

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL Y EL HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES

AUTOR: QUIJIJE LAGE MIRIAM BIRMANIA

TUTOR: ING. MG. CARLOS NAVARRO

Ambato-Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, ING. MG. CARLOS PATRICIO NAVARRO PEÑAHERRERA, en calidad de Tutor del Trabajo de investigación sobre el tema: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL Y EL HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES" de la Srta. Miriam Birmania Quijije Lage, egresada de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, certifico que dicha investigación se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría.

Ambato, abril del 2017

Ing. Mg. Carlos Navarro

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Miriam Birmania Quijije Lage de C.I. 172477802-0, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Carrera de Ingeniería Civil, certifico que los criterios emitidos en el trabajo de investigación: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL Y EL HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES" son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autora de este trabajo**.**

Ambato, abril del 2017

Miriam Birmania Quijije Lage

AUTORA

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto de investigación experimental o parte del mismo, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi proyecto de investigación experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato, siempre y cuando esta reproducción no suponga ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.

Ambato, abril del 2017

Miriam Birmania Quijije Lage

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, prueban el informe de investigación, sobre el tema: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL Y EL HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES" de la egresada Miriam Birmania Quijije Lage de la Carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, mayo del 2017

Para constancia firman:

_____

Ing. Mg. Galo Núñez

_____

Ing. Mg. Geovanny Paredes

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado principalmente a Dios, el que ha permitido que mis padres me acompañen durante el trayecto de mi vida y me dio la sabiduría y la fuerza para alcanzar mis objetivos.

A mi padre, Peter Salcedo, por brindarme su apoyo incondicional y creer en mí a pesar de las circunstancias adversas, a quien le debo lo que soy.

A mi madre, Miriam Lage, por ser ejemplo de sacrificio y fortaleza.

A mis hermanos, por ser la fuerza que como mujer me faltaba.

A toda mi familia, por estar pendiente de mis pasos y celebrar conmigo mis victorias.

Miriam Quijije

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar mi camino y permitirme llegar tan lejos.

A mi familia, por ser el principal pilar de apoyo constante, quienes han sido mi inspiración diaria.

A mis amigos y compañeros, quienes compartieron esta etapa conmigo.

A mi tutor, Ing. Mg. Carlos Navarro por su profesionalismo y guía en el desarrollo del proceso de investigación.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, especialmente a Ing. Msc Maritza Ureña, Ing. Mg. Eduardo Paredes, Ing. Mg. Byron Cañizares por su brindarme su ayuda y conocimiento.

Miriam Quijije

ÍNDICE GENERAL

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CARÁTULA I

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR II

AUTORÍA DEL TRABAJO III

DERECHOS DEL AUTOR IV

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO V

DEDICATORIA VI

AGRADECIMIENTO VII

ÍNDICE GENERAL VIII

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES X

ÍNDICE DE GRÁFICAS XI

ÍNDICE DE TABLAS XII

RESUMEN EJECUTIVO XVI

B. TEXTO

CAPÍTULO I 1

ANTECEDENTES 1

1.1. Tema del trabajo experimental 1

1.2. Antecedentes 1

1.3. Justificación 3

1.4. Objetivos 4

1.4.1. Objetivo General 4

1.4.2. Objetivos Específicos 5

CAPÍTULO II 6

FUNDAMENTACIÓN 6

2.1. Fundamentación teórica 6
2.1.1. Hormigón 6
2.1.2. Hormigón pigmentado 19
2.2. Hipótesis 60
2.3. Señalamiento de las variables de la hipótesis 60
2.3.1. Variable independiente 60
2.3.2. Variable dependiente 60
CAPÍTULO III 61
METODOLOGÍA 61
3.1. Nivel o tipo de investigación 61
3.2. Población y muestra 61
3.2.1. Delimitación de la muestra 62
3.3. Operacionalización de variables 62
3.3.1. Variable independiente 63
3.3.2. Variable dependiente 64
3.4. Plan de recolección de información 65
3.5. Plan de procesamiento y análisis 66
CAPÍTULO IV 67
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 67
4.1. Recolección de datos 67
4.2. Análisis de resultados 101
4.2.1. Resistencia a compresión 101
4.2.2. Análisis Costo – Beneficio 109
4.3. Verificación de hipótesis 118
CAPÍTULO V 119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 119
5.1. Conclusiones 119

5.2. Recomendaciones..... 120

C. MATERIAL DE REFERENCIA

1. Referencias..... 122

2. Anexos..... 125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cemento Portland..... 7
Ilustración 2. Cemento Portland Blanco 8
Ilustración 3. Áridos para el hormigón 9
Ilustración 4. Edificio Patio Alameda de Hormigón Pigmentado..... 19
Ilustración 5. Pigmentos en la prehistoria 24
Ilustración 6. Carmín de la cochinilla 25
Ilustración 7. Color púrpura de Tiro 25
Ilustración 8. Variedad de colores de pigmentos 26
Ilustración 9. Pigmento granulado obtenido por atomización 31
Ilustración 10. Pigmento compactado..... 31
Ilustración 11. Calcantita en estado natural 32
Ilustración 12. Calcantita al contacto con el aire 33
Ilustración 13. Remolacha..... 34
Ilustración 14. Polvo de remolacha atomizado 35
Ilustración 15. Efecto del tipo del cemento en el color del hormigón 43
Ilustración 16. Efecto del tipo de agregados en el color del hormigón..... 43
Ilustración 17. Efecto del porcentaje de pigmento añadido en el color de hormigón 43
Ilustración 18. Efecto de la relación agua/cemento en el color del hormigón 44
Ilustración 19. Acera con hormigón pigmentado..... 48
Ilustración 20. Muro de hormigón pigmentado..... 48
Ilustración 21. Adoquines de hormigón pigmentado 49
Ilustración 22. Adoquines de hormigón pigmentado 49
Ilustración 23. Bloques de hormigón pigmentado 50

Ilustración 24. Pisos de hormigón pigmentado impreso 50
Ilustración 25.Gradas de Hormigón pigmentado 51
Ilustración 26. Ciclovía, Sao Paulo, Brasil 51
Ilustración 27. Muro de hormigón pigmentado con texturas 52
Ilustración 28. Borde de piscina de hormigón pigmentado impreso 52
Ilustración 29. Esculturas de hormigón pigmentado 53
Ilustración 30. Costanera Estrecho de Magallanes de Punta Arenas, Chile 53
Ilustración 31. Casa Mirador, Chile. 54
Ilustración 32. Museo de la Cultura, Paracas, Perú 54
Ilustración 33. Edificio Patio Alameda UC, Chile 55
Ilustración 34. Bodega Pago de Carraovejas, España. 55
Ilustración 35. Biblioteca Pública y Auditorio Curno, Italia 56
Ilustración 36. Estación de Bomberos de Vierschach, Italia 56
Ilustración 37. Museo Oteiza, España 57
Ilustración 38. Prisma de Newton 57
Ilustración 39. Diagrama de cromaticidad CIE 58
Ilustración 40. Sistema de Coordenadas RGB 59
Ilustración 41. Modelo CMY 59
Ilustración 42. Sistema de coordenadas HSV 60

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Variación de la intensidad del color según el porcentaje de pigmento añadido 30
Gráfica 2. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón tradicional 102
Gráfica 3. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón con cemento gris y pigmento mineral (calcantita) 103
Gráfica 4. Hormigón tradicional y hormigón con pigmento natural mineral (calcantita) 104
Gráfica 5. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón con cemento gris y pigmento natural vegetal (remolacha) 105

Gráfica 6. Hormigón tradicional y hormigón con pigmento natural vegetal (remolacha) 106
Gráfica 7. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales..... 107
Gráfica 8. Hormigón tradicional (gris) y hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales 107
Gráfica 9. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón con cemento gris y pigmento sintético 108
Gráfica 10. Hormigón tradicional y hormigón con pigmento sintético 109
Gráfica 11. Costo por m2 110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de Granulometría del árido fino 9
Tabla 2. Límites de Granulometría del árido grueso 10
Tabla 3. Clasificación de la consistencia según el Cono de Abrams 12
Tabla 4. Factores que influyen la resistencia del hormigón 14
Tabla 5. Relación agua/ cemento 16
Tabla 6. Cantidad de pasta 16
Tabla 7. Efecto de los aditivos en el hormigón Pigmentado 22
Tabla 8. Composición química de algunos pigmentos a base de óxidos 28
Tabla 9. Tamaño medio de las partículas de los pigmentos 29
Tabla 10. Porcentajes indicativos de absorción de agua de óxidos 29
Tabla 11. Variaciones del color del hormigón 42
Tabla 12. Matriz de variable independiente 63
Tabla 13. Matriz de variable dependiente 64
Tabla 14. Preguntas básicas de recolección de información 65
Tabla 15. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 66
Tabla 16. Densidad real de cementos 68
Tabla 17. Granulometría del agregado fino 69
Tabla 18. Granulometría del agregado grueso 70
Tabla 19. Densidad aparente de los agregados 71

Tabla 20. Densidad aparente de la mezcla 72
Tabla 21. Densidad real de los agregados 73
Tabla 22. Capacidad de absorción y Contenido de humedad de los agregados 74
Tabla 23. Dosificación del hormigón para cemento gris 75
Tabla 24. Dosificación del hormigón para cemento blanco 76
Tabla 25. Corrección por humedad de dosificaciones 77
Tabla 26. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón tradicional con cemento gris. 78
Tabla 27. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón con pigmento mineral (calcantita) con cemento gris 79
Tabla 28. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón con pigmento vegetal (remolacha) con cemento gris 80
Tabla 29. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón con pigmentos naturales con cemento blanco 81
Tabla 30. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón con pigmento sintético con cemento gris. 82
Tabla 31. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón tradicional 83
Tabla 32. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 4% de pigmento mineral (calcantita) 84
Tabla 33. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 7% de pigmento mineral (calcantita) 85
Tabla 34. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 10% de pigmento mineral (calcantita) 86
Tabla 35. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 15% de pigmento vegetal (remolacha) 87
Tabla 36. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 30% de pigmento vegetal (remolacha) 88
Tabla 37. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 45% de pigmento vegetal (remolacha) 89
Tabla 38. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales (calcantita y remolacha) 90
Tabla 39. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 7% de pigmento sintético 91

Tabla 40. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón tradicional 92
Tabla 41. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 4% de pigmento mineral (calcantita) 93
Tabla 42. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 7% de pigmento mineral (calcantita) 94
Tabla 43. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 10% de pigmento mineral (calcantita) 95
Tabla 44. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 15% de pigmento vegetal (remolacha)..... 96
Tabla 45. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 30% de pigmento vegetal (remolacha)..... 97
Tabla 46. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 45% de pigmento vegetal (remolacha)..... 98
Tabla 47. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales (calcantita y remolacha) 99
Tabla 48. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 7% de pigmento sintético 100
Tabla 49. Resumen de resistencia a compresión de cilindros: hormigón con cemento gris..... 101
Tabla 50. Resumen de resistencia a compresión de cilindros: hormigón con cemento blanco 101
Tabla 51. Resistencia a la compresión: hormigón tradicional 102
Tabla 52. Resistencia a la compresión: Hormigón con cemento gris con pigmento mineral (calcantita)..... 103
Tabla 53. Resistencia a la compresión: Hormigón con cemento gris con pigmento vegetal (remolacha)..... 105
Tabla 54. Resistencia a la compresión: Hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales 106
Tabla 55. Resistencia a la compresión: Hormigón con cemento gris con pigmento sintético 108
Tabla 56. Análisis Costo – Beneficio..... 109
Tabla 57. APU H.S. f'c=240 kg/cm2, e=18cm..... 111

Tabla 58. APU Cerámica para pisos 30x30 112
Tabla 59. APU H.S. Pigmentado (calcantita) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm..... 113
Tabla 60. APU H.S. Pigmentado (remolacha) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm..... 114
Tabla 61. APU H.S. Pigmentado (calcantita) con cemento blanco f'c=240 kg/cm2, e=20 cm..... 115
Tabla 62.APU H. S. Pigmentado (remolacha) con cemento blanco f'c=240 kg/cm2, e=20 cm..... 116
Tabla 63. APU H. S. Pigmentado (sintético) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm..... 117

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación pretende proveer información del hormigón pigmentado, sus beneficios y aplicaciones en la construcción.

Previamente se realizaron los respectivos ensayos de los componentes del hormigón como se indica en las especificaciones de la NTE INEN, con el fin de diseñar la dosificación del hormigón tradicional de f'c=240 Kg/cm^2 con el Método de la Universidad Central, la cual se usa como base para las dosificaciones de hormigón pigmentado.

Esta investigación experimental analiza los efectos que provoca la adición de pigmentos naturales en las propiedades del hormigón en estado fresco (trabajabilidad, consistencia, homogeneidad y densidad), siendo utilizados la calcantita como pigmento natural mineral y la remolacha como pigmento natural vegetal, adicionalmente se considera el hormigón con pigmento sintético.

Se diseñaron varias dosificaciones de hormigón para ser elaboradas: hormigón con cemento gris y 4%, 7% y 10% de pigmento natural mineral (calcantita) con respecto al peso del cemento, hormigón con cemento gris y 15%, 30% y 45% de pigmento natural vegetal (remolacha) en reemplazo parcial del agua, hormigón con cemento blanco y 10% pigmento natural mineral (calcantita) con respecto al peso del cemento, hormigón con cemento blanco y 30% de pigmento natural vegetal (remolacha) en reemplazo parcial del agua y hormigón con cemento gris y 7% de pigmento sintético con respecto al peso del cemento; para determinar la dosificación óptima mediante el análisis de la resistencia a compresión de las muestras a los 7, 14, 21 y 28 días de edad según corresponda.

Las muestras fueron elaboradas según las especificaciones de la Norma INEN 1576, siendo un total de 93 probetas cilíndricas de objeto de estudio.

ABSTRACT

The present research project aims to provide information about pigmented concrete, its benefits and applications in construction.

Previously the respective tests of concrete components were carried out as indicated in the specifications of the NTE INEN, in order to design the dosage of the traditional concrete for f'c = 240 Kg/cm2 through the Universidad Central´s Method, which is used as the base for the dosages of pigmented concrete.

This experimental research analyzes the effects of the addition of natural pigments on the properties of concrete in the fresh state (workability, consistency, homogeneity and density), using calcantite as a natural mineral pigment and beet as a natural vegetable pigment, additionally the concrete with synthetic pigment is considered.

Several concrete dosages were designed to be made: concrete with gray cement and 4%, 7% and 10% of natural mineral pigment (calcantite) with respect to the weight of cement, concrete with gray cement and 15%, 30% and 45% of natural vegetable pigment (beet) in partial replacement of the water, concrete with white cement and 10% natural mineral pigment (calcantite) with respect to the weight of the cement, concrete with white cement and 30% of natural vegetal pigment (beet) in partial replacement of the water and concrete with gray cement and 7% synthetic pigment with respect to the weight of cement; to determine the optimum dosage by analyzing the compressive strength of specimens at 7, 14, 21 and 28 days of age as appropriate.

The samples were elaborated according to the specifications of the NTE INEN 1576, being a total of 93 cylindrical specimens of object of study.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. Tema del trabajo experimental

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL Y EL HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES

1.2. Antecedentes

El hormigón a través de los tiempos ha estado presente de manera indispensable en cualquier proyecto constructivo, debido a las propiedades que benefician a la vida útil de los mismos. En el punto de vista estructural, es principalmente utilizado por la resistencia a compresión, además por la plasticidad que adquiere en estado fresco puede obtener la forma deseada para un fin estético una vez endurecido.

El área constructiva desarrolla nuevas tecnologías que se van ajustando al avance de la sociedad y sus necesidades. Principalmente, se presentan innumerables técnicas con el propósito de reducir el tiempo de ejecución, mano de obra, y por qué no, los costos. Así mismo, nuevas ideas para el diseño y estética de las edificaciones que resulta llamativo a nuestros sentidos. Es el color, el que despierta intensas emociones en el ser humano. Una edificación, además de resultar funcional y estética, debe provocar fascinación. Una de las tantas técnicas que logra este efecto es el hormigón arquitectónico.

El hormigón arquitectónico es el que está expuesto a la vista con variaciones de color y texturas sin tratamientos posteriores al encofrado [1]. El color en el hormigón quita la monotonía, ofreciendo belleza, brindando a los espectadores diferentes reacciones como tranquilidad, alegría e incluso pasión [2]. Se denomina hormigón pigmentado o coloreado cuando se otorga color al hormigón. "La técnica de dar color al hormigón se desarrolló después de la Segunda Guerra Mundial, y en sus inicios se aplicó en la prefabricación, hasta la década de los años 80 cuando comenzó a utilizarse directamente en la obra." [3],

Para conseguir este efecto se requiere la utilización de pigmentos, aunque no es el único método. En Europa, esta tendencia ha logrado una gran acogida. Asimismo,

en países del mundo como Estados Unidos, México, Chile, Argentina, Brasil, Perú, Colombia, entre otros, donde se encuentran obras importantes de hormigón arquitectónico pigmentado.

Existe también la normativa correspondiente para alcanzar las propiedades de un hormigón pigmentado eficiente:

- Norma española: UNE-EN 12878 "Pigmentos para la coloración de materiales de construcción fabricados a partir de cemento y/o cal. Especificaciones y métodos de ensayo",
- Norma Mexicana: NMX-C-313 "Industria de la Construcción - Cemento Portland - Morteros y Concretos - Pigmentos",
- Norma Americana: C-979 "Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete".
- Norma Britanica: BS 1014:1975 "Specification for pigments for Portland cement and Portland cement products"
- Norma Alemana: DIN 53 237 "Pigments for colouring cement-based and lime-based building materials"

Varios estudios se han desarrollado con el objetivo de analizar el comportamiento del hormigón pigmentado hasta ahora:

Carvalho, F. expuso su tesis doctoral con el tema "ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN COLOREADO" en la Universidad Politécnica de Madrid, España (2002). "Carvalho ha estudiado la influencia de la relación agua/cemento, el empleo de cemento blanco y gris y pigmentos inorgánicos en el hormigón coloreado, sometiéndolo a distintos tratamientos de envejecimiento como ciclos de humedad-sequedad, exposición a la intemperie, cámara estándar y cámara climática" [2].

Positieri, María Josefina en su tesis doctoral con el tema "PROPIEDADES FISICOMECÁNICAS Y DURABILIDAD DEL HORMIGÓN COLOREADO" en la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina (2005) donde "se determinan sus propiedades en estado fresco y endurecido y su desempeño con respecto a la estabilidad del color y alteraciones superficiales, realizando un aporte especial en

cuanto al análisis de las mediciones de color y la exposición del hormigón coloreado a ciclos de envejecimiento acelerado" [2].

Castro, Marcela en la tesis para el título de ingeniero constructor con el tema "HORMIGÓN CON PIGMENTOS DE COLOR" en la Universidad Austral De Chile, Chile (2005) realiza ensayos donde analiza las variaciones que se producen en las propiedades del hormigón con la adición de pigmentos en polvo.

Zamboni, Angela presento su tesis de posgrado con el tema "ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE PIGMENTOS EM PROPRIEDADES DE DURABILIDADE E NA CROMACIDADE DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND BRANCO" en la Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2009), esta investigación tiene como objetivo evaluar la influencia de la adición de pigmentos en algunas propiedades de durabilidad y de cromaticidad de hormigón de cemento Portland blanco.

