIALES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Recipiente de vidrio</li><li>• Vasos de precipitación de 250 ml</li><li>• Varilla de vidrio</li><li>• Probetas</li><li>• Espátula</li><li>• Embudos Buchner</li></ul>
<b>REACTIVOS (SUSTANCIAS DE ENSAYO)</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• 10 gramos de pigmento de cada color</li><li>• 150 ml de agua ionizada</li><li>• 150 ml de hidróxido de sodio al 10%</li></ul>
<b>EQUIPOS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza</li><li>• Estufa</li></ul>

PROCESO

1.- Se utiliza 2 vasos de precipitación con capacidad de 250 ml a cada uno de ellos se agrega una porción de 10 g del pigmento que contengan 150 ml, de agua des ionizada.



Fotografías 10 gramos (pigmento rojo)  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán

2.- Se mueven los dos frascos con un agitador hasta obtener una mezcla homogénea, agregamos 10 ml, de solución de hidróxido de sodio al 10% a uno de los vasos, agitando levemente una vez más, luego dejamos reposar por 1 hora



Fotografía Pigmento mezclado con 150 ml de agua des ionizada  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía pigmento mezclado con 150 ml de agua des ionizada y 10 ml de hidróxido de sodio.  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán

3.- Pasado el tiempo de reposo se agita nuevamente la muestra y se filtran en embudos Buchner por separado.



Fotografía Filtrado  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán

4.- Luego de que haya filtrado se debe hacer 3 lavados de recambio con agua caliente des ionizada.



*Fotografía: Primer lavado con agua des ionizada caliente*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

5.- Una vez obtenida la parte filtrada se seca en papel filtro en una estufa de secado a  $110 \pm 3^\circ\text{C}$  por  $4 \pm 0.5$  h.



*Fotografía Estufa*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

6.- Terminado el proceso de secado se retira del horno colocando en morteros para pulverizar, formando 2 pilas adyacentes del pigmento.



*Fotografía Pigmento amarillo pulverizado*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



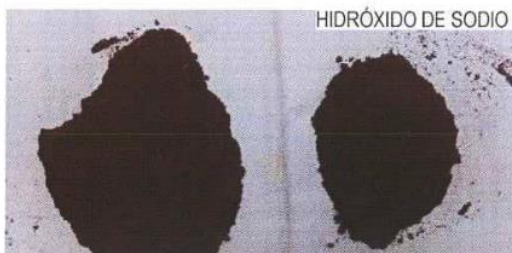
*Fotografía Pigmento rojo pulverizado*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

7.-Comparamos los colores del pigmento de control y tratado el pigmento con hidróxido de sodio.

Todo este procedimiento se realiza con los 2 colores de pigmentos.

#### RESULTADOS OBTENIDOS

En las siguientes fotografías observamos que luego de realizar el ensayo de resistencia a los álcalis tenemos como resultado que no presentan cambios significativos del color del pigmento, manteniendo el color original.



Fotografía Comparación de pigmentos de color rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía Comparación de pigmentos de color amarillo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán

#### CONCLUSIONES

Luego de realizar el ensayo tenemos como resultado que la tierra calcinada sirve como pigmento cumpliendo la norma ASTM. Al obtener buenos resultados procedemos a utilizar el pigmento en la mezcla con los demás áridos para formar el hormigón.

#### RECOMENDACIONES

Utilizar el equipo de protección adecuado en laboratorio químico.  
Trabajar con los reactivos de acuerdo a lo estipulado en la norma NTE INEN 2 198:2000

#### BIBLIOGRAFIA

Norma NTE INEN 2 198:2000 Baldosas cerámicas. Determinación de la resistencia a las manchas.

#### FIRMA DE RESPONSABILIDAD



Responsable de laboratorio químico



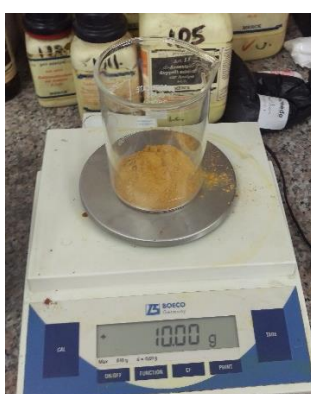
Jonnathan Paúl Guzmán Avila  
Estudiante







Fotografía: Estufa  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: 10 g de pigmento rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl



Fotografía: 10 mL de hidróxido de sodio  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl



Fotografía: 150 mL de agua ionizada  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Primer lavado con agua des ionizada caliente  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Mezcla de hormigón con triturado 3/8  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Mezcla de hormigón con triturado 3/8  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: elaboración de cilindros con triturado de 3/8  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