Existen estudios similares aparte de los mencionados, además de artículos publicados, seminarios y otros con el propósito de brindar conocimiento acerca del hormigón pigmentado en la construcción.

1.3. Justificación

La técnica de colorear el hormigón aparece para disipar la monotonía del color gris natural que da la sensación de una obra inconclusa. Por esto el hormigón coloreado o pigmentado se ha utilizado con más frecuencia para mejorar la estética de las construcciones. Alrededor del mundo se ha observado que el color se mantiene entre 25 años o más, es por esto que representa un beneficio en ahorro de acabados y mantenimiento a largo plazo. [4] Su método de producción es sólo ligeramente diferente a la elaboración del hormigón tradicional. El pigmento usa como ligante al cemento que tiene como objetivo mantener unidos el conjunto de elementos base que forman el hormigón y es ahí donde éste toma color. Es necesario tener ciertas condiciones de amasado para lograr un efecto uniforme. [5]

Los pigmentos pueden clasificarse según su tono de color, según su composición química y según sus propiedades. Generalmente se clasifican según su

procedencia: naturales y sintéticos. Dentro de los pigmentos naturales se encuentran: los pigmentos minerales, los de origen animal y origen vegetal. [6]

En varios países ya mencionados en el literal 1.1 se han originado y comercializado pigmentos sintéticos, estos se basan en las normas que controlan los requisitos y los métodos de ensayos para los pigmentos empleados en los materiales de construcción. [7] La dosificación utilizada de pigmento sintético es un 3% al 10% con respecto al peso del cemento. No se recomienda utilizar dosificaciones mayores debido a que puede perjudicar las propiedades mecánicas del hormigón. [8]

En Ecuador, el uso de los pigmentos no ha logrado un gran impacto en la construcción debido a que no se encuentran los materiales en nuestro medio, además que no se han realizado los estudios respectivos para determinar el comportamiento de este tipo de hormigones.

Esta investigación pretende presentar pigmentos naturales que existen en el mercado y se consiguen con facilidad, que se puedan utilizar sin contrarrestar las propiedades mecánicas del hormigón en obra. El pigmento natural mineral considerado es la calcantita y el pigmento natural vegetal es la remolacha.

La calcantita ha sido utilizada de forma empírica para pigmentar hormigón fraguado en pisos sin ninguna referencia técnica, debido a que logra un color verde azulado agradable a la vista y resulta económico como acabado. [9] La remolacha se ha aplicado como pigmento en paredes obteniendo tintes púrpuras y rojos profundos. [10] Esta investigación analiza el efecto que provoca en la resistencia a compresión al agregar pigmentos naturales en el hormigón tradicional.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón tradicional, hormigón con pigmento mineral y hormigón con pigmento vegetal.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la aplicabilidad del hormigón pigmentado en la construcción.
- Realizar la dosificación del material para la adición de diferentes porcentajes del pigmento mineral y pigmento vegetal y establecer las dosificaciones óptimas para cada pigmento en función de la resistencia.
- Determinar la variación en la resistencia a compresión entre el hormigón tradicional, hormigón con pigmento mineral y hormigón con pigmento vegetal.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Fundamentación teórica

2.1.1. Hormigón

El hormigón es una piedra artificial compuesta básicamente por agua, cemento y áridos. En ocasiones se requiere que el hormigón obtenga características especiales añadiendo aditivos que modifican sus propiedades.

2.1.1.1. Componentes del hormigón

Agua

El agua participa en las reacciones de hidratación del cemento y además confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. [11]

El agua utilizada para el amasado y curado deber ser potable (NTE INEN 1108). Si el agua no es potable debe ser examinada en un laboratorio químico y comprobar que no contenga concentraciones peligrosas de sulfatos u otras substancias químicas que puedan ser dañinas para el hormigón o el acero de refuerzo. [12] No se recomienda usar agua de mar debido al alto efecto corrosivo frente a las armaduras.

Se debe usar la cantidad mínima necesaria de agua durante el amasado ya que puede provocar espacios vacíos en el hormigón, que disminuyen su resistencia. "Cada litro de agua de amasado añadido de más a un hormigón equivale a una disminución de 2 Kg de cemento". [11] Además se recomienda curar al hormigón con abundante agua para que las partículas de cemento reaccionen favorablemente a la cohesión. [13]

Cemento Portland

Los cementos son polvos finos que se obtienen a partir de altas temperaturas aproximadamente a 1450ºC, y trituración de una mezcla mineral (60% caliza + 40% arcilla). El cemento actúa como material ligante en el hormigón. Junto con el agua forma una pasta moldeable que endurece progresivamente. [14]



Ilustración 1. Cemento Portland

Fuente: http://www.tipos.co/tipos-de-cemento/

Según la NTE INEN 152 [15] cubre diez tipos de cemento portland, enumerados a continuación:

Tipo I: Uso común.

Tipo IA: Tipo I con incorporador de aire.

Tipo II: Moderada resistencia a los sulfatos, moderado calor de hidratación.

Tipo IIA: Tipo II con incorporador de aire

Tipo II (MH): Moderado calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo II (MH) A: Tipo II (MH) con incorporador de aire.

Tipo III: Alta resistencia inicial o temprana.

Tipo IIIA: Tipo III con incorporador de aire.

Tipo IV: Bajo calor de hidratación.

Tipo V: Alta resistencia a la acción de los sulfatos.

Generalmente, para la fabricación de hormigones se utiliza cemento Portland tipo I.

Cemento blanco

Se utiliza de la misma forma que el cemento gris, ya que tiene la misma resistencia e incluso mayores. El cemento blanco es un tipo de cemento portland de blancura mayor al 85% debido a la ausencia de óxidos férricos.



Ilustración 2. Cemento Portland Blanco

Fuente: http://lacasadelapintura.com/

Densidad real del cemento

La densidad del cemento hidráulico está definida como la masa de un volumen unitario de los sólidos. Se determina mediante las especificaciones indicadas en NTE INEN 156. El valor varía muy poco entre las diferentes marcas y tipos de cemento y oscila alrededor de 3.0 g/cm^3.

Relación agua/cemento

La relación agua/cemento (w/c) es uno de los factores más importantes ya que influye en la calidad del hormigón principalmente en su resistencia. A menor proporción, mayor resistencia, pero complica la trabajabilidad. La resistencia del hormigón es la función inversa de la relación w/c. [13]

Áridos

Los áridos constituyen alrededor del 75% del hormigón. Se considera árido fino, agregado fino o arena a las partículas de tamaños menores de 5 mm y árido grueso, agregado grueso o grava aquellas partículas de tamaños mayores de 5mm. Para la elaboración de hormigones deben cumplir con las especificaciones de NTE INEN 872



Ilustración 3. Áridos para el hormigón

Fuente: http://manualesdearquitectura.blogspot.com/

Árido fino o arena

La arena suele dividirse en arena gruesa y arena fina, siendo sus partículas de tamaño mayores de 2mm y menores de 2 mm respectivamente. [11] La arena para elaboración de hormigones puede ser natural, triturada o una mezcla de ambas. La granulometría recomendada según NTE INEN 872 y ASTM C33 es la siguiente:

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

Tabla 1. Límites de Granulometría del árido fino

Fuente: NTE INEN 0872 [16]

Árido grueso o grava

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

Tamiz ASTM	Tamiz INEN	Porcentaje que pasa
2”	53 mm	100
1 ½”	37.5 mm	95 a 100
1”	26.5 mm	-
¾”	19 mm	35 a 70
½”	13.2 mm	-
3/8”	9.5 mm	10 a 30
#4	4.75 mm	0 a 5

Tabla 2. Límites de Granulometría del árido grueso

Fuente: NTE INEN 0872[16]

Módulo de finura

El módulo de finura de un árido es la centésima parte de la suma de los retenidos, expresados en porcentaje en los tamices #100 - #50 - #30 - #16 - #8 - #4 – 3/8” – ¾”, etc. Se recomienda que el módulo de finura considerado para el árido fino como componente del hormigón debe oscilar entre 2,3 y 3,1. [13]

Tamaño nominal máximo

Es el tamaño del tamiz anterior al tamiz donde quedó retenido el 15% o más del material en estudio. [13] se recomienda utilizar árido grueso con tamaño nominal máximo entre el tamiz ¾” y 2” para hormigones eficientes.

Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre la masa del agregado que ocupa el recipiente y el volumen del recipiente. Se la denomina densidad aparente debido a la presencia de vacíos entre las partículas. Puede determinarse con el material suelto o compactado mediante las especificaciones de NTE INEN 858

Densidad real

La densidad real es la relación entre la masa del agregado en estado saturado superficie seca (sss) y el volumen del material. Se determina mediante las especificaciones de NTE INEN 857 para el agregado grueso y NTE INEN 856 para

el agregado fino. Es recomendable utilizar áridos con densidades superiores a 2.5 kg/dm³, valores menores son considerados materiales de mala calidad.

Capacidad de absorción

Se considera que el material en una condición saturada superficie seca (sss) está en equilibrio, ya que no puede absorber más agua ni desalojarla. Los áridos llegan a una condición sss sin importar el estado anterior durante la elaboración del hormigón. "Cuanto más alta es la capacidad de absorción del agregado, este es de menor calidad" [13] Se determina mediante las especificaciones de NTE INEN 857 para el agregado grueso y NTE INEN 856 para el agregado fino.

Aditivos

Dreux [14] indica que se entiende por aditivo el producto que, añadido al hormigón en pequeña cantidad, permite mejorar ciertas propiedades o ciertas cualidades deseadas tanto para el hormigón fresco como para el endurecido.

J. Calleja [17] de modo más preciso dice que aditivo es todo producto que, añadido al conglomerado, pasta, mortero u hormigón, en el momento de su elaboración, en las condiciones adecuadas, en forma conveniente, en las dosis precisas, tiene como finalidad modificar en sentido favorable y con carácter permanente, las propiedades del conglomerado o, en su caso, conferírselas para su mejor comportamiento en todos o en algún aspecto, tanto en estado fresco como una vez fraguado y endurecido.

Según Alfredo Páez [18] se clasifican en los siguientes grupos:

a) Aceleradores del endurecimiento del hormigón
b) Agentes aireantes
c) Agentes plastificantes
d) Dispersantes de naturaleza tensoactiva
e) Agentes de curado
f) Reguladores de fraguado
g) Generadores de expansión controlada
h) Inhibidores de la corrosión de las armaduras
i) Detectores

j) Colorantes

2.1.1.2. Propiedades del hormigón

Hormigón en estado fresco

Trabajabilidad

La trabajabilidad o docilidad es la facilidad con la que se puede amasar y manipular en obra al hormigón mientras permanezca fresco, depende directamente de la cantidad de agua añadida a la masa. A mayor cantidad de agua, mayor trabajabilidad, pero debe tenerse en cuenta que no afecte a la resistencia a la cual fue diseñada.

Consistencia

La consistencia o asentamiento es la facilidad que tiene el hormigón para deformarse, depende principalmente del agua de amasado y de las características de los áridos que componen al hormigón. Puede medirse mediante el cono de Abrams especificado en NTE INEN 1578. La apreciación de la consistencia debe tomarse con responsabilidad ya que permite clasificar a los hormigones de la siguiente manera:

Descenso (cm)	Hormigón	Colocación en obra
0-2	Muy seco	Vibración potente
3-5	Seco	Buena vibración
6-9	Plástico	Vibración corriente
10-13	Blando	Picado por barra
10-14	Muy blando a liquido	Suave picado por barra

Tabla 3. Clasificación de la consistencia según el Cono de Abrams

Fuente: George Dreux [14]

Homogeneidad

Se puede estimar la distribución de los diferentes componentes del hormigón en toda la masa en estado fresco. La homogeneidad puede verse afectada por la segregación y la decantación. [11]

Peso específico

El peso específico indica la uniformidad del hormigón en estado fresco compactado o sin compactar. [11]

Hormigón en estado endurecido

Peso específico

Depende de las características de los áridos empleados y el método de compactación. El peso específico será mayor si el peso específico de los agregados es mayor, asimismo podría ser mayor cuanto mejor este compactado. [11]

Compacidad

La compacidad está ligada al peso específico. Tiene una relación directa con la resistencia, a mayor compacidad el hormigón desarrolla mejor resistencia tanto mecánica, física y química debido a una porosidad mínima que no permite que afecten los agentes externos. [11]

Permeabilidad

El factor más influyente en la permeabilidad es la relación agua/ cemento, mientras ésta sea menor, también disminuye la permeabilidad, de esta forma el agua tiene menos probabilidades de penetrar en el hormigón. Los ensayos solo pueden efectuarse en probetas obtenidas in situ del hormigón endurecido.

Resistencia al desgaste

El hormigón debe presentar una gran resistencia al desgaste por ejemplo en pavimentos de carreteras o interiores de construcciones industriales, donde se requiere que emplear un hormigón seco debido a que la lechada superficial es un elemento débil, fácilmente desgastable y productor de polvo. [11]

Resistencia a compresión

La resistencia a compresión se la mide mediante compresión axial de cilindros con altura de 30cm y diámetro de 15 cm que son muestras normadas. La resistencia a compresión también depende de la edad del hormigón, ésta aumenta hasta la edad

de 28 días (f'c). Existen muchos factores que modifican la resistencia como: tipo de cemento, tamaño y tipo de agregados, cantidad de agua (w/c), aditivos, proporciones, condiciones de curado, velocidad de aplicación de las cargas, fatiga, influencias de las altas temperaturas, normativas de ensayo, entre otras [13]

Cuando aumenta…	La trabajabilidad	La resistencia
La finura de la arena	Aumenta	Disminuye
La relación grava/arena	Disminuye	Aumenta
La cantidad de agua	Aumenta	Disminuye
El tamaño del árido	Disminuye	Aumenta
El contenido en aire ocluido	Aumenta	Disminuye

Tabla 4. Factores que influyen la resistencia del hormigón

Fuente: Santiago Medina [13]

Resistencia a tracción

Se pueden realizar varios ensayos para determinar la resistencia a tracción del hormigón: ensayo de tracción directa, ensayo de tracción por hendimiento (Ensayo Brasileño) y el ensayo de tracción por flexión. La resistencia a tracción representa alrededor del 10% de la resistencia a compresión. [14]

Retracción

"La retracción puede explicarse por la pérdida paulatina de agua en el hormigón", en el aire el volumen del hormigón se contrae y en el agua se entumece [11]. "Es un fenómeno de acortamiento que acompaña al fraguado del cemento, puede asimilarse a un descenso de la temperatura, con el consiguiente acortamiento." [14]

Dilatación

La dilatación térmica se considera 1x10E-5 como un promedio, pero depende de las características de los áridos y las cualidades propias del hormigón, por lo que podría variar entre 0.6x10E-5 a 1.4x10E-5. [14]

Fluencia

"Es un fenómeno de deformación diferida bajo carga fija aplicada indefinidamente" [14]

Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad es la relación entre esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, depende de las características de los componentes del hormigón.

Módulo de Poisson

El módulo de Poisson es la relación entre la deformación transversal y la deformación longitudinal en valores relativos, varía entre 0.15 a 0.30, generalmente se considera 0.20. [14]

2.1.1.3. Diseño de dosificación del hormigón tradicional

El diseño de hormigón se realiza mediante el Método de la Densidad óptima con los siguientes datos obtenidos de ensayos previos de los componentes para su elaboración:

DATOS	DENOMINACIÓN
Densidad real del cemento	DRC
Densidad real de arena	DRA
Densidad real del ripio	DRR
Densidad aparente suelta de arena	DSA
Densidad aparente suelta del ripio	DSR
Densidad aparente compactada de arena	DCA
Densidad aparente compactada del ripio	DCR
Porcentaje óptimo de arena	POA
Módulo de Finura de arena	MFA
Porcentaje óptimo de ripio	POR
Densidad óptima de la mezcla	DOM
Capacidad de absorción de arena	CAA
Capacidad de absorción del ripio	CAR

DATOS	DENOMINACIÓN
Contenido de humedad de arena	CHA
Contenido de humedad del ripio	CHR

1) Definición de relación agua/cemento: w/c

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'c) [MPa]	Relación agua/cemento (w/c)
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

Tabla 5. Relación agua/ cemento

Fuente: Santiago Medina [13]

2) Cálculo de Densidad real de la mezcla: DRM

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

3) Cálculo de Porcentaje óptimo de vacíos: POV

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

4) Cálculo de cantidad de pasta en porcentaje: CP% en función del asentamiento

Asentamiento en cm	Cantidad de pasta en %
0-3	POV + 2% + 3% (POV)
3-6	POV + 2% + 6% (POV)
6-9	POV + 2% + 8% (POV)
9-12	POV + 2% + 11% (POV)
12-15	POV + 2% + 13% (POV)

Tabla 6. Cantidad de pasta

Fuente: Santiago Medina [13]

5) Cálculo de cantidad de pasta por 1m³ de hormigón

$$CP = CP\% * 1000\ dm^3$$

6) Cálculo de cantidad de cemento en 1m3 de hormigón

$$C = \frac{CP}{\frac{w}{c} + \frac{1}{DRC}}$$

7) Cálculo de cantidad de agua en 1m3 de hormigón

$$W = \frac{w}{C} * C$$

8) Cálculo de cantidad de arena en 1m3 de hormigón

$$A = (1000\ dm^3 - CP) * DRA * POA/100$$

9) Cálculo de cantidad de ripio en 1m3 de hormigón

$$R = (1000\ dm^3 - CP) * DRR * POR/100$$

Corrección por humedad

Es necesario realizar corrección por humedad conveniente debido a que en los cálculos para el diseño de la dosificación del hormigón se considera que los áridos se encuentran en estado saturado superficialmente seco (sss). Los materiales que permanecen almacenados se encuentran en diferentes estados, variando el contenido de humedad.

Para el siguiente cálculo, se necesita determinar previamente la capacidad de absorción de los áridos y el contenido de humedad de los mismos en el lugar donde permanecen almacenados. A continuación, se calcula la diferencia de porcentaje de humedad:

$$\%\mathrm{H} = \%\ CA - \%CH$$

Donde:

%H: diferencia de porcentaje de humedad

CA: capacidad de absorción

CH: Contenido de humedad

Una vez obtenida la dosificación correspondiente para cada material, calcular la diferencia algebraica de la cantidad del agregado en kg y el producto de la diferencia de porcentaje de humedad y la cantidad del agregado en kg, es decir:

$$A - A * \%H_A = [Kg]$$

$$R - R * \%H_R = [Kg]$$

Donde:

A: cantidad de Arena en Kg

R: Cantidad de ripio en Kg

$\%H_A$: diferencia de porcentaje de humedad de arena

$\%H_R$: diferencia de porcentaje de humedad del ripio

Finalmente, realizar una suma algebraica de la cantidad de agua en litros y el producto entre el porcentaje de humedad de los áridos y la cantidad de los áridos en kg, respectivamente, es decir:

$$W + A * \%H_A + R * \%H_R$$

Donde:

W: cantidad de agua en litros

A: cantidad de Arena en Kg

R: Cantidad de ripio en Kg

$\%H_A$: diferencia de porcentaje de humedad de arena

$\%H_R$: diferencia de porcentaje de humedad del ripio

2.1.2. Hormigón pigmentado

El hormigón pigmentado está compuesto por agua, cemento, áridos y pigmentos. En caso de requerirse características especiales puede añadirse aditivos.

El hormigón pigmentado aparece con la idea de quitar la monotonía del color gris del hormigón tradicional añadiéndole color. El color logra atraer nuestra percepción visual debido a las diversas emociones y sensaciones que produce en el ser humano. El rojo, por ejemplo, provoca energía, pasión, excitación; el azul invade de calma y serenidad; el amarillo genera optimismo y creatividad; el verde induce esperanza y motivación. Es por ello que el hormigón arquitectónico pigmentado ha tenido gran aceptación en el medio, siendo así, las obras de ingeniería deslumbrantes ante la apreciación del individuo.

Además, representa un ahorro económico en material de acabado, mano de obra, tiempo de ejecución, y mantenimiento a largo plazo simplificando el proceso posterior al encofrado.

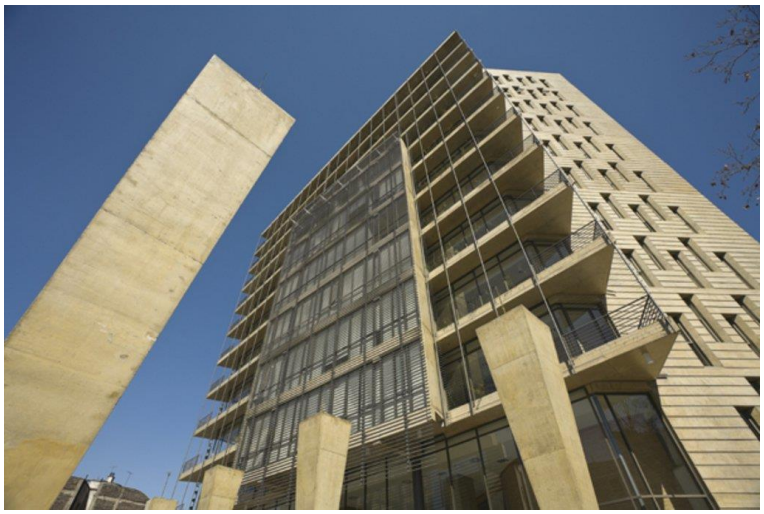


Ilustración 4. Edificio Patio Alameda de Hormigón Pigmentado

Fuente: http://www.plataformaarquitectura.cl/

2.1.2.1. Componentes del hormigón pigmentado

Agua

El agua utilizada para la fabricación del hormigón pigmentado cumple con los mismos requisitos mencionados en el numeral 2.1.1.1. Adicionalmente, Carvalho

[2] menciona que el agua debe estar libre de partículas que puedan provocar una variación en el color del hormigón como, por ejemplo, partículas de hierro en suspensión.

Cemento

El cemento cumple una parte fundamental en el hormigón pigmentado, ya que actúa como ligante del pigmento entre los demás componentes, es decir, el pigmento se mezcla con el cemento formando una pasta que envuelve a los demás agregados para colorearlos.

El color del cemento portland en general es gris, el tono varía debido a los procesos de extracción, fabricación y combinación entre diferentes marcas, por lo que se recomienda proveer el cemento de una sola fábrica, y que sea, además, del mismo tipo y clase. [2]

Cemento blanco

Se aconseja el uso de cemento blanco para obtener colores más intensos, más vivos, más alegres y proporcionan mayor uniformidad, además cuenta con las ventajas características del cemento gris. Para el cemento blanco se requiere una menor cantidad de pigmento que la empleada para colorear un cemento gris.

Relación agua/cemento

La relación agua/cemento (w/c) determina la trabajabilidad del hormigón y la apariencia en la superficie, además, el exceso de agua puede afectar la intensidad del color, disminuye la resistencia y aumenta la presencia de eflorescencias. Influye también en el tono, el brillo y la intensidad de la coloración que incrementa la luminosidad conforme lo hace la cantidad de agua. Para hormigones estructurales sabemos que, el aumento de agua disminuye la capacidad de resistencia, por lo que es necesario el equilibrio de la resistencia y la luminosidad dependiente de la relación w/c. La retracción hidráulica también puede verse afectada por esta relación, como prevención de fisuras poros saturados que originan tensión superficial se recomienda usar bajas cantidades de agua. [3]

Áridos

Los áridos para la elaboración del hormigón pigmentado son controlados por su color y granulometría. La granulometría necesaria se describe en el numeral 2.1.1.1., además, Carvalho [2] menciona que la granulometría debe mantenerse constante mediante un control rígido, que garantice la uniformidad de materiales para evitar cambios de trabajabilidad, variaciones de color o la textura del hormigón.

Al decidir sobre la combinación de los áridos finos y gruesos, debemos tener presente los requisitos básicos para el hormigón. El árido grueso es de mayor importancia para las superficies abiertas trabajadas, como por ejemplo, el martelinado, el sopeteado con arena y lavado, etc. La elección del árido fino es decisiva para la coloración de las superficies abiertas sin ningún tratamiento posterior, después de la remoción del encofrado [3]. Además, se debe tener en cuenta que el exceso de finos puede aclarar el color del hormigón, ya que tiene mayor superficie específica, lo que requiere mayor pasta de cemento pigmentada. [2]

En la elaboración del hormigón pigmentado, el árido grueso tiene un efecto dispersante más intenso en el mezclado, es decir, destruye fácilmente las aglomeraciones de pigmento. En caso de ser arena muy fina, el mezclado debe ser intensificado. [3]

Aditivos

Para el uso de aditivos es necesario corroborar mediante ensayos, que los aditivos empleados no perjudican el color del hormigón pigmentado, especialmente en caso de utilizar cemento portland blanco. La siguiente tabla describe algunos de los efectos que pueden causar los aditivos en el color del hormigón:

Aditivo	**Efecto en el hormigón Coloreado**
Plastificante	Facilita la dispersión del pigmento. Mayor homogeneización.
Oclusores de aire	A base de linosulfatos producen oscurecimiento de la superficie.
Reductor de agua	Facilita la compactación.

Aditivo	Efecto en el hormigón Coloreado
	Proporciona condiciones para la presencia de eflorescencias.
Productos hidrófugos	Evitan eflorescencias provocadas por el arrastre de sales en el agua.

Tabla 7.Efecto de los aditivos en el hormigón Pigmentado

Fuente: Carvalho [2]

Pigmentos

El pigmento es el componente característico de este tipo de hormigones, se considera como un aditivo ya que le proporciona al hormigón una cualidad especial: color, generalmente se solicita para hormigón visto o arquitectónico.

Los pigmentos son partículas muy finas, químicamente inertes e insolubles, que dotan de color al material al que se añaden. [3]

Se pueden agregar pigmentos al hormigón que cuenten con las siguientes características [2] [19] [20]:

- Tener gran poder colorante
- Asegurar y mantener su color original
- Soportar la influencia agresiva de la pasta de cemento fuertemente alcalina durante el fraguado
- Estables y no alterarse con la intemperie
- Resistentes a la luz
- Insolubles en agua mezclada
- No poseer sabor, ni olor desagradable
- Integrarse firmemente en la matriz del hormigón
- PH completamente estable

El hormigón pigmentado tiene gran acogida en diferentes países, por ello se crearon normas para su control y garantizar un comportamiento eficiente. En la DIN EN 12878: "Pigmentos para la coloración de materiales de construcción basados en cemento y/o cal. Especificaciones y ensayos", se recogen las características más importantes de los pigmentos para la coloración del hormigón, así como los

métodos de ensayo. Esta norma fue aprobada por el CEN (Comité Europeo de Normalización), emitida en 1999 y válida para todos los países miembros del CEN (Austria, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Islandia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza y el Reino Unido). Otros países contemplan esta norma a través de regulaciones nacionales. Las propiedades recogidas en la norma son las siguientes [21]:

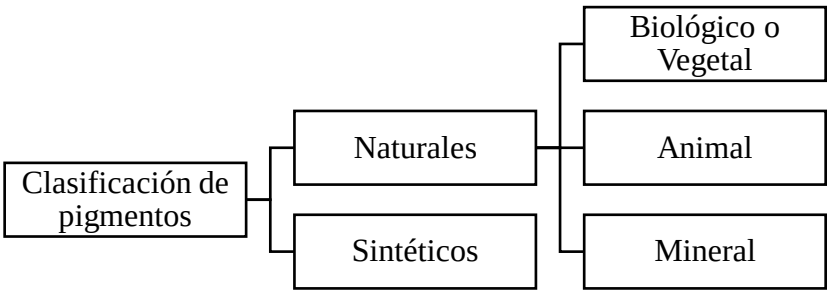
- Tiempo de fraguado
- Resistencia a la compresión
- Contenidos solubles (disolubilidad)
- Contenido total de cloro
- Resistencia relativa al color
- Estabilidad frente álcalis
- Resistencia a la meteorología (estable frente a los rayos UV, decoloración (bleaching), desangramiento (bleeding)
- Resistencia a la temperatura (calor)
- No representa un riesgo potencial para el medio ambiente (aunque no se menciona específicamente en esta norma, se incluye en el apartado de resistencia a la meteorología).

Otras normas similares son:

- Norma Mexicana: NMX-C-313 "Industria de la Construcción - Cemento Portland - Morteros y Concretos - Pigmentos",
- Norma Americana: ASTM C-979 "Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete".
- Norma Británica: BS 1014:1975 "Specification for pigments for Portland cement and Portland cement products"
- Norma Aleman: DIN 53 237 "Pigments for colouring cement-based and lime-based building materials"

Clasificación de Pigmentos

Los pigmentos pueden clasificarse según su tono de color, según su composición química y según sus propiedades. Generalmente se clasifican según su *procedencia* y así se distingue entre los pigmentos naturales y los pigmentos sintéticos: [6]



Cuadro 1. Clasificación de los pigmentos

Fuente: Egda. Miriam Quijije

Los pigmentos naturales han sido utilizados desde tiempos prehistóricos, y han sido fundamentales en las artes visuales a lo largo del tiempo, pero con una variedad de colores técnicamente limitada. La historia de los pigmentos naturales es muy extensa comenzando desde el hombre de las cavernas, quien pintaba las paredes de las cuevas expresando sus sentimientos con pigmentos que el mismo preparaba. [22]



Ilustración 5. Pigmentos en la prehistoria

Fuente: Jonathan Luzuriaga. [22]

Los pigmentos naturales son de origen: biológico o vegetal, animal y mineral.

Los pigmentos naturales biológicos o vegetales provienen de los pétalos de las flores, las hojas, las frutas, verduras, especias y algunas raíces, por ejemplo: carmín de alizarina, añil, acelga, espinaca, té verde, col rizada, perejil, algas, menta, remolacha, col roja, arándanos, moras, cerezas, frambuesas, fresas entre otras.

Los pigmentos naturales de origen animal usados son, por ejemplo: la cochinilla y el púrpura de Tiro del Murex brandaris, bolsas de tinta de la sepia entre otros.



Ilustración 6. Carmín de la cochinilla

Fuente: http://blogs.cornell.edu/intaggam245/2015/11/20/cochinilla/



Ilustración 7. Color púrpura de Tiro

Fuente: https://simboloabierto.wordpress.com/arte-fenicio-y-persa/

Los pigmentos naturales minerales provienen de tierras de colores, tenemos algunos ejemplos [10]:

- Pigmentos de arsénico: Verde de París

- Pigmentos de carbono: Negro de carbón, negro marfil, negro viña, negro de humo
- Pigmentos de cadmio: Verde de cadmio, rojo de cadmio, amarillo de cadmio, naranja de cadmio
- Pigmentos de óxidos de hierro: Caput mortuum, óxido rojo, ocre, ocre rojo, rojo veneciano
- Pigmentos de cobalto: Azul cobalto, azul cerúleo, violeta de cobalto, amarillo de cobalto
- Pigmentos de plomo: amarillo de Nápoles, rojo de plomo
- Pigmentos de cobre: Verde de París, verdigrís, azul egipcio
- Pigmentos de titanio: Blanco de titanio, amarillo de titanio, negro de titanio
- Pigmentos de mercurio: Bermellón
- Pigmentos de arcilla: Siena natural, Siena tostada, sombra natural, sombra tostada, ocre.



Ilustración 8. Variedad de colores de pigmentos

Fuente: Minga Verde Permacultura [10]

Los pigmentos utilizados específicamente para la coloración del hormigón son tales como: el óxido de hierro (para el negro, marrón, rojo y amarillo), dióxido de titanio (blanco), óxido de cromo (verde), cobalto que contiene una mezcla de metales óxidos (azul y verdiazules) y el carbón (para el negro oscuro). [21]

No se recomienda utilizar los siguientes: blanco de zinc, blanco de plomo, amarillo, anaranjado, rojo, y verde de cromo, amarillo de zinc, minio de plomo, rojo de cadmio, verde cobalto, azul de Paris, Berlín o Prusia. [19]

Los pigmentos naturales minerales son sometidos a varios procedimientos hasta conseguir un tamaño uniforme de las partículas y controlar su color garantizado por sus frabricantes. [3]

Pero estos pigmentos orgánicos no presentan suficiente resistencia a la metereología o ataques químicos, ni tampoco estabilidad ante los rayos UV. Los pigmentos colorean solamente un componente de la mezcla de hormigón, el cemento. Por este motivo, aparecen los pigmentos sintéticos, los cuales provienen de los mismos yacimientos minerales que los pigmentos naturales. [21] De igual modo, se deben escoger óxidos técnicamente puros, sin aditivos ni constituyentes secundarios, de un gran poder colorante, cualidad que depende de la naturaleza y pureza, así como de su finura. Pero estos pigmentos al ser obtenidos por procesos controlados y estandarizados, tienen la ventaja de otorgar alta pureza, elevado brillo y gran poder de coloración. Estos pigmentos son estables a la intemperie, es decir a la luz UV, al ácido carbónico, a cambios fuertes en la humedad y la temperatura, a los ácidos, a los álcalis y a los componentes del cemento, dicho de otro modo, cumplen con los requerimientos señalados en las normas. [3]

Según su *naturaleza*, los pigmentos podrán ser orgánicos, moléculas que contienen carbono formando enlaces covalentes carbono-carbono o carbono-hidrógeno, y de naturaleza inorgánica, los que no poseen dicha composición. [5]

Los orgánicos se suelen caracterizar por:

- Inferior solidez a la luz, ácidos y álcalis.
- Elevada fuerza colorante.
- Tonos limpios.
- Dispersión más complicada que en los inorgánicos.
- Pocos mantienen su estabilidad por encima de los 200 ºC.
- Tamaños de partícula muy pequeños en comparación con los inorgánicos.

Los inorgánicos suelen tener como características generales las siguientes, si bien hay excepciones:

- Buena solidez o resistencia a la descomposición por la radiación ultravioleta.

- Buena resistencia a los ácidos y álcalis.
- Modesta fuerza colorante.
- Tonos poco limpios en comparación con los pigmentos orgánicos.
- Facilidad de dispersión.
- Suelen tener más resistencia a la temperatura que los orgánicos.

La siguiente tabla expone la composición química de algunos pigmentos más comunes a base de óxidos utilizados en hormigones:

Color	Fórmula química	Denominación	Nombre común
Rojo	Fe_2O_3	Óxido ferroso	Hematita
Negro	Fe_3O_4	Óxido Ferrico	Magnetita
Amarillo	$Fe_2O_3H_2O$	-	Linonita
Amarillo	FeOOH	Hidróxido ferroso	Goetita
Marrón	$FeCO_3$	-	Siderita
Marrón negro	FeS	-	Pirita
Café	FeOOH+ Fe3O4+ y/o Fe2O3	-	Lepidocroquita
Verde	Cr2O3	Óxido de cromo	-
Azul	CoAl2O4	Aluminato de cobalto	-
Azul	Co(AlCr)2O4	Aluminato de cobalto	-
Blanco	TiO2	Dióxido de titanio	-

Tabla 8. Composición química de algunos pigmentos a base de óxidos

Fuente: Marcela Castro [4]

Características físicas de los pigmentos

Se deben controlar el tamaño de las partículas, la forma y la absorción de agua.

La variación en el tamaño de una partícula afecta más directamente a la capacidad del pigmento para difractar la luz, que lo que influye en la absorción de está. Una menor absorción de luz (mayor reflejo) da tonalidades blancas. El tamaño de partículas óptimo para conseguir un máximo de difracción de luz es inferior en los pigmentos de color que en los pigmentos blancos. [23]

En la siguiente tabla se presenta el tamaño medio de las partículas (de pigmentos sintéticos) según su color:

Color del pigmento	Tamaño medio de las partículas [µm]
Rojo	0.09 a 0.7
Negro	0.15 a 0.6
Amarillo	0.1x0.8 a 0.2x 0.8

Color del pigmento	Tamaño medio de las partículas [µm]
Verde	0.3 a 0.35
Blanco	0.3 a 0.5

Tabla 9. Tamaño medio de las partículas de los pigmentos

Fuente: Maria Positieri [23]

Fotos de microscopias revelan que las partículas de pigmentos de óxido de hierro amarillo tienen forma de agujas y las partículas de óxidos de hierro negro y rojo, así como las de dióxido de titanio (blanco), óxido de cromo (verde) y aluminato de cobalto (azul) tienen una forma cúbica a esférica. La tonalidad que adquieran los materiales pigmentados dependerá, en parte, de la relación ancho-largo que posean estas partículas. [23]

El pigmento absorbe cierta cantidad de agua, la cual es determinada mediante la norma ASTM D 281. La siguiente tabla presenta los porcentajes de absorción de agua para algunos colores de pigmentos: [23]

Color del pigmento	Absorción del agua [%]
Rojo	22-34
Negro	21-33
Amarillo	26-80
Verde	13-18
Blanco	13-16

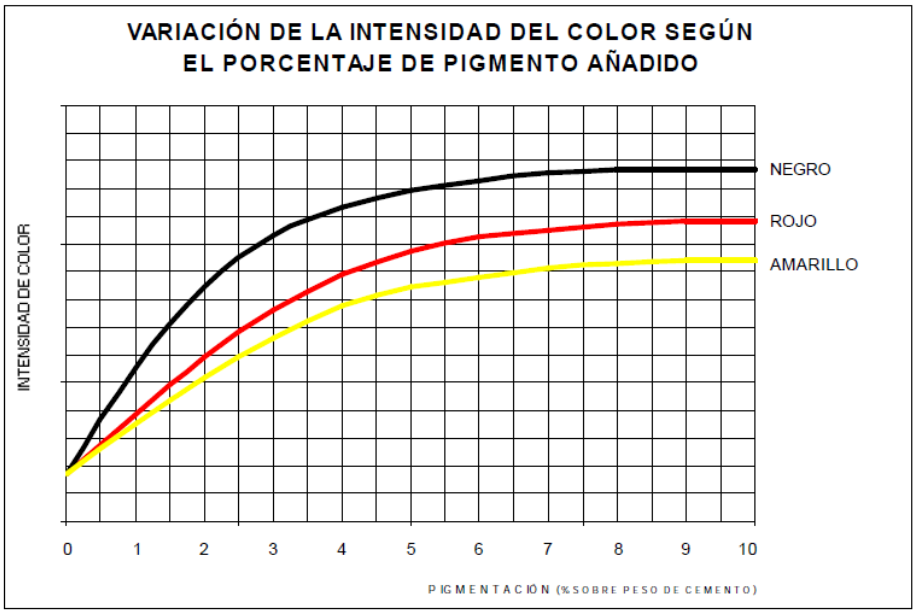
Tabla 10. Porcentajes indicativos de absorción de agua de óxidos