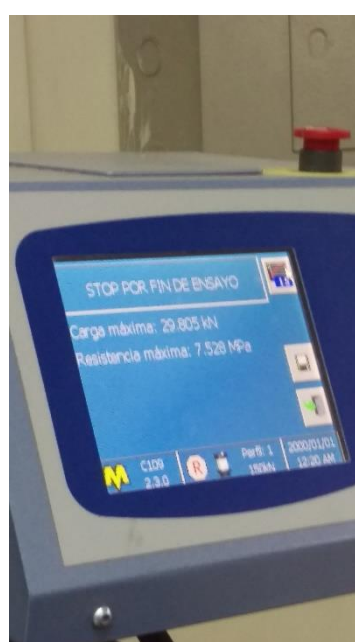
*Fotografía: Cilindros de hormigón con cemento blanco*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Resistencia en kilo newtons*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Cilindros de hormigón con cemento gris con 6 % de pigmento amarillo.*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Resistencia en kilo newtons*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Cilindros de hormigón con cemento blanco con 8 % de pigmento amarillo.  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Resistencia en kilo newtons  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Cilindros de hormigón con cemento gris con 8 % de pigmento rojo.  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía : Resistencia en kilo newtons  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Cilindros de hormigón con cemento blanco con 6 % de pigmento rojo.  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Resistencia en kilo newtons  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Peso del cemento gris para diseño de hormigón con triturado de 3/4  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: mezcla de arena con cemento  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Peso del triturado de 3/4  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



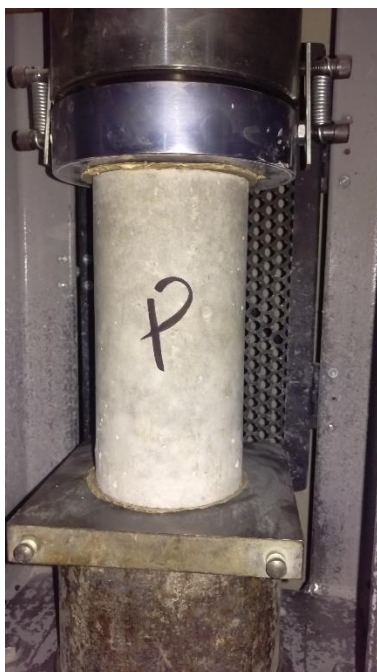
Fotografía: Peso de 6 % de pigmento para diseño de hormigón con triturado de 3/4  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



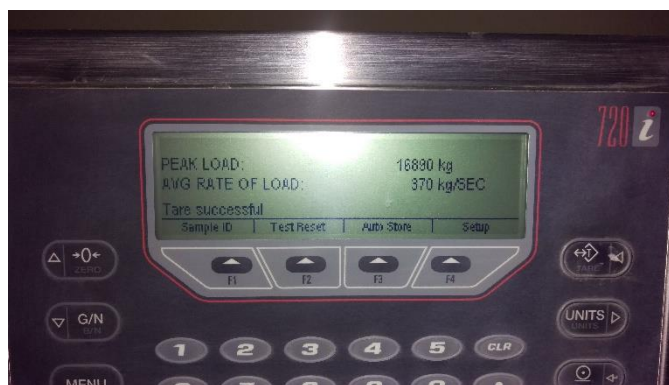
Fotografía: Peso de 8 % de pigmento para diseño de hormigón con triturado de 3/4  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



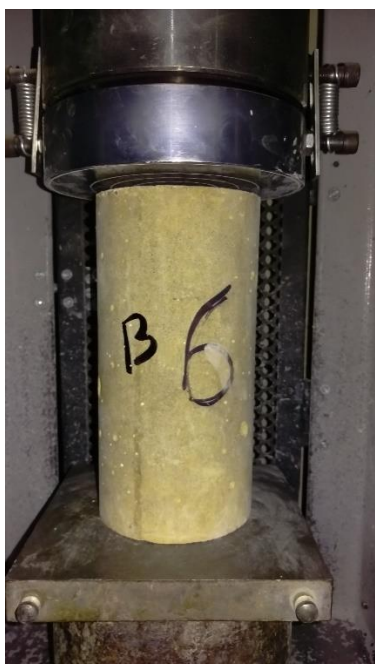
Fotografía: varillado de probeta  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



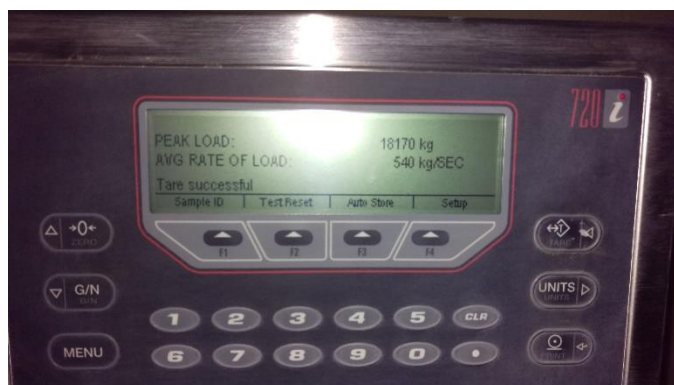
Fotografía: Cilindro hormigón con cemento Blanco  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Carga de rotura en kilogramos  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Cilindro hormigón con cemento blanco 6 % pigmento amarillo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Carga de rotura en kilogramos  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Cilindro hormigón con cemento blanco 6 % pigmento rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