Fuente: María Positieri [23]

Dosificación recomendada

El porcentaje de pigmento que se añade con respecto al peso del cemento en la elaboración del hormigón, determina la intensidad del color. Porcentajes bajos logran tonos pasteles mientras que con porcentajes mayores se obtiene colores más definidos. Se observa que la intensidad del color aumenta de forma lineal hasta que llega a un punto en que permanece constante, a esto se lo define como saturación. A pesar de añadir grandes porcentajes de pigmento, el aumento de la tonalidad será nulo. Estas curvas varían de acuerdo con el tipo de cemento y pigmento empleados. La utilización de pigmentos con gran poder de coloración es muy importante, una vez que se pueda llegar al efecto cromático que se desea con una cantidad mínima de sustancia colorante, sin que ello conlleve problemas de resistencia del hormigón debido a la gran cantidad de finos de la mezcla. Añadir más pigmento por encima

del punto de saturación, representa malgastar pigmento y en consecuencia, un aumento importante en el costo del hormigón. [2]



Gráfica 1. Variación de la intensidad del color según el porcentaje de pigmento añadido

Fuente: Carvalho [2]

La dosificación recomendada de pigmento es un 3% respecto al peso del cemento. Se puede aumentar la intensidad de la pigmentación hasta un 10%, llegando al tono de saturación. Porcentajes mayores pueden afectar la resistencia del hormigón. [8]

Presentación de los pigmentos

Pulverulenta: originalmente los pigmentos se presentan en polvo. Con el paso del tiempo, algunas fábricas han desarrollado otras presentaciones con el fin de mejorar la dosificación y mantener espacios de trabajo más limpios. [5]

Líquido, slurry, pasta o suspensión acuosa: Surge a primeros de los 80. Esta presentación supone que el pigmento se dosificará y dispersará mejor, pero tiene ciertas desventajas como por ejemplo: representa un coste mayor en la elaboración debido a que parte del polvo; el transporte es más costoso ya que la preparación pigmentaria contiene más del 50-60 % en pigmento, siendo el resto agua y aditivos; el consumo recomendado es de 6 meses dado que es sensible a prolongado almacenaje; asimismo, puede provocar un exceso de agua si no se controla la

capacidad de absorción de los áridos. Los problemas de homogeneidad han hecho que esta presentación se utilice menos. [5]

Granulado: Esta presentación apareció en los 80, y se obtienen secado por pulverización, también llamado atomización. Se trata de unas micro-esferas con un tamaño medio de 300 micras. Se obtienen partiendo del polvo el cual se somete a un proceso de emulsión acuosa con sustancias aglutinantes. El uso correcto de esta presentación necesita durante el amasado, una fricción importante en presencia de algo de agua. Tienen un excelente efecto en hormigones semisecos utilizados para la elaboración de prefabricados de adoquín, bloques y tejas. En el resto de aplicaciones presentan inconvenientes y por tanto se continúa utilizando el polvo. [5]

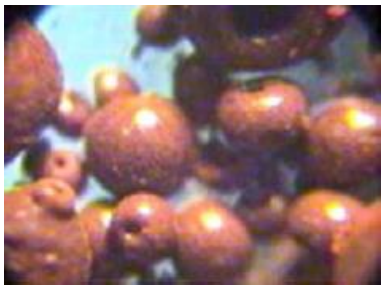


Ilustración 9. Pigmento granulado obtenido por atomización

Fuente: José Guillamón [5]

Compactados. Una presentación pseudogranular surgió a finales de los 90. Es un producto similar al granulado, incluyendo sus ventajas y desventajas, aunque tienen problemas en fluir y contienen algo de polvo. En todo caso resulta más económico en su proceso de obtención. [5]



Ilustración 10. Pigmento compactado

Fuente: José Guillamón [5]

Pigmentos utilizados para la experimentación

En el país, el alcance de estos pigmentos es muy limitado. Países cercanos, como por ejemplo, Colombia, proveen los pigmentos sintéticos para ciertos prefabricados, esto representa un costo adicional a la obra. A raíz de esto, se han considerado componentes que sean de fácil acceso en el mercado y de menor costo, una vez tomado en cuenta estas condiciones tenemos:

Calcantita

Es un pigmento natural de origen mineral, llamado también sulfato de cobre (II) pentahidratado o sulfato cúprico pentahidratado. Es una piedra semipreciosa de color azul que se sitúa entre la aguamarina y el zafiro. Presenta brillo entre vítreo, sedoso y céreo/resinoso.



Ilustración 11. Calcantita en estado natural

Fuente: http://www.mineral-s.com/calcantita.html

Se la conoce por ser extremadamente soluble en el agua, por esto sólo se encuentre de forma natural en zonas de clima muy seco, al contacto con el aire y evaporarse el agua, se torna de color blanco verdoso y se vuelve de aspecto pulverulento. Su fórmula química es $Cu(SO4) \cdot 5H2O$.



Ilustración 12. Calcantita al contacto con el aire

Fuente: http://www.simpl.cl/

Sus principales características son:

Dureza: 2,5

Densidad: 2,2 - 2,3 g/cm3

Peso molecular: 249,68g/mol

Solubilidad en agua: 31,7 g/100ml a 0º C

Color: cristales azules transparentes, gránulos cristalinos o polvo

Brillo: vítreo a resinoso

Transparencia: transparente a translúcido

Sistema cristalino: triclínico

Olor: Inodoro

Composición química: $CuSO4 * 5H2O$

Contenido de Cobre: min. 25%

pH > 2,8

Humedad: < 1,0%

Arsénico (As) < 1 ppm

Plomo (Pb) < 15 ppm

Hierro (Fe) < 400 ppm

Zinc (Zn) < 15 ppm

Níquel (Ni) < 1 ppm

La calcantita es utilizada como: alguicida para tratamiento de aguas, como reactivo para la flotación de menas que contienen zinc, como fertilizante y/o pesticida en la

industria agrícola, fabricación de concentrados alimenticios para animales, abonos, pesticidas, mordientes textiles, industria del cuero, pigmentos, baterías eléctricas, recubrimiento galvanizados (recubrimientos de cobre ácido por electro posición), sales de cobre, medicina, preservantes de la madera, procesos de grabado y litografía, caucho sintético, industria del acero, tratamiento del asfalto natural, colorante cerámico, industria del petróleo, tratamiento del asfalto natural y preparados medicinales como el agua de alibour. En general, la calcantita tiene diferentes aplicaciones en los campos: agrícola, minería, tratamiento de agua, industrial.
Directamente en el hormigón, El sulfato de cobre es utilizado como aditivo retardante para modificar los tiempos de fraguado [24]. También se ha empleado para teñir pisos, ya que se obtiene un acabado azul verdoso muy agradable a la vista. [9]

Remolacha

Es un pigmento natural de origen biológico o vegetal, la remolacha es la raíz profunda, grande y carnosa que crece en la planta del mismo nombre y que se consume como hortaliza. Su piel superficial es fina y suave y puede ser de varios colores, desde rosáceo violáceo y anaranjado rojizo hasta marronáceo. La pulpa es de sabor dulce y generalmente es de color rojo oscuro carmesí con tintes purpúreos. [25]



Ilustración 13. Remolacha

Fuente: http://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Presentacion-Remolacha.html

De este producto se extrae la betacianina que es un pigmento natural presente en la remolacha y se emplea en la obtención de un colorante a nivel industrial. Son relativamente estables en relación con otros pigmentos rojos naturales.

Este colorante se utiliza en las industrias alimentarias para dar color a varios productos como sopas, licores, helados, [25] yogurt. Con fines cosméticos se utiliza para dar color a cremas, mascarillas, geles, champús o jabones de glicerina, etc. Incluso es utilizada para teñir prendas de vestir.

En la referencia [10] se menciona el uso de la remolacha para dar colores a las paredes obteniendo tonalidades rojas o púrpuras y con algo de bicarbonato de sodio se puede tornar azul profundo. Existen procedimientos para obtener un pigmento en polvo, donde se procede a la clarificación, la evaporación y el atomizado de zumo de remolacha para fines industriales.



Ilustración 14. Polvo de remolacha atomizado

Fuente: http://www.granvelada.com/es/colorantes-naturales-/1117-colorante-natural-rojo-remolacha-polvo.html

2.1.2.2. Elaboración del hormigón pigmentado

Amasado

Para determinar la cantidad de pigmento que se añadirá a la elaboración de hormigón es necesario considerarlo por peso y no por volumen, ya que se puede cometer errores en diferentes preparaciones debido a la presentación del pigmento, es decir, en pigmentos en polvo, granulado o líquido se recomienda hacerla por peso. Después de precisar la dosificación del pigmento, es indispensable tener en cuenta ciertas pautas en el proceso de amado [5] para lograr un producto homogéneo.

Para hormigones y morteros secos elaborados en planta, antes del consumo, se recomienda:

1. Hacer una pre mezcla seca de los áridos
2. Añadir pigmento y cemento
3. Añadir el agua, una vez ubicado en la obra
4. Realizar un amasado final.

Para hormigones y morteros húmedos elaborados en planta o en obra, se recomienda:

1. Con la mezcladora en movimiento verter preferentemente el árido grueso o también todas las fracciones de árido. En caso de usar pigmentos en forma granular, será necesario que estos áridos contengan en torno al 10% de humedad, añadiendo agua si es necesario. Esto se debe a que estos pigmentos en forma granular requieren para disgregarse además del esfuerzo de cizalladura, cierta cantidad de agua para disolver el aglutinante que contienen.
2. A continuación, verter la dosis de pigmento en cualquiera de sus formas, polvo, granular o líquido. De ser posible de forma progresiva y continuar la agitación. Si se añaden aditivos en forma de polvo, también se vierten en este momento.
3. Después de un tiempo que dependerá del tamaño de los áridos y de las características de la mezcladora, verter el cemento dando un tiempo similar al anterior.
4. A continuación, verter los áridos finos e impalpables en el caso de no haberlos vertido en el punto 1. Dejar otro corto periodo en agitación.
5. Finalmente añadir el agua y otros aditivos líquidos. Se mantiene la agitación un mayor tiempo que los anteriores.

Para morteros secos, se recomienda:

1. Fracción gruesa de los áridos.
2. Pigmento y dar un tiempo suficiente de agitación
3. Cemento
4. Áridos finos e impalpables.

Para un microcemento y en general en amasadas pequeñas o con mezcladora poco eficaz puede ser apropiado batir el pigmento en parte del agua de amasado y después verter esta emulsión al mortero que previamente se habrá amasado con el resto del agua.

Cualquier otro método puede ser válido si se verifica la adecuada dispersión del pigmento.

Moldes

La forma, tipo y material del molde tiene también una repercusión en el color. Como regla general, mientras más agua absorbe el molde, más oscuro es el tono del hormigón.

Cuando los materiales absorbentes toman agua de la cara del hormigón le reducen el contenido de agua a la capa superficial de éste y así el mayor contenido de cemento y el menor contenido de agua de la capa superficial pueden producir superficies más densas y tonos más profundos, por tanto, deben utilizarse cimbras no absorbentes.

En caso de utilizar moldes de madera en un mismo cimbrado resultarán diferencias no deseadas de un número excesivo de usos, produciéndose variaciones, cuando se empleen maderas nuevas, por el diferente grado de absorción de agua de un mismo cimbrado o falta de limpieza en las juntas, pasadores o piezas de ajuste de sus componentes. La obtención de un buen elemento de concreto pigmentado requiere de un trabajo muy delicado.

Así mismo, el uso de moldes de madera, sobre todo si se tiene pensado utilizarlo varias veces, puede resultar riesgoso, pues no se asegura la obtención de un color uniforme.

Sin embargo, los requerimientos arquitectónicos muchas veces exigen obtener superficies en que las texturas de esos tipos de moldes queden estampadas en la superficie. En estos casos, se deben tener presente las incidencias que este tipo de molde puede tener en el color final de la superficie. Resulta común conseguir los acabados lisos con materiales impermeables, como el acero, plásticos reforzados con fibra de vidrio o contrachapado tratado.

Los moldes impermeables prevén para el hormigón un beneficioso curado inicial. Algunos especialistas recomiendan dejarlos en su lugar un tiempo de desmoldado, durante toda la obra para evitar variaciones de color. Además, las superficies lisas pueden parecer las más sencillas, pero en realidad son las más difíciles de lograr, tanto en concreto hecho en obra, como en los prefabricados. [5]

Vibrado

Durante la mezcla de los componentes del hormigón fresco se incorpora aire. En la colocación es necesario eliminar al máximo esas burbujas de aire, lo cual se hace mediante compresión y/o vibración.

Un vibrado deficiente o compactación del concreto dará lugar, cuando el tiempo del mismo es escaso, a las oquedades superficiales o panales de abejas, con afloramiento del agregado, mientras por el contrario un excesivo uso del vibrador conseguirá que la fina lechada de recubrimiento en contacto con el molde sea demasiado gruesa, adhiriéndose más a la pasta de concreto. Esto provocará que se desprendan grandes burbujas de aire, las cuales aflorarán a la superficie.

En ocasiones, intencionalmente se incorpora aire al hormigón fresco, para mejorar su trabajabilidad. Esta incorporación de aire, al igual que el que no se libera en el proceso de vibrado, provoca que la superficie quede rugosa, con huecos de abeja y eso afecta el color. [5]

Fraguado

La temperatura de fraguado tiene una incidencia sobre la coloración del hormigón pigmentado. En primer lugar, la estabilidad térmica de los pigmentos es, en parte, limitada. El óxido de hierro negro se oxida aproximadamente a los 180°C dando óxido de hierro rojo. Si el fraguado del hormigón se realiza en autoclave a 200°C, se está ya en la zona de peligro, con la posibilidad de viraje hacia el rojo. Lo mismo es válido para el óxido de hierro pardo oscuro, formado con mezclas con mayor porcentaje de óxido de hierro negro. Caso aparte son algunos pigmentos que son termoestables, como el óxido de hierro negro. Ajeno a esto son algunos de los pigmentos termoestables. El óxido de hierro rojo y el óxido de hierro amarillo pueden fraguarse en autoclave.

En segundo lugar, la temperatura del fraguado repercute también de gran manera sobre el color natural del hormigón sin pigmentar. Según la temperatura de fraguado, el cemento forma cristales más o menos grandes. El tamaño de los cristales influye a su vez en la capacidad de las dispersiones la luz, es decir, en el brillo del concreto. Mientras que las diferencias no son grandes, sólo entre 2 y 28°C, pueden darse cambios de coloración entre el concreto fraguado al aire libre en invierno o verano, al tiempo que el elaborado en autoclave es mucho más claro y brillante. Cuanto mayor sea la temperatura de autoclave, tanto mayor será la claridad de tono. Este fenómeno también se aprecia en los hormigones pigmentados. Así mismo, las variaciones de coloración debidas a la temperatura de fraguado son muy considerables. [5]

Desmoldante

Las sustancias empleadas para lubricar la interfase molde-piel del hormigón para facilitar la separación del molde del fraguado pueden manchar el hormigón haciendo variar su color. De igual modo, las láminas plásticas o papeles de curado pueden causar decoloración y manchado. Se han desarrollado compuestos de curado de color, especiales para concreto con color específico, que proveen de una alta retención de agua, incluso mayor a los tiempos especificados en las normas.

Es recomendable después del curado aplicar un sello y un preservador para la apariencia de las superficies multicolores que se sellarán con un sellador claro o transparente, mientras en las superficies de color uniforme es recomendable usar selladores de un color semejante al de la superficie. Este producto debe ser estéticamente atractivo, de bajo mantenimiento, proporcionar una película semi-brillosa resistente a la abrasión, al manchado y a los ataques químicos. [5]

2.1.2.3. Propiedades del hormigón pigmentado

Hormigón en estado fresco

Trabajabilidad

La trabajabilidad generalmente disminuye debido a la adición de pigmentos. "La ASTM C-979 recomienda que el incremento de la demanda de agua para mantener

la misma trabajabilidad de la mezcla original no pigmentada no debe exceder del 10% sobre el peso del cemento." [2]

Tiempo de fraguado

La mayoria de los pigmentos no tendran mayor impacto en el tiempo de fraguado, Siempre y cuando se utilicen la dosis recomendadas. [2]

Contenido de aire

Los pigmentos no producen ningún efecto sobre el contenido de aire del hormigón, a excepción de los pigmentos con partículas muy finas, se recomienda añadir aditivo incorporador de aire dentro de los valores aceptables, en caso de utilizar este tipo de pigmentos. La ASTM C-979 especifica que los pigmentos, cualesquiera que sean los tipos, no deben alterar el contenido de aire de los hormigones en porcentajes superiores al 1%. [2]

Exudación y asentamiento

La ASTM C-979 y la BS 1014, indican que los pigmentos usados en los niveles recomendados no producen mayor efecto en estas propiedades. En caso de utilizar dosis superiores de pigmentos en hormigones fabricados con cementos de bajo contenido de Aluminato tricálcico (C_3A) podrian provocar un aumento en la exudación. [2]

Hormigón endurecido

Existe poca información que describa el efecto de la adición de pigmentos en el hormigón endurecido, se describe las siguientes propiedades como se indica en [2] y [23]

Resistencia a compresión y flexotracción

La resistencia a compresión y a flexotracción no es afectada significativamente mientras se utilicen las dosis recomendadas de los pigmentos. Sin embargo, se comprobó que el pigmento de óxido de hierro amarillo produce una reducción en la resistencia del hormigón, si se adiciona cantidades mayores al 6%, debido a la alteración en la en la relación agua/cemento efectiva de la mezcla [2]. La reducción

de resistencia a compresión a los 28 días del hormigón pigmentado con respecto al hormigón tradicional se limita al 10 % en la norma BS 1014 y también en la norma ASTM C 979. [23]

Retracción

Al igual que la resistencia, si se adiciona el pigmento en cantidades recomendadas existe retracción, pero esta no es significativa en el hormigón. A pesar de esto, se demostró que al agregar pigmento de óxido de hierro negro aumenta la retracción al mantener constante la consistencia a través de ajustes en la relación agua/cemento. [2]

Permeabilidad

El empleo de pigmentos como agentes colorantes, en grandes cantidades, pueden aumentar el grado de permeabilidad del hormigón, debido a una mayor demanda de agua como consecuencia del gran aumento de la superficie específica de los finos de la mezcla. [2]

Porosidad

La incorporación de pigmento lleva asociado un incremento en la porosidad del hormigón, siendo el pigmento amarillo el que produce el mayor aumento. [23]

Carbonatación

La incorporación de pigmentos lleva asociado un ligero incremento en la profundidad de carbonatación, pero únicamente cuando son adicionados al hormigón con cemento blanco, siendo también en este caso el pigmento amarillo el que produce un mayor aumento [23].

2.1.2.4. Variables que afectan al color del hormigón

Los factores más influyentes en el color del hormigón son el tipo de componentes elegidos para la elaboración del mismo y el ambiente al que estará expuesto. Por ello, es necesario un control en la selección de los áridos, el cemento, la relación agua/cemento, las condiciones de curado y una compactación efectiva para la obtención de la estabilidad del color deseado. La siguiente tabla recoge algunas de

las principales causas responsables por la variación del color del hormigón visto [2]:

Variaciones a causa de contaminaciones	Por impurezas presentes en la masa del hormigón (p.e.: piritas e impurezas de color no pertenezcan a los materiales que constituyen el hormigón)
	Por la superficie del molde, comprendiendo el agente desencofrante (p.e.: contaminaciones debidas a un exceso de aceite o suciedad de óxido o de otras manchas sobre la superficie del molde)
	Por causas externas después del desencofrado (p.e.: por suciedad, por proyecciones de mortero, e pintura, etc)
Variaciones debidas a la separación del agua y de los elementos finos	Por absorción en los encofrados (comprendida la absorción bajo la presión en el curso del hormigonado)
	Por exudación paralela al plano del encofrado
	Por exudación normal al plano del encofrado
	Por fugas de lechada a lo largo de las juntas del encofrado
Variaciones debidas a cambios en las materias primas o en sus proporciones en la composición del hormigón	Variación en el color del cemento o cambios de origen (p.e.: cementos que provienen de fábricas diferentes)
	Áridos: variación en el contenido de arena y en la granulometría (y más particularmente las partes finas) o cambios de origen
	Variación en la dosificación del cemento y de la relación agua/ cemento
Variaciones provocadas por el curado del hormigón	Evaporización irregular de la humedad de la superficie del hormigón, duración inapropiada, diferentes condiciones de curado, etc.
Variaciones que se producen con el curso del tiempo	Suciedades, manchas de óxido, eflorescencias, etc.

Tabla 11. Variaciones del color del hormigón

Fuente: Carvalho [2]

Influencia de los materiales y la relación agua/cemento

El color del cemento influye mucho en el resultado final del color del hormigón pigmentado deseado, al utilizar cemento blanco como base se obtienen tonos más brillantes. Aun así, el cemento gris suele tener variaciones de color por las diferentes etapas de fabricación, por ello se recomienda abastecerse de una misma fábrica. Cuando el color de pigmento empleado es negro, ésta diferencia no es importante. [2]



Ilustración 15. Efecto del tipo del cemento en el color del hormigón

Fuente: http://es.construct-itself.com/pigments-in-the-concrete-classification-of-artificial-pigment-natural-organic-metal-powders.html

Los áridos finos tienen una gran influencia sobre las cualidades superficiales del hormigón, una vez que absorben el pigmento, a diferencia de los áridos gruesos que no cumplen un papel muy importante en el color ya que los envuelve la pasta de cemento y no se encuentran en la superficie, por lo que no afectan su coloración final. Se recomienda no usar áridos porosos porque resultan muy difícil el control de la cantidad de agua y pigmento que ellos absorben, ocasionando grandes cambios de tonalidades entre las diversas amasadas. [2]



Ilustración 16. Efecto del tipo de agregados en el color del hormigón

Fuente: http://es.construct-itself.com/pigments-in-the-concrete-classification-of-artificial-pigment-natural-organic-metal-powders.html

El porcentaje de pigmento utilizado puede variar la intensidad del color del hormigón, un porcentaje menor produce colores más bajos y se intensifica a medida que incrementa el porcentaje añadido hasta llegar al punto de saturación.

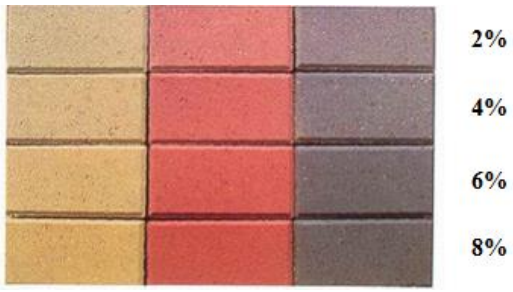


Ilustración 17. Efecto del porcentaje de pigmento añadido en el color de hormigón

Fuente: http://es.construct-itself.com/pigments-in-the-concrete-classification-of-artificial-pigment-natural-organic-metal-powders.html

La relación agua/cemento afecta a la capacidad de adherencia de los áridos, la trabajabilidad, la consistencia, el color del hormigón y la resistencia estructural. A mayor relación agua/ cemento, menor es la resistencia. Cuando hay agua sobrante durante el amado ésta se evapora y empalidece el color del hormigón, a su vez, el exceso puede provocar manchas en la superficie, como consecuencia de su movimiento a través de la estructura porosa de la superficie del hormigón. Es necesario tener en cuenta la capacidad de absorción de los áridos para hacer las respectivas correcciones en la relación agua/cemento y controlarla durante la elaboración del hormigón. [2]

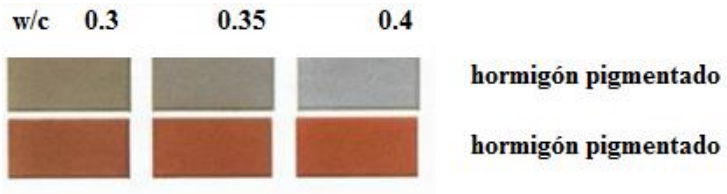


Ilustración 18. Efecto de la relación agua/cemento en el color del hormigón

Fuente: http://es.construct-itself.com/pigments-in-the-concrete-classification-of-artificial-pigment-natural-organic-metal-powders.html

Influencia del amasado y el curado

El amasado es primordial para lograr resultados favorables en el color del hormigón, sobretodo en el orden en que se mezclen los componentes y el tiempo de amasado. Es recomendable que en el hormigón pigmentado se aumente el tiempo de amasado aplicado al hormigón tradicional para lograr uniformidad entre los materiales.

El curado cumple un papel decisivo en la apariencia del hormigón pigmentado, debe aplicarse con cuidado el método elegido para buenos resultados.

Se deberá evitar el uso de riego con agua o de encharcamiento porque se incrementa la pasta y se producen eflorescencias en la superficie, perjudicando la uniformidad del color.

En caso de usar curado químico, los compuestos incompatibles pueden dejar una apariencia opaca lechosa que oscurece el color.

Tampoco es recomendable un curado por medio del aire, ya que puede reducir la resistencia y la dureza superficial.

Es necesario controlar la temperatura de fraguado, esta incide en la formación del tamaño de los cristales de cemento. A temperaturas más altas, cristales más pequeños y el hormigón se ve más claro. A temperaturas bajas, cristales más grandes y el hormigón se ve más oscuro.

Para el curado del hormigón pigmentado, debería usarse un producto recomendado por el fabricante del pigmento, formado por compuestos especiales que no afecten la coloración, el cual proporcione un buen curado e intensifique el color del hormigón.

Influencia del grado de compactación

Carvalho menciona que de una buena compactación del hormigón resultan colores más estables e intensos bajo los agentes de deterioro del hormigón, además, una compactación óptima reduce la aparición de eflorescencias [2]. De cualquier forma, el aire incorporado en la mezcla, que no ha salido en su totalidad, puede provocar superficies rugosas produciendo variaciones en el color.

Erosión

Con el paso del tiempo, la capa superficial del hormigón se desgasta gradualmente dejando expuestas las partículas del árido grueso que contribuyen a un color general del sistema. Los cambios de color en el hormigón pigmentado son relativamente pequeños, expuestos durante 25 años muestran muy poco cambio [2]. Si el concreto va a estar sujeto a aguas corrientes, arena soplada por el viento, tránsito vehicular pesado u otras condiciones que puedan causar un desgaste acelerado y no uniforme, se debe evaluar la apariencia del hormigón por la intemperie, así como el color en la obra nueva. [26]

Intemperie

Otro factor del intemperismo es que el hormigón puede tornarse ligeramente amarillo. Se debe tomar en cuenta este punto en caso de colocar nuevos materiales en una construcción vieja. La variación del color es muy ligera, puede afectar especialmente a hormigones pigmentados azules dando la sensación de color hacia el verde. [4]

Los óxidos metálicos tienen excelente resistencia a las inclemencias climáticas. Los colores "tierra" son los que tienen mayor resistencia a los rayos U.V, por ejemplo: rojos, amarillos, negros y cafés.

Eflorescencias

Las eflorescencias es un depósito polvoso blanco que se puede formar en la superficie del hormigón, provocan un aspecto desagradable a la estética del color del mismo, como ya se había señalado, ésta puede aparecer principalmente por exceso de agua, seguido de un hormigón de baja densidad debido a una compactación incorrecta.

Las eflorescencias tienen su origen en el hidróxido de calcio que se forma al fraguar el cemento y, disuelto en el agua de amasado, se deposita en la superficie, reaccionando con el dióxido de carbono del aire y formando el carbonato cálcico insoluble. Este proceso puede repetirse en sucesivas absorciones y posteriores migraciones de agua a la superficie, como por ejemplo, debido a la lluvia. [2]

Con el paso del tiempo el carbonato cálcico formado sigue combinándose con el dióxido de carbono transformándose en bicarbonato cálcico, el cual sí es soluble y desaparece con el agua de lluvia. [2]

Estudios comprobaron que el proceso de desaparición de las eflorescencias puede durar entre 1 y 2 años, dependiendo de las características climáticas de la zona a la que está expuesto el hormigón. La baja densidad del hormigón, el desencofrado temprano y el cambio climático, son responsables por un aumento de las eflorescencias. Para evitar la aparición de las eflorescencias se puede recurrir a la utilización de agentes hidrofugantes y un recubrimiento superficial. [2]

Sellado y limpieza

Para una conservación optima del color, se puede aplicar un sellante hasta después del tiempo curado por lo menos 28 días. Estos impiden que el hormigón se manche o se ensucie y facilita su limpieza. Existen selladores brillosos que proporcionan una apariencia mojada donde se oscurece el color aparente del concreto, otros sellados consiguen un acabado mate.

Podría realizarse un lavado ocasional con un detergente suave seguido de un enjuague completo y cuidadoso con agua limpia, es todo lo que se requiere para mantener limpio el hormigón y darle su mejor apariencia. [26]

2.1.2.5. Aplicabilidad

La aplicación del hormigón pigmentado dentro de la construcción ha incrementado en obra y en prefabricados. Además, se puede agregar textura, rellenos o patrones para proporcionar un enfoque más estético al diseño, opcionales en el acabado final.

El hormigón pigmentado no tiene limitaciones, ese decir, puede ser utilizado en todo tipo de obras. Es el color el que resalta como acabado fundamental, pudiendo ser usado en:

- Terrazas
- Estacionamientos
- Pavimentos
- Ciclovías
- Aceras públicas
- Muros
- Losas
- Columnas
- Señales y demarcaciones de tránsito
- Esculturas
- Pisos – suelos
- Fachadas a la vista
- Mobiliario urbano
- Gradas

- Soleras
- Rampas
- Adoquines
- Prefabricados
- Bordes de piscinas, etc.



Ilustración 19. Acera con hormigón pigmentado

Fuente: https://www.pinterest.com/pin/392094711285382066/



Ilustración 20. Muro de hormigón pigmentado

Fuente: http://grupounorephormigon.blogspot.com/



Ilustración 21. Adoquines de hormigón pigmentado

Fuente: http://www.badrinas.com/ppigmentos.php



Ilustración 22. Adoquines de hormigón pigmentado

Fuente: http://www.badrinas.com/ppigmentos.php



Ilustración 23. Bloques de hormigón pigmentado

Fuente: http://blog.360gradosenconcreto.com/



Ilustración 24. Pisos de hormigón pigmentado impreso

Fuente: https://pavimentosimpresodenia.wordpress.com/

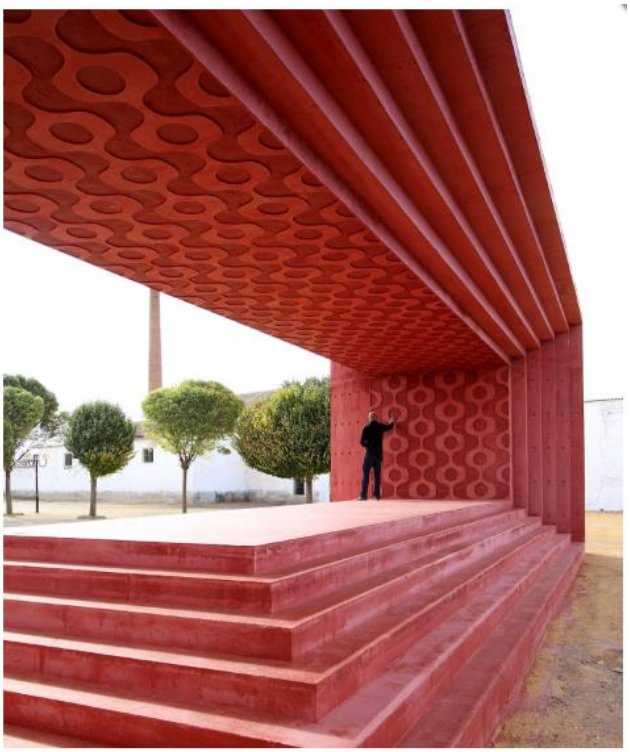


Ilustración 25.Gradas de Hormigón pigmentado

Fuente: http://www.hormigonespecial.com/familia/HORMICROMA-9.html



Ilustración 26. Ciclovía, Sao Paulo, Brasil

Fuente: http://vadebike.org/



Ilustración 27. Muro de hormigón pigmentado con texturas

Fuente: http://www.elblogdeapa.com/construction/uso-de-pigmentos-en-cemento/



Ilustración 28. Borde de piscina de hormigón pigmentado impreso

Fuente: http://hormigonimpreso2002.weebly.com/



Ilustración 29. Esculturas de hormigón pigmentado

Fuente: http://www.cbb.cl/cementos/

Con los cuales se han desarrollado proyectos tales como: Casas particulares, comercio, condominios, municipalidades, edificios, universidad, colegios, plazas, parques, recuperación de sitios históricos, etc. Por ejemplo:

Costanera Estrecho de Magallanes de Punta Arenas, Chile (2006)

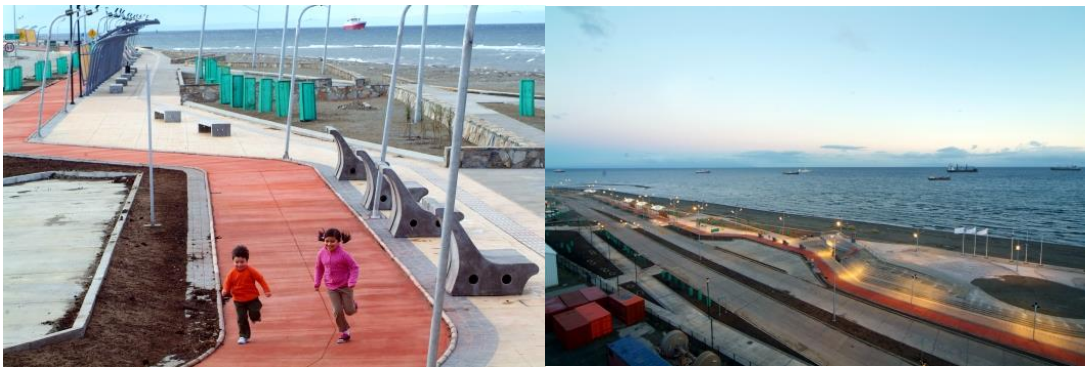


Ilustración 30. Costanera Estrecho de Magallanes de Punta Arenas, Chile

Fuente: http://www.plataformaurbana.cl/

Casa Mirador, Chile (2012) / Matías Zegers



Ilustración 31. Casa Mirador, Chile.

Fuente: http://www.plataformaarquitectura.cl/

Museo de la Cultura, Paracas, Perú (2012) / Barclay & Crousse



Ilustración 32. Museo de la Cultura, Paracas, Perú

Fuente: http://arquitecturapanamericana.com/?p=36775

Edificio Patio Alameda UC, Santiago, Chile (2008) /Baixas y Del Río Arquitectos Asociados



Ilustración 33. Edificio Patio Alameda UC, Chile

Fuente: http://www.menayovalle.cl/portfolio/patio-alameda-uc/

Bodega Pago de Carraovejas, Peñafiel, España (2003) / Amas4Arquitectura.



Ilustración 34. Bodega Pago de Carraovejas, España.

Fuente: http://www.amas4arquitectura.com/carraovejas-admon

Biblioteca Pública y Auditorio Curno, Bérgamo, Italia (2009) / Archea Associati



Ilustración 35. Biblioteca Pública y Auditorio Curno, Italia

Fuente: http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/763236/biblioteca-publica-y-auditorio-curno-archea-associati

Estación de Bomberos, Vierschach, Italia (2016) / Pedevilla Architects



Ilustración 36. Estación de Bomberos de Vierschach, Italia

Fuente: http://www.plataformaarquitectura.cl/

Museo Oteiza, Navarra, España (2003) / Francisco Sáenz



Ilustración 37. Museo Oteiza, España

Fuente: http://mapio.net/place/12778493/

2.1.2.6. Colorimetría

La colorimetría es la ciencia que estudia los colores, esta pretende determinar cuantitativamente la profundidad del color y deducir sus características mediante mezclas.

Se otorga a Isacc Newton el descubrimiento de la descomposición de la luz en 1666, donde observó la luz del sol traspasar un prisma de cristal como espectro de colores en regiones violeta, azul, verde, amarillo y rojo los cuales se combinaban sutilmente.



Ilustración 38. Prisma de Newton

Fuente: https://lalitotowers.wordpress.com/color-colorimetria-y-ley-del-color/

El color que el ser humano percibe está determinado por la luz reflejada en el objeto, además depende de la fuente de luz que lo ilumina, del color del área que lo rodea y del sistema visual humano.

Se utiliza como referencia para la medición del color, la curva espectral codificada de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) que pretende lograr representar la mayor cantidad de colores posibles con coeficientes triestímulo positivos definidos por tres colores primarios denominados X (rojo), Y (verde) y Z (azul):

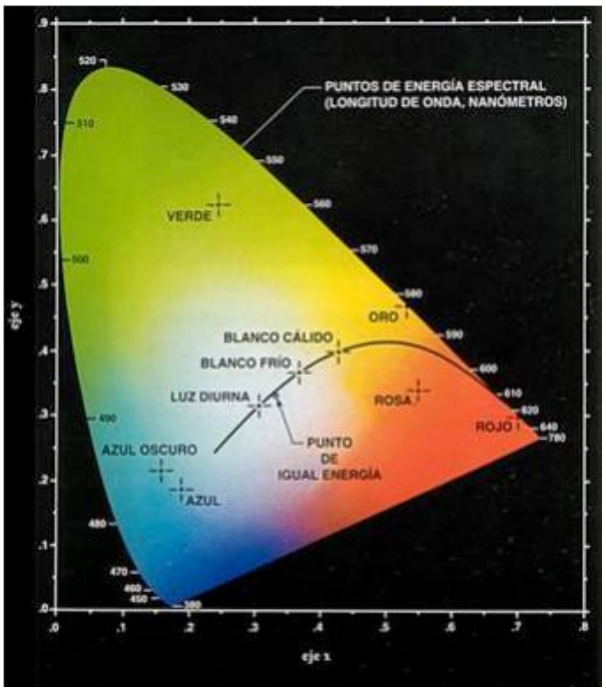


Ilustración 39. Diagrama de cromaticidad CIE

Fuente: http://www.paginaspersonales.unam.mx/

Existen también otros sistemas de coordenadas para medición del color como:

Sistema de coordenadas RGB, emplea como coordenadas los colores primarios rojo, verde y azul que se utilizan de forma aditiva para representar cada color. Se traza la línea diagonal de puntos desde el blanco hasta el negro para representar la escala de grises.