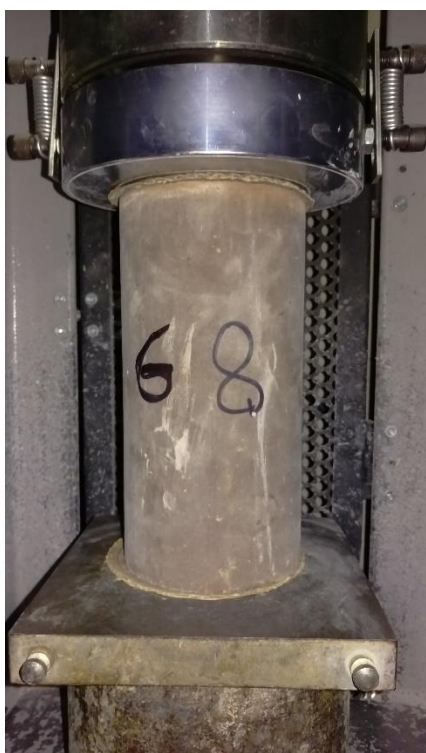
Fotografía: Carga de rotura en kilogramos  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Cilindro hormigón con cemento gris 6 % pigmento rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



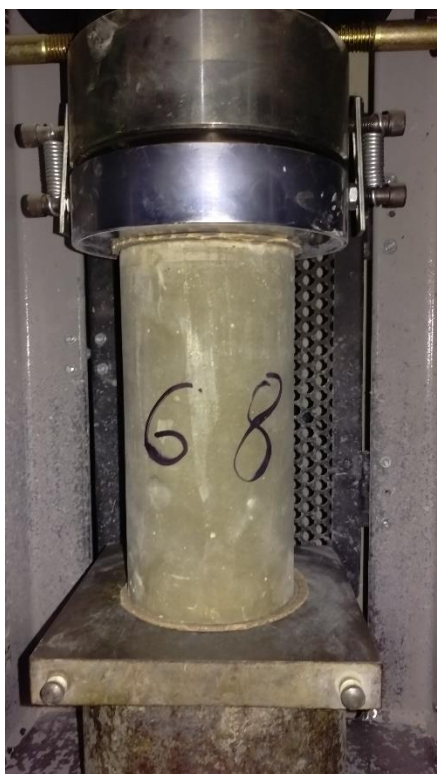
Fotografía: Carga de rotura en kilogramos  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



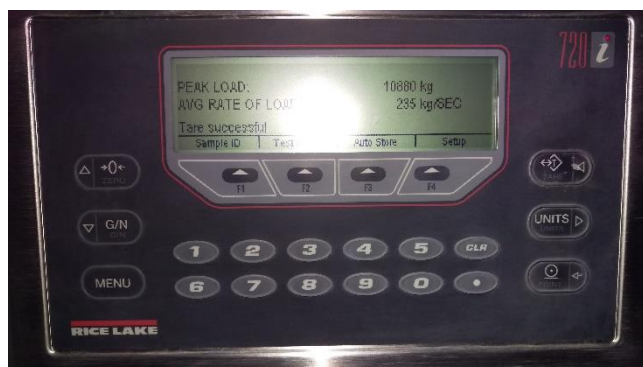
Fotografía: Cilindro hormigón con cemento gris 8 % pigmento rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Carga de rotura en kilogramos  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Cilindro hormigón con cemento gris 8 % pigmento amarillo.  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Carga de rotura en kilogramos  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Cilindro hormigón con cemento blanco 8 % pigmento rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Carga de rotura en kilogramos  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Cilindro hormigón con cemento gris 6 % pigmento amarillo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Carga de rotura en kilogramos  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



Fotografía: Cilindro hormigón con cemento blanco 8 % pigmento amarillo  
Fuente: Paúl Guzmán



Fotografía: Carga de rotura en kilogramos  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán



*Fotografía: Ensayo de flexión,  
cemento blanco puro  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Resistencia a flexión  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Ensayo de flexión,  
cemento blanco 6% pigmento rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Resistencia a flexión  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Resistencia a flexión  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*

*Fotografía: Ensayo de flexión, cemento gris 8% pigmento rojo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Resistencia a flexión  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*

*Fotografía: Ensayo de flexión, cemento gris 8% pigmento amarillo  
Fuente: Paúl Guzmán  
Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Ensayo de flexión, cemento blanco 6% pigmento amarillo*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*



*Fotografía: Resistencia a flexión*  
*Fuente: Paúl Guzmán*  
*Elaboración: Paúl Guzmán*

**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL**

Yo, Jonnathan Paúl Guzmán Ávila portador de la cédula de ciudadanía N° 0105511612. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES UTILIZADOS EN ESPACIOS EXTERIORES" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 01 de octubre del 2018



F: .....  
Jonnathan Paúl Guzmán Ávila  
C.I. 0105511612