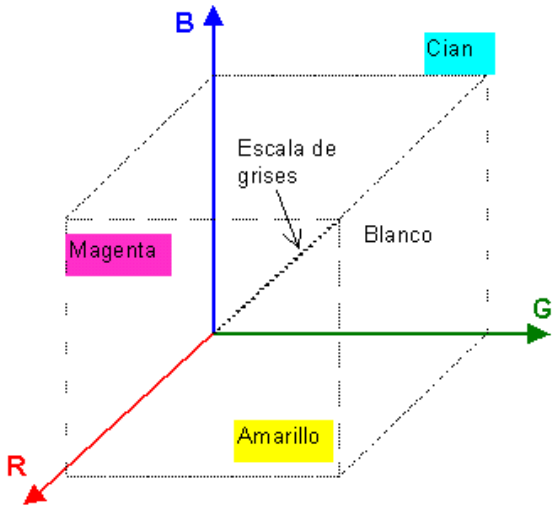


Ilustración 40. Sistema de Coordenadas RGB

Fuente: http://coloryteoria.blogspot.com/2008/05/

Sistema de coordenadas CMY, sistema de coordenadas cartesianas que usa los colores complementarios del sistema RGB (cyan, magenta y amarillo), el cual propone el blanco como origen en lugar del negro. Se denomina modelo sustractivo.

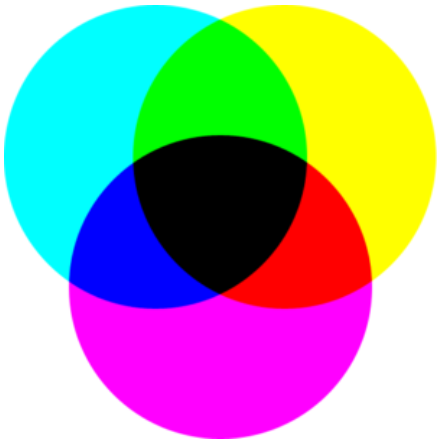


Ilustración 41. Modelo CMY

Fuente: http://coloryteoria.blogspot.com/2008/05/

Sistema de coordenadas HSV, cosiste en un subconjunto hexagonal de un sistema cilíndrico. Las coordenadas son: tono (HUE), saturación (S) y brillo (V)

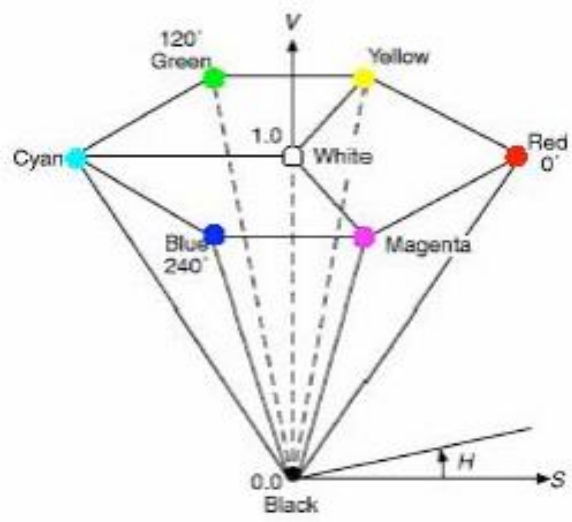


Ilustración 42. Sistema de coordenadas HSV

Fuente: http://www.paginaspersonales.unam.mx/

2.2. Hipótesis

El hormigón elaborado con pigmento natural mineral (calcantita) y el hormigón elaborado con pigmento natural vegetal (remolacha), no influye significativamente en la resistencia a compresión

2.3. Señalamiento de las variables de la hipótesis

2.3.1. Variable independiente

Hormigón elaborado con pigmento natural mineral (calcantita) y hormigón elaborado con pigmento natural vegetal (remolacha)

2.3.2. Variable dependiente

Resistencia a compresión

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Nivel o tipo de investigación

La investigación del proyecto está basada en los siguientes tipos:

Explicativo: tiene como objetivos principales comprobar experimentalmente una hipótesis, descubrir las causas de un fenómeno, detectar los factores determinantes. Este tipo de investigación es utilizada en el proceso de elaboración del hormigón con pigmentos naturales, su aplicabilidad en el campo constructivo y la interpretación de resultados para entender su comportamiento.

Descriptivo: pretende la recolección de datos, además de comparar entre dos o más fenómenos, situaciones o estructuras. El proyecto reúne información acerca del hormigón pigmentado y considera numerosas muestras para conseguir un punto de comparación de comportamiento entre el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales.

Exploratorio: genera hipótesis, reconoce variables de interés investigativo, sondea un problema poco investigado o desconocido en un contexto particular. La investigación experimenta el efecto que provocan los pigmentos naturales mineral y vegetal en el comportamiento de la resistencia a compresión en el hormigón, ya que en el país no se ha investigado este tipo de hormigones.

3.2. Población y muestra

El proyecto considera al hormigón arquitectónico como universo, estableciendo al hormigón pigmentado como la población y al hormigón con pigmentos naturales que representa una parte de este conjunto como la muestra definida.

Para la muestra se determinó la experimentacion con dos tipos de pigmentos naturales, siendo estos: la calcantita como pigmento natural mineral y la remolacha como pigmento natural vegetal. Ademas se observará resultados entre muestras elaboradas con las especificaciones de la NTE INEN 1576 diseñadas para dosificaciones con cemento gris en su mayoría y muestras elaboradas en un mínimo número con dosificaciones de cemento blanco.

3.2.1. Delimitación de la muestra

Se elaboraron 3 muestras para los ensayos de resistencia a compresión a la edad de 7, 14, 21 y 28 días de edad para el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales con cemento gris y cemento blanco.

Las muestras diseñadas con cemento gris: en el caso del hormigón con pigmento natural mineral se realizó por adiciones de calcantita del 4%, 7% y 10% con respecto al peso del cemento, y para el caso del hormigón con pigmento natural vegetal se adicionó el zumo de remolacha de 15%, 30% y 45% como reemplazo parcial del agua.

Para las muestras diseñadas con cemento blanco se elaboró 1 probeta para la edad de 7, 14 y 28 días: para el hormigón con pigmento natural mineral con adición de calcantita del 10% con respecto al peso del cemento y para el hormigón con pigmento natural vegetal con adición de remolacha del 30% como reemplazo parcial del agua.

Adicionalmente, se elaboraron muestras diseñadas de hormigón con cemento gris y 7% de pigmento sintético, siendo 1 probeta para la edad de 7, 14 y 28 días.

Para efectuar un análisis comparativo se obtiene un total de 93 probetas elaboradas.

3.3. Operacionalización de variables

Hipótesis

Hormigón elaborado con pigmento natural mineral (calcantita) y hormigón elaborado con pigmento natural vegetal (remolacha), no influye significativamente en la resistencia a compresión

3.3.1. Variable independiente

Hormigón elaborado con pigmento natural mineral (calcantita) y hormigón elaborado con pigmento natural vegetal (remolacha)

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Hormigón con pigmento natural: piedra artificial compuesta por agua, cemento, áridos, pigmentos naturales y aditivos generalmente usada para hormigón visto o arquitectónico	Pigmento natural mineral	Calcantita	¿En qué aportan los pigmentos al hormigón? ¿Cuál es la dosificación recomendada? ¿Se obtiene un beneficio económico frente a construcciones tradicionales?	Observación Investigación Bibliográfica Investigación Explicativa Investigación Descriptiva Investigación Exploratoria Normas INEN y ASTM
	Pigmento natural vegetal	Remolacha		

Tabla 12. Matriz de variable independiente

Fuente: Egda. Miriam Quijije

3.3.2. Variable dependiente

Resistencia a compresión

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Resistencia a compresión: ensayo técnico que se realiza a diferentes edades del hormigón para determinar su resistencia.	Carga de ruptura	Componentes del hormigón	¿En que afecta la adición de pigmentos a la dosificación del hormigón tradicional?	Investigación de laboratorio y experimental Normas INEN y ASTM

Tabla 13. Matriz de variable dependiente

Fuente: Egda. Miriam Quijije

3.4. Plan de recolección de información

Preguntas Básicas	**Explicación**
1. ¿Para qué?	Analizar la influencia de la adición de pigmentos naturales a la dosificación del hormigón tradicional.
2. ¿De qué personas u objetos?	Probetas de Hormigón con pigmento natural mineral (calcantita) y hormigón con pigmento vegetal (remolacha) elaboradas con cemento gris y cemento blanco. Adicionalmente, probetas de hormigón con cemento gris y pigmento sintético.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Resistencia a compresión.
4. ¿Quien?	Egda. Miriam Quijije.
5. ¿A quiénes?	93 probetas de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro.
6. ¿Donde?	Laboratorio de Ensayo de Materiales, Facultad de ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato.
7. ¿Cómo y con qué?	Ensayos e implementos de laboratorio Investigación bibliográfica Normas INEN y ASTM

Tabla 14. Preguntas básicas de recolección de información

Fuente: Egda. Miriam Quijije

Técnicas e instrumentos

Técnicas	**Instrumentos**
Observación de laboratorio	Cuaderno de notas Computador
Ensayos de laboratorio	Herramienta menor Concretera Moldes de probetas cilíndricas Máquina de compresión

Tabla 15. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Fuente: Egda. Miriam Quijije

3.5. Plan de procesamiento y análisis

La investigación presenta datos de representación escrita, tabular y graficas del siguiente procedimiento:

- Recopilación de información del hormigón pigmentado y pigmentos naturales
- Ensayos de laboratorio de los componentes del hormigón
- Interpretación de resultados de ensayos de laboratorio
- Diseño de dosificación de hormigón tradicional
- Elaboración de probetas de prueba
- Elaboración de probetas de hormigón tradicional, hormigón con pigmentos naturales y hormigón con pigmento sintético basados en los porcentajes correspondientes
- Ensayos de resistencia a compresión de las probetas elaboradas
- Análisis comparativo de resultados de resistencia a compresión entre el hormigón tradicional, hormigón con pigmentos naturales y hormigón con pigmento sintético
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Recolección de datos

Es necesario realizar los ensayos correspondientes a los materiales utilizados para la elaboración del hormigón:

- Densidad real de los cementos
- Granulometría de los agregados
- Densidad real de los agregados
- Densidad aparente suelta y compactada de los agregados
- Densidad de la mezcla de los agregados
- Contenido de humedad de los agregados
- Capacidad de absorción de los agregados

Con los datos señalados, se realiza los respectivos cálculos para el diseño de la dosificación del hormigón tradicional y el hormigón con diferentes porcentajes de pigmentos naturales:

- Dosificación de hormigón con cemento gris
- Dosificación de hormigón con cemento blanco
- Corrección por humedad de dosificaciones
- Dosificación de hormigón con cemento gris y pigmento mineral
- Dosificación de hormigón con cemento gris y pigmento vegetal
- Dosificación de hormigón con cemento blanco y pigmento mineral
- Dosificación de hormigón con cemento blanco y pigmento vegetal
- Dosificación de hormigón con cemento gris y pigmento sintético
- Material a utilizar con sus respectivas dosificaciones

La información obtenida permite la elaboración de las muestras para determinar:

- Consistencia, trabajabilidad y homogeneidad del hormigón fresco
- Densidad del hormigón
- Resistencia a compresión de probetas a la edad de 7, 14, 21 y 28 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO GRIS

DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	1	2
Masa del Picnómetro	m1	gr	153,30	163,70
Masa del Picnómetro + Cemento	m2	gr	335,70	330,70
Masa del Picnómetro + Cemento + Gasolina	m3	gr	658,70	655,60
Masa de Gasolina añadida	m4=m3-m2	gr	323,00	324,90
Masa del Picnómetro + 500cc de gasolina	m5	gr	524,50	532,60
Masa de 500cc de gasolina	m6=m5-m1	gr	371,20	368,90
Densidad de la Gasolina	dg=m6/500cc	gr/cm3	0,74	0,74
Masa de la Gasolina desalojada por el cemento	m7=m6-m4	gr	48,20	44,00
Masa del cemento	Mcg=m2-m1	gr	182,40	167,00
Volumen de gasolina desalojada	Vcg=m7/dg	cm3	64,92	59,64
Densidad real del cemento gris	DRCg=Mcg/Vcg	gr/cm3	2,809	2,800
Densidad real del cemento gris	Promedio	gr/cm3	**2,805**	

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO BLANCO

DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	1	2
Masa del Picnómetro	m1	gr	150,40	163,70
Masa del Picnómetro + Cemento	m2	gr	338,60	363,50
Masa del Picnómetro + Cemento + Gasolina	m3	gr	661,90	682,50
Masa de Gasolina añadida	m4=m3-m2	gr	323,30	319,00
Masa del Picnómetro + 500cc de gasolina	m5	gr	520,90	532,80
Masa de 500cc de gasolina	m6=m5-m1	gr	370,50	369,10
Densidad de la Gasolina	dg=m6/500cc	gr/cm3	0,74	0,74
Masa de la Gasolina desalojada por el cemento	m7=m6-m4	gr	47,20	50,10
Masa del cemento	Mcb=m2-m1	gr	188,20	199,80
Volumen de gasolina desalojada	Vcb=m7/dg	cm3	63,70	67,87
Densidad real del cemento blanco	DRCb=Mcb/Vcb	gr/cm3	2,955	2,944
Densidad real del cemento blanco	Promedio	gr/cm3	**2,949**	

Tabla 16. Densidad real de cementos

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Peso de la muestra:	1000 gr	**Pérdida de muestra:**	0,07%

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO

TAMIZ	ABERTURA (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM C-33 % QUE PASA
3/8"	9,5	0	0	0,00	100,00	100
#4	4,76	0	0	0,00	100,00	95-100
#8	2,38	107,7	107,7	10,78	89,22	95-100
#16	1,19	199,1	306,8	30,70	69,30	80-100
#30	0,59	183,3	490,1	49,04	50,96	50-85
#50	0,297	183,9	674	67,45	32,55	25-60
#100	0,149	145,2	819,2	81,98	18,02	10-30
#200	0,075	95,5	914,7	91,53	8,47	2-10
FUENTE		84,6	999,3	100,00	0,00	
MÓDULO DE FINURA		2,40				

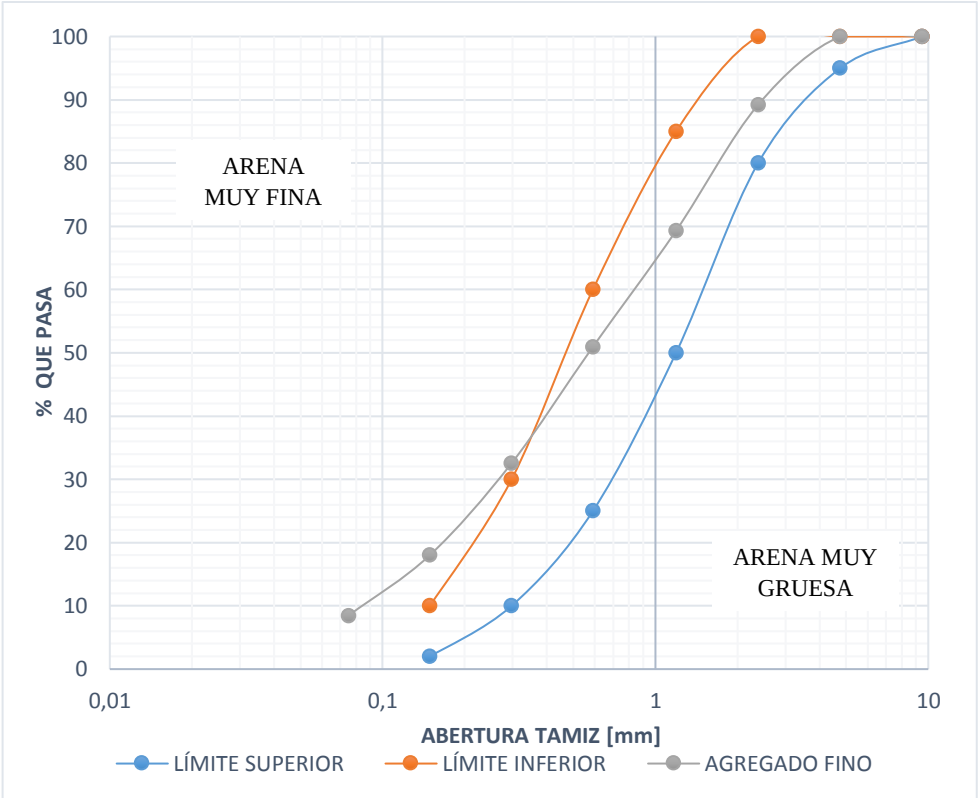


Tabla 17. Granulometría del agregado fino

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Peso de la muestra:	5200 gr	**Pérdida de muestra:**	0,13%

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO

TAMIZ	ABERTURA (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM C-33 % QUE PASA
2"	53	0	0	0,00	100,00	100
1 1/2"	37,5	0	0	0,00	100,00	95-100
1"	26,5	49,1	49,1	0,95	99,05	-
3/4"	19	523,0	572,1	11,02	88,98	35-70
1/2"	13,2	1995,7	2567,8	49,44	50,56	-
3/8"	9,5	2138,8	4706,6	90,63	9,37	10-30
#4	4,75	399,4	5106,0	98,32	1,68	0-5
FUENTE		87,3	5193,3	100,00	0,00	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO			1 1/2"			

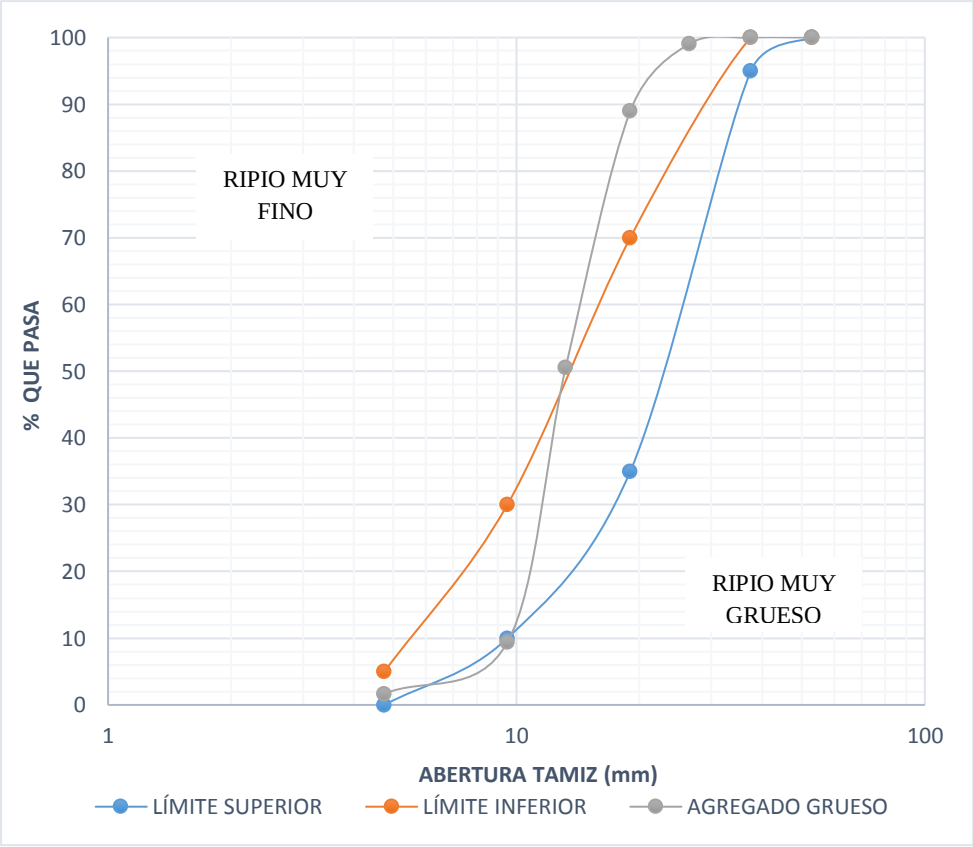


Tabla 18. Granulometría del agregado grueso

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Masa Recipiente:	9,9 kg	**Volumen Recipiente**:	20,29 dm3

DENSIDAD APARENTE SUELTA DE LOS AGREGADOS

Agregado	**Recipiente + agregado**	**Agregado**	**Densidad Aparente**	**Densidad Promedio**
	(Kg)	**(Kg)**	**(Kg/dm3)**	**(Kg/dm3)**
Fino	39,3	29,4	1,449	1,454
	39,5	29,6	1,459	
Grueso	35,8	25,9	1,276	1,276
	35,8	25,9	1,276	

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LOS AGREGADOS

Agregado	**Recipiente + agregado**	**Agregado**	**Densidad Aparente**	**Densidad Promedio**
	(Kg)	**(Kg)**	**(Kg/dm3)**	**(Kg/dm3)**
Fino	42,7	32,8	1,617	1,614
	42,6	32,7	1,612	
Grueso	38,6	28,7	1,414	1,414
	38,6	28,7	1,414	

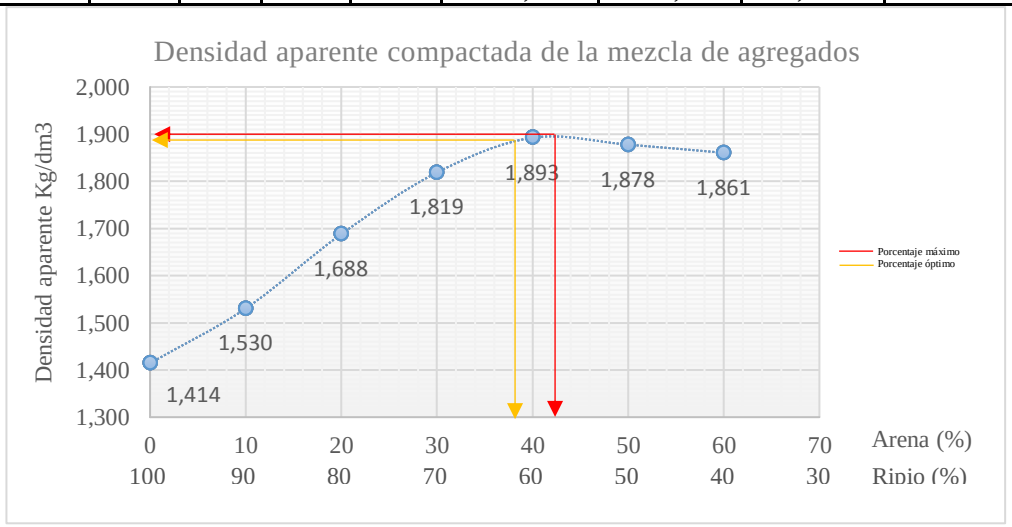
Tabla 19. Densidad aparente de los agregados

Fuente: Egda. Miriam Quijije

Masa Recipiente:	9,9 kg	**Volumen Recipiente**:	20,29 dm3

DENSIDAD APARENTE DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

Mezcla Requerida	**Cantidad Calculada**		**Cantidad Añadida**		**Recipiente + agregado**	**Agregado**	**Densidad Aparente**	**Densidad Promedio**
(%)	**(%)**		**(Kg)**		**(Kg)**	**(Kg)**	**(Kg/dm3)**	**(Kg/dm3)**
Ripio	**Arena**	**Ripio**	**Arena**	**Arena**				
100	0	40	0	0	38,6	28,7	1,414	1,414
					38,6	28,7	1,414	
90	10	40	4,44	4,44	40,9	31,0	1,528	1,530
					41,0	31,1	1,533	
80	20	40	10,00	5,56	44,2	34,3	1,690	1,688
					44,1	34,2	1,686	
70	30	40	17,14	7,14	46,8	36,9	1,819	1,819
					46,8	36,9	1,819	
60	40	40	26,67	9,53	48,4	38,5	1,897	1,893
					48,2	38,3	1,888	
50	50	40	40,00	13,33	48,0	38,1	1,878	1,878
					48,0	38,1	1,878	
40	60	40	60,00	20,00	47,6	37,7	1,858	1,861
					47,7	37,8	1,863	



Porcentaje máximo de arena	PMR	42 %
Porcentaje máximo de ripio	PMR	58 %
Porcentaje óptimo de arena	POA	38 %
Porcentaje óptimo de ripio	POR	62 %
Densidad aparente máxima de la mezcla	DMM	1,895 gr/cm³
Densidad aparente óptima de la mezcla	DOM	1,885 gr/cm³

Tabla 20. Densidad aparente de la mezcla

Fuente: Egda. Miriam Quijije

DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO

DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	VALOR
Masa del Picnómetro	m1	gr	163,70
Masa del Picnómetro + Agregado SSS	m2	gr	349,70
Masa del Picnómetro + Agregado SSS + Agua	m3	gr	776,60
Masa de Agua añadida	m4=m3-m2	gr	426,90
Masa del Picnómetro + 500cc de Agua	m5	gr	662,00
Masa de 500cc de Agua	m6=m5-m1	gr	498,30
Densidad del Agua	da=m6/500cc	gr/cm3	1,00
Masa de la Agua desalojada por el Agregado SSS	m7=m6-m4	gr	71,40
Masa del Agregado SSS	MA=m2-m1	gr	186,00
Volumen de Agregado añadido	VA=m7/da	cm3	71,64
Densidad Real del Agregado Fino	DRA=MA/VA	gr/cm3	**2,596**

DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO

DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	VALOR
Masa Canastilla en el aire	m1	gr	1260
Masa Canastilla + Agregado SSS en el aire	m2	gr	2644
Masa Agregado SSS en el aire	MR=m2-m1	gr	1384
Masa Canastilla + Agregado SSS en el agua	m3	gr	1936
Masa Canastilla en el agua	m4	gr	1102
Masa Agregado SSS en el agua	mw=m3-m4	gr	834
Densidad Real del agua	da	gr/cm3	1
Temperatura del agua	T	ºC	16
Volumen de Agregado	VR=(MR-mw)/da	cm3	550
Densidad Real del Agregado Grueso	DRR=MR/VR	gr/cm3	**2,516**

Tabla 21. Densidad real de los agregados

Fuente: Egda. Miriam Quijije

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
			1	2	1	2
Masa recipiente	m1	gr	30,8	28,9	31,9	31,1
Masa recipiente + agregado SSS	m2	gr	155,4	197,4	200,8	184,2
Masa recipiente + agregado seco	m3	gr	153,1	195,1	196,1	181,2
Masa agregado SSS	m4=m2-m1	gr	124,6	168,5	168,9	153,1
Masa agregado seco	m5=m3-m1	gr	122,3	166,2	164,2	150,1
Capacidad de Absorción	(m4-m5)/m5	%	1,88	1,38	2,86	2,00
Capacidad de Absorción	CA	%	1,63		2,43	

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
			1	2	1	2
Masa recipiente	m1	gr	32,4	30,80	31	31,8
Masa recipiente + agregado	m2	gr	200,0	198,6	209,5	225,8
Masa recipiente + agregado seco	m3	gr	196,6	195,6	208,2	224,9
Masa agregado	m4=m2-m1	gr	167,6	167,8	178,5	194
Masa agregado seco	m5=m3-m1	gr	164,2	164,8	177,2	193,1
Contenido de humedad	(m4-m5)/m5	%	2,07	1,82	0,73	0,47
Contenido de humedad	CH	%	1,95		0,60	

Tabla 22. Capacidad de absorción y Contenido de humedad de los agregados

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CEMENTO GRIS

DATOS DE ENSAYOS

DATOS	DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDAD
Resistencia a compresión requerida	f'c	240	kg/cm²
Asentamiento		6-9	cm
Densidad real del cemento gris	DRCg	2,805	gr/cm³
Densidad real de arena	DRA	2,596	gr/cm³
Densidad real del ripio	DRR	2,516	gr/cm³
Densidad aparente suelta de arena	DSA	1,454	gr/cm³
Densidad aparente suelta del ripio	DSR	1,276	gr/cm³
Densidad aparente compactada de arena	DCA	1,614	gr/cm³
Densidad aparente compactada del ripio	DCR	1,414	gr/cm³
Porcentaje óptimo de arena	POA	38	%
Módulo de Finura de arena	MFA	2,40	-
Porcentaje óptimo de ripio	POR	62	%
Densidad óptima de la mezcla	DOM	1,885	gr/cm³
Capacidad de absorción de arena	CAA	1,63	%
Capacidad de absorción del ripio	CAR	2,43	%
Contenido de humedad de arena	CHA	1,95	%
Contenido de humedad del ripio	CHR	0,60	%

CÁLCULOS

DATOS	DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDAD
Relación agua/cemento	w/c	0,58	-
Densidad real de la mezcla	DRM	2,547	gr/cm³
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	25,98	%
Cantidad de pasta	CP	300,61	dm³
Cemento	C	320,99	Kg
Agua	W	186,17	Kg o Lts
Arena	A	689,98	Kg
Ripio	R	1091,15	Kg

DOSIFICACIÓN AL PESO

MATERIAL	CANTIDAD EN (Kg) POR m³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN (Kg) POR SACO DE CEMENTO (50 KG)
W	186,17	0,58	29,00
C	320,99	1	50,00
A	689,98	2,15	107,48
R	1091,15	3,40	169,97
TOTAL	**2288,29**	**Kg/m³ Densidad del hormigón**	

Tabla 23. Dosificación del hormigón para cemento gris

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CEMENTO BLANCO

DATOS DE ENSAYOS

DATOS	DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDAD
Resistencia a compresión requerida	f'c	240	kg/cm²
Asentamiento		6-9	cm
Densidad real del cemento blanco	DRCb	2,949	gr/cm³
Densidad real de arena	DRA	2,596	gr/cm³
Densidad real del ripio	DRR	2,516	gr/cm³
Densidad aparente suelta de arena	DSA	1,454	gr/cm³
Densidad aparente suelta del ripio	DSR	1,276	gr/cm³
Densidad aparente compactada de arena	DCA	1,614	gr/cm³
Densidad aparente compactada del ripio	DCR	1,414	gr/cm³
Porcentaje óptimo de arena	POA	38	%
Módulo de Finura de arena	MFA	2,40	-
Porcentaje óptimo de ripio	POR	62	%
Densidad óptima de la mezcla	DOM	1,885	gr/cm³
Capacidad de absorción de arena	CAA	1,63	%
Capacidad de absorción del ripio	CAR	2,43	%
Contenido de humedad de arena	CHA	1,95	%
Contenido de humedad del ripio	CHR	0,60	%

CÁLCULOS

DATOS	DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDAD
Relación agua/cemento	w/c	0,58	-
Densidad real de la mezcla	DRM	2,547	gr/cm³
Porcentaje óptimo de vacíos	POV	25,98	%
Cantidad de pasta	CP	300,61	dm³
Cemento	C	327,08	Kg
Agua	W	189,71	Kg o Lts
Arena	A	689,98	Kg
Ripio	R	1091,15	Kg

DOSIFICACIÓN AL PESO

MATERIAL	CANTIDAD EN (Kg) POR m³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN (Kg) POR SACO DE CEMENTO (50 KG)
W	189,71	0,58	29,00
C	327,08	1	50,00
A	689,98	2,11	105,48
R	1091,15	3,34	166,80
TOTAL	2297,92	**Kg/m³ Densidad del hormigón**	

Tabla 24. Dosificación del hormigón para cemento blanco

Fuente: Egda. Miriam Quijije

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE DOSIFICACIÓN DE CEMENTO GRIS

Material	Cantidad en Kg para 1m³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidades en Kg por saco de cemento	CA	CH	Corrección por humedad		Cantidades	Dosificación corregida
				%	%	%	Kg	Kg	
W	186,17	0,58	29,00	-	-	-	2,77	31,77	0,64
C	320,99	1,00	50,00	-	-	-	-	50,00	1,00
A	689,98	2,15	107,48	1,63	1,95	-0,31	-0,34	107,82	2,16
R	1091,15	3,40	169,97	2,43	0,60	1,83	3,11	166,86	3,34

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE DOSIFICACIÓN DE CEMENTO BLANCO

Material	Cantidad en Kg para 1m³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidades en Kg por saco de cemento	CA	CH	Corrección por humedad		Cantidades	Dosificación corregida
				%	%	%	Kg	Kg	
W	189,71	0,58	29,00	-	-	-	2,72	31,72	0,63
C	327,08	1,00	50,00	-	-	-	-	50,00	1,00
A	689,98	2,11	105,48	1,63	1,95	-0,31	-0,33	105,81	2,12
R	1091,15	3,34	166,80	2,43	0,60	1,83	3,05	163,75	3,27

Nomenclatura

W	Agua
C	Cemento
A	Arena
R	Ripio
CA	Capacidad de absorción
CH	Contenido de humedad

Tabla 25. Corrección por humedad de dosificaciones

Fuente: Egda. Miriam Quijije

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN TRADICIONAL CON CEMENTO GRIS

DETALLE DE CILINDROS			
DATOS	**DENOMINACIÓN**	**VALOR**	**UNIDAD**
Diámetro	D	0,15	m
Altura	H	0,30	m
Volumen	Vc	0,0053	m^3
N° de cilindros	n	12	u
Volumen total	Vt	0,0636	m^3

Material	**Cantidades en Kg para 1m^3 de hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg para 12 cilindros**
W	203,99	0,64	12,98
C	320,99	1,00	20,42
A	692,14	2,16	44,03
R	1071,17	3,34	68,15

Tabla 26. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón tradicional con cemento gris.

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN CON PIGMENTO MINERAL (CALCANTITA) CON CEMENTO GRIS

DETALLE DE CILINDROS			
DATOS	**DENOMINACIÓN**	**VALOR**	**UNIDAD**
Diámetro	D	0,15	m
Altura	H	0,30	m
Volumen del cilindro	Vc	0,0053	m³
N° de cilindros por porcentaje de adición	n	12	u
Volumen total	Vt	0,0636	m³

Porcentaje de pigmento mineral (calcantita)	4%

Material	**Cantidades en Kg para 1m³ de hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg para 12 cilindros**
W	203,99	0,64	12,98
Pm	12,84	0,04	0,82
C	320,99	1,00	20,42
A	692,14	2,16	44,03
R	1071,17	3,34	68,15

Porcentaje de pigmento mineral (calcantita)	7%

Material	**Cantidades en Kg para 1m³ de hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg para 12 cilindros**
W	203,99	0,64	12,98
Pm	22,47	0,07	1,43
C	320,99	1,00	20,42
A	692,14	2,16	44,03
R	1071,17	3,34	68,15

Porcentaje de pigmento mineral (calcantita)	10%

Material	**Cantidades en Kg para 1m³ de hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg para 12 cilindros**
W	203,99	0,64	12,98
Pm	32,10	0,10	2,04
C	320,99	1,00	20,42
A	692,14	2,16	44,03
R	1071,17	3,34	68,15

Tabla 27. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón con pigmento mineral (calcantita) con cemento gris

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN CON PIGMENTO VEGETAL (REMOLACHA) CON CEMENTO GRIS

DETALLE DE CILINDROS			
DATOS	**DENOMINACIÓN**	**VALOR**	**UNIDAD**
Diámetro	D	0,15	m
Altura	H	0,30	m
Volumen del cilindro	Vc	0,0053	m³
N° de cilindros por porcentaje de adición	n	12	u
Volumen total	Vt	0,0636	m³

Porcentaje de pigmento vegetal (remolacha) 15%

Material	Cantidades en Kg para 1m³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en Kg para 12 cilindros
W	173,39	0,54	11,03
Pv	30,60	0,10	1,95
C	320,99	1,00	20,42
A	692,14	2,16	44,03
R	1071,17	3,34	68,15

Porcentaje de pigmento vegetal (remolacha) 30%

Material	Cantidades en Kg para 1m³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en Kg para 12 cilindros
W	142,79	0,44	9,08
Pv	61,20	0,19	3,89
C	320,99	1,00	20,42
A	692,14	2,16	44,03
R	1071,17	3,34	68,15

Porcentaje de pigmento vegetal (Remolacha) 45%

Material	Cantidades en Kg para 1m³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en Kg para 12 cilindros
W	112,19	0,35	7,14
Pv	91,79	0,29	5,84
C	320,99	1,00	20,42
A	692,14	2,16	44,03
R	1071,17	3,34	68,15

Tabla 28. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón con pigmento vegetal (remolacha) con cemento gris

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN CON PIGMENTOS NATURALES CON CEMENTO BLANCO

DETALLE DE CILINDROS			
DATOS	**DENOMINACIÓN**	**VALOR**	**UNIDAD**
Diámetro	D	0,15	m
Altura	H	0,30	m
Volumen del cilindro	Vc	0,0053	m^3
N° de cilindros por porcentaje de adición	n	3	u
Volumen total	Vt	0,0159	m^3

Porcentaje de pigmento mineral (calcantita)	10%

Material	**Cantidades en Kg para 1m³ de hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg para 3 cilindros**
W	207,52	0,63	3,30
Pm	32,71	0,10	0,52
C	327,08	1,00	5,20
A	692,14	2,12	11,01
R	1071,17	3,27	17,04

Porcentaje de pigmento vegetal (remolacha)	30%

Material	**Cantidades en Kg para 1m³ de hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg para 3 cilindros**
W	114,14	0,35	2,31
Pv	93,38	0,29	0,99
C	327,08	1,00	5,20
A	692,14	2,12	11,01
R	1071,17	3,27	17,04

Tabla 29. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón con pigmentos naturales con cemento blanco

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN CON PIGMENTO SINTÉTICO CON CEMENTO GRIS

DETALLE DE CILINDROS			
DATOS	**DENOMINACIÓN**	**VALOR**	**UNIDAD**
Diámetro	D	0,15	m
Altura	H	0,30	m
Volumen del cilindro	Vc	0,0053	m³
N° de cilindros por porcentaje de adición	n	3	u
Volumen total	Vt	0,0159	m³

Porcentaje de pigmento sintético	7%

Material	**Cantidades en Kg para 1m³ de hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg para 12 cilindros**
W	203,99	0,64	3,24
Ps	22,47	0,07	0,36
C	320,99	1,00	5,11
A	692,14	2,16	11,01
R	1071,17	3,34	17,04

Tabla 30. Detalle de cilindros: Dosificación de hormigón con pigmento sintético con cemento gris.

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

HORMIGÓN TRADICIONAL

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	m3	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	13/02/2017	0,152	0,299	11,5	24,3	0,0054	12,8	Buena	7	Buena	2368,52	2338,52
2		0,153	0,298	11,5	24,1	0,0055	12,6				2311,83	
3		0,153	0,300	11,7	24,4	0,0055	12,7				2302,55	
4		0,153	0,299	11,5	24,2	0,0055	12,7				2325,43	
5		0,153	0,300	11,5	24,3	0,0055	12,8				2308,60	
6		0,152	0,299	11,4	24,1	0,0054	12,7				2346,92	
7		0,151	0,299	11,4	24,1	0,0054	12,7				2365,59	
8		0,151	0,300	11,6	24,2	0,0054	12,6				2345,34	
9		0,151	0,299	11,5	24,1	0,0053	12,6				2359,43	
10		0,153	0,299	11,4	24,4	0,0055	13				2377,24	
11		0,151	0,299	11,6	24,1	0,0054	12,5				2331,42	
12		0,153	0,299	11,7	24,4	0,0055	12,7				2319,34	

Tabla 31. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón tradicional

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 4% DE PIGMENTO MINERAL (CALCANTITA)*

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	m3	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	13/02/2013	0,151	0,298	11,4	24,2	0,00534	12,8	Buena	7	Buena	2398,56	2339,71
2		0,153	0,298	11,5	24,2	0,00548	12,7				2318,01	
3		0,151	0,298	11,4	24,1	0,00533	12,7				2382,97	
4		0,152	0,299	11,6	24,2	0,00543	12,6				2319,27	
5		0,152	0,300	11,5	24,1	0,00543	12,6				2320,68	
6		0,152	0,299	11,6	24,4	0,00543	12,8				2359,18	
7		0,152	0,300	11,5	24	0,00542	12,5				2308,34	
8		0,152	0,299	11,1	23,8	0,00545	12,7				2328,48	
9		0,152	0,299	11,6	24,2	0,00544	12,6				2316,22	
10		0,152	0,300	10,4	23,1	0,00544	12,7				2332,95	
11		0,151	0,299	10,3	22,9	0,00538	12,6				2340,76	
12		0,153	0,300	11,3	24,2	0,00549	12,9				2351,09	

*Con respecto al peso del cemento

Tabla 32. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 4% de pigmento mineral (calcantita)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 7% DE PIGMENTO MINERAL (CALCANTITA)*

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	m3	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	14/02/2017	0,152	0,299	11,5	24,3	0,00540	12,8	Buena	7	Buena	2368,52	2335,61
2		0,153	0,298	11,5	24,1	0,00545	12,6				2311,83	
3		0,153	0,300	11,7	24,2	0,00552	12,5				2266,29	
4		0,153	0,299	11,5	24,4	0,00546	12,9				2362,05	
5		0,153	0,300	11,5	24,2	0,00554	12,7				2290,56	
6		0,152	0,299	11,4	24,2	0,00541	12,8				2365,40	
7		0,151	0,299	11,4	24,0	0,00537	12,6				2346,96	
8		0,151	0,300	11,6	24,4	0,00537	12,8				2382,57	
9		0,151	0,299	11,5	24,3	0,00534	12,8				2396,88	
10		0,153	0,299	11,4	24,2	0,00547	12,8				2340,67	
11		0,151	0,299	11,6	24,0	0,00536	12,4				2312,77	
12		0,153	0,299	11,7	24,2	0,00548	12,5				2282,82	

*Con respecto al peso del cemento

Tabla 33. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 7% de pigmento mineral (calcantita)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 10% DE PIGMENTO MINERAL (CALCANTITA)*

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	m3	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	15/02/2017	0,151	0,298	11,3	24,1	0,00534	12,8	Buena	7	Buena	2398,56	2319,73
2		0,153	0,298	11,5	23,9	0,00548	12,4				2263,25	
3		0,151	0,298	11,4	23,8	0,00533	12,4				2326,68	
4		0,152	0,299	11,6	24	0,00543	12,4				2282,45	
5		0,152	0,300	11,5	23,9	0,00543	12,4				2283,85	
6		0,152	0,299	11,5	24,2	0,00543	12,7				2340,75	
7		0,152	0,300	11,5	24,1	0,00542	12,6				2326,81	
8		0,152	0,299	11,1	23,8	0,00545	12,7				2328,48	
9		0,152	0,299	11,6	24,1	0,00544	12,5				2297,84	
10		0,152	0,300	10,4	22,9	0,00544	12,5				2296,21	
11		0,151	0,299	10,3	22,9	0,00538	12,6				2340,76	
12		0,153	0,300	11,3	24,2	0,00549	12,9				2351,09	

*Con respecto al peso del cemento

Tabla 34. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 10% de pigmento mineral (calcantita)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 15% DE PIGMENTO VEGETAL (REMOLACHA)*

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	m3	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	16/02/2017	0,152	0,299	11,5	24,2	0,00540	12,7	Muy buena	8	Buena	2350,02	2321,87
2		0,153	0,298	11,4	24,2	0,00545	12,8				2348,52	
3		0,153	0,300	11,7	24,1	0,00552	12,4				2248,16	
4		0,153	0,299	11,5	24,0	0,00546	12,5				2288,81	
5		0,153	0,300	11,5	24,0	0,00554	12,5				2254,49	
6		0,152	0,299	11,4	24,1	0,00541	12,7				2346,92	
7		0,151	0,299	11,4	24,0	0,00537	12,6				2346,96	
8		0,151	0,300	11,6	24,4	0,00537	12,8				2382,57	
9		0,151	0,299	11,5	24,0	0,00534	12,5				2340,70	
10		0,153	0,299	11,4	24,2	0,00547	12,8				2340,67	
11		0,151	0,299	11,5	24,1	0,00536	12,6				2350,07	
12		0,153	0,299	11,7	24,1	0,00548	12,4				2264,55	

* En reemplazo parcial del agua

Tabla 35. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 15% de pigmento vegetal (remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 30% DE PIGMENTO VEGETAL (REMOLACHA)*

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	m3	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	20/02/2017	0,151	0,298	11,4	24,2	0,00534	12,8	Muy buena	7	Buena	2398,56	2344,30
2		0,153	0,298	11,5	24,2	0,00548	12,7				2318,01	
3		0,151	0,298	11,4	24,0	0,00533	12,6				2364,21	
4		0,152	0,299	11,6	24,3	0,00543	12,7				2337,68	
5		0,152	0,300	11,5	24,3	0,00543	12,8				2357,52	
6		0,152	0,299	11,6	24,2	0,00543	12,6				2322,32	
7		0,152	0,300	11,5	24,2	0,00542	12,7				2345,28	
8		0,152	0,299	11,1	23,8	0,00545	12,7				2328,48	
9		0,152	0,299	11,6	24,2	0,00544	12,6				2316,22	
10		0,152	0,300	10,4	23,1	0,00544	12,7				2332,95	
11		0,151	0,299	10,3	23,0	0,00538	12,7				2359,34	
12		0,153	0,300	11,3	24,2	0,00549	12,9				2351,09	

* En reemplazo parcial del agua

Tabla 36. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 30% de pigmento vegetal (remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 45% DE PIGMENTO VEGETAL (REMOLACHA)*

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	m3	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	20/02/2017	0,152	0,299	11,5	24,4	0,00540	12,9	Muy buena	7	Buena	2387,03	2341,66
2		0,153	0,298	11,5	24,1	0,00545	12,6				2311,83	
3		0,153	0,300	11,7	24,4	0,00552	12,7				2302,55	
4		0,153	0,299	11,5	24,2	0,00546	12,7				2325,43	
5		0,153	0,300	11,5	24,4	0,00554	12,9				2326,63	
6		0,152	0,299	11,4	24,3	0,00541	12,9				2383,88	
7		0,151	0,299	11,4	24,0	0,00537	12,6				2346,96	
8		0,151	0,300	11,6	24,4	0,00537	12,8				2382,57	
9		0,151	0,299	11,5	24,2	0,00534	12,7				2378,15	
10		0,153	0,299	11,4	24,1	0,00547	12,7				2322,38	
11		0,151	0,299	11,6	24,1	0,00536	12,5				2331,42	
12		0,153	0,299	11,7	24,3	0,00548	12,6				2301,08	

* En reemplazo parcial del agua

Tabla 37. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 45% de pigmento vegetal (remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

HORMIGÓN CON CEMENTO BLANCO Y 10% PIGMENTO MINERAL (CALCANTITA)*

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	Kg	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	22/02/2017	0,152	0,299	11,5	24,1	0,00540	12,6	Buena	6,5	Buena	2331,52	2297,10
2		0,153	0,298	11,5	24,0	0,00545	12,5				2293,48	
3		0,153	0,300	11,7	24,2	0,00552	12,5				2266,29	

HORMIGÓN CON CEMENTO BLANCO Y 30% PIGMENTO VEGETAL (REMOLACHA)**

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	Kg	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	22/02/2017	0,153	0,299	11,5	24,3	0,00546	12,8	Muy buena	7	Buena	2343,74	2339,25
2		0,153	0,300	11,5	24,3	0,00554	12,8				2308,60	
3		0,152	0,299	11,4	24,2	0,00541	12,8				2365,40	

*Con respecto al peso del cemento

**En reemplazo parcial del agua

Tabla 38. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales (calcantita y remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 7% PIGMENTO SINTÉTICO

N°	Fecha de elaboración	Diámetro	Altura	Masa molde	Masa molde + H°	Volumen molde	Masa H°	Trabajabilidad	Consistencia	Homogeneidad	Densidad	Densidad media
		m	m	Kg	Kg	Kg	Kg		cm		Kg/m3	Kg/m3
1	22/02/2017	0,151	0,299	11,4	24,1	0,00537	12,7	Buena	6,5	Buena	2365,59	2381,68
2		0,151	0,300	11,6	24,4	0,00537	12,8				2382,57	
3		0,151	0,299	11,5	24,3	0,00534	12,8				2396,88	

Tabla 39. Propiedades del hormigón fresco: Hormigón con cemento gris y 7% de pigmento sintético

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO MEDIO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
1	13/02/2017	20/02/2017	7	15,26	30,00	5486,81	12,7	2314,64	2308,97	292,4	29816,50	163,03	163,31
2				15,20	29,90	5425,61	12,5	2303,89		292,8	29857,29	164,54	
3				15,27	30,00	5494,01	12,7	2311,61		291,6	29734,92	162,37	
4		27/02/2017	14	15,10	30,00	5372,36	12,6	2345,34		356,6	36362,67	203,05	202,41
5				15,32	30,00	5530,05	12,7	2296,55		368,8	37602,04	203,99	
6				15,25	30,00	5479,62	12,6	2299,43		358,6	36567,23	200,20	
7		06/03/2017	21	15,25	29,80	5443,09	12,5	2296,49		407,7	41573,83	227,61	227,37
8				15,20	30,00	5443,75	12,6	2314,58		406,9	41492,25	228,66	
9				15,30	29,80	5478,84	12,6	2299,75		407,2	41522,84	225,85	
10		13/03/2017	28	15,2	30,00	5443,75	12,6	2314,58		430,5	43898,78	241,92	241,62
11				15,21	30,00	5450,92	12,5	2293,19		430,1	43857,99	241,38	
12				15,19	30,00	5436,59	12,6	2317,63		429,3	43776,42	241,57	

Tabla 40. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón tradicional

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 4% DE PIGMENTO MINERAL (CALCANTITA)*

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO MEDIO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
1	13/02/2017	20/02/2017	7	15,19	29,80	5400,35	12,5	2314,67	2302,24	0,0	0,0	0,0	0,0
2				15,26	30,00	5486,81	12,5	2278,19		0,0	0,0	0,0	
3				15,21	29,80	5414,58	12,5	2308,58		0,0	0,0	0,0	
4		27/02/2017	14	15,30	29,90	5497,23	12,6	2292,06		148,4	15132,59	82,31	82,39
5				15,26	29,90	5468,52	12,6	2304,10		148,1	15102,00	82,57	
6				15,26	29,80	5450,23	12,6	2311,83		147,6	15051,01	82,29	
7		06/03/2017	21	15,15	29,90	5389,97	12,6	2337,68		313,1	31927,31	177,11	176,25
8				15,24	29,90	5454,20	12,5	2291,81		313,5	31968,10	175,25	
9				15,21	30,00	5450,92	12,4	2274,85		314,3	32049,68	176,39	
10		13/03/2017	28	15,16	29,80	5379,04	12,5	2323,84		396,4	40421,55	223,94	223,88
11				15,10	30,00	5372,36	12,4	2308,11		396,8	40462,34	225,95	
12				15,25	30,00	5479,62	12,5	2281,18		397,2	40503,13	221,75	

*Con respecto al peso del cemento

Tabla 41. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 4% de pigmento mineral (calcantita)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 7% DE PIGMENTO MINERAL (CALCANTITA)*

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO MEDIO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
1	14/02/2017	21/02/2017	7	15,27	29,7	5439,07	12,7	2325,77	2310,29	0,0	0,0	0,0	0,0
2				15,24	29,7	5417,72	12,5	2307,25		0,0	0,0	0,0	
3				15,25	29,6	5406,56	12,6	2330,50		0,0	0,0	0,0	
4		28/02/2017	14	15,15	29,9	5389,97	12,6	2337,68		30,1	3069,35	17,03	16,93
5				15,20	29,9	5425,61	12,6	2322,32		29,7	3028,56	16,69	
6				15,25	30,0	5479,62	12,6	2299,43		30,6	3120,33	17,08	
7		07/03/2017	21	15,09	29,8	5329,48	12,4	2326,68		187,7	19140,07	107,02	105,38
8				15,28	29,9	5482,87	12,6	2298,07		186,6	19027,90	103,77	
9				15,18	30,0	5429,44	12,6	2320,68		187,0	19068,69	105,36	
10		14/03/2017	28	15,29	29,8	5471,69	12,6	2302,76		379,6	38708,43	210,81	210,51
11				15,26	29,8	5450,23	12,4	2275,13		379,8	38728,82	211,76	
12				15,34	29,7	5489,05	12,5	2277,26		378,7	38616,65287	208,95	

*Con respecto al peso del cemento

Tabla 42. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 7% de pigmento mineral (calcantita)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 10% DE PIGMENTO MINERAL (CALCANTITA)*

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO MEDIO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
1	15/02/2017	22/02/2017	7	15,14	29,80	5364,85	12,5	2329,98	2304,13	0,0	0,00	0,00	0,0
2				15,06	29,70	5290,49	12,4	2343,83		0,0	0,00	0,00	
3				15,07	29,70	5297,52	12,4	2340,72		0,0	0,00	0,00	
4		01/03/2017	14	15,20	29,70	5389,31	12,4	2300,85		0,0	0,00	0,00	0,0
5				15,05	30,00	5336,84	12,3	2304,73		0,0	0,00	0,00	
6				15,34	29,90	5526,01	12,6	2280,13		0,0	0,00	0,00	
7		08/03/2017	21	15,15	30,00	5408,00	12,5	2311,39		0,0	0,00	0,00	0,00
8				15,27	30,00	5494,01	12,5	2275,21		0,0	0,00	0,00	
9				15,30	29,90	5497,23	12,4	2255,68		0,0	0,00	0,00	
10		15/03/2017	28	15,20	30,00	5443,75	12,5	2296,21		195,7	19955,85	109,97	110,14
11				15,20	30,00	5443,75	12,5	2296,21		196,4	20027,23	110,37	
12				15,20	30,00	5443,75	12,6	2314,58		195,9	19976,24	110,09	

*Con respecto al peso del cemento

Tabla 43. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 10% de pigmento mineral (calcantita)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 15% DE PIGMENTO VEGETAL (REMOLACHA)*

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO MEDIO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
1	16/02/2017	23/02/2017	7	15,20	29,80	5407,46	12,4	2293,13	2287,16	47,7	4864,05	26,81	26,3
2				15,22	29,70	5403,51	12,3	2276,30		46,3	4721,29	25,95	
3				15,25	29,70	5424,83	12,4	2285,79		46,9	4782,47	26,18	
4		02/03/2017	14	15,21	29,80	5414,58	12,3	2271,65		259,6	26471,83	145,69	147,4
5				15,06	29,90	5326,12	12,3	2309,37		259,1	26420,85	148,32	
6				15,12	30,00	5386,60	12,4	2302,01		260,8	26594,20	148,11	
7		09/03/2017	21	15,14	29,90	5382,86	12,3	2285,03		298,4	30428,33	169,02	167,8
8				15,18	29,70	5375,14	12,2	2269,71		295,1	30091,83	166,27	
9				15,15	29,80	5371,94	12,3	2289,67		297,3	30316,16	168,17	
10		16/03/2017	28	15,16	30,00	5415,14	12,4	2289,88		356,4	36342,69	201,34	200,8
11				15,14	30,00	5400,86	12,3	2277,42		353,6	36057,17	200,29	
12				15,14	30,00	5400,86	12,4	2295,93		354,5	36148,94	200,80	

* En reemplazo parcial del agua

Tabla 44. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 15% de pigmento vegetal (remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 30% DE PIGMENTO VEGETAL (REMOLACHA)*

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO MEDIO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
1	20/02/2017	27/02/2017	7	15,25	30,00	5479,62	12,7	2317,68	2314,60	402,3	41023,18	224,6	223,1
2				15,18	30,00	5429,44	12,6	2320,68		395,6	40339,97	222,9	
3				15,26	30,00	5486,81	12,7	2314,64		397,8	40564,31	221,8	
4		06/03/2017	14	15,26	30,00	5486,81	12,7	2314,64		460,8	46988,52	256,9	257,9
5				15,16	30,00	5415,14	12,6	2326,81		463,9	47304,63	262,1	
6				15,30	30,00	5515,62	12,6	2284,42		459,1	46815,17	254,6	
7		13/03/2017	21	15,20	30,00	5443,75	12,6	2314,58		534,8	54534,42	300,5	297,4
8				15,26	30,00	5486,81	12,7	2314,64		529,8	54024,56	295,4	
9				15,25	30,00	5479,62	12,6	2299,43		530,6	54106,14	296,2	
10		20/03/2017	28	15,20	30,00	5443,75	12,7	2332,95		595,9	60764,89	334,9	334,8
11				15,25	30,00	5481,06	12,7	2317,07		596,3	60805,68	332,8	
12				15,19	30,00	5436,59	12,6	2317,63		598,5	61030,02	336,8	

* En reemplazo parcial del agua

Tabla 45. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 30% de pigmento vegetal (remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 45% DE PIGMENTO VEGETAL (REMOLACHA)*

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO MEDIO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
1	20/02/2017	27/02/2017	7	15,19	30,00	5436,59	12,8	2354,42	2324,79	0	0	0,0	0,0
2				15,25	29,80	5443,09	12,6	2314,86		0	0	0,0	
3				15,20	29,80	5407,46	12,6	2330,11		0	0	0,0	
4		06/03/2017	14	15,11	30,00	5379,48	12,60	2342,24		0	0	0,0	0,0
5				15,30	30,00	5515,62	12,70	2302,55		0	0	0,0	
6				15,33	29,90	5518,81	12,70	2301,22		0	0	0,0	
7		13/03/2017	21	15,24	30,00	5472,44	12,60	2302,45		270,6	27593,52	151,3	152,2
8				15,22	30,00	5458,09	12,60	2308,50		268,2	27348,79	150,3	
9				15,10	30,00	5372,36	12,50	2326,72		272,1	27746,48	154,9	
10		20/03/2017	28	15,16	30,00	5415,14	12,60	2326,81		368,2	37545,95	208,0	208,0
11				15,05	30,00	5336,84	12,50	2342,21		362,6	36974,91	207,8	
12				15,10	30,00	5372,36	12,60	2345,34		365,8	37301,22	208,3	

* En reemplazo parcial del agua

Tabla 46. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 45% de pigmento vegetal (remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON CEMENTO BLANCO Y 10% DE PIGMENTO MINERAL (CALCANTITA)*

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2
1	22/02/2017	01/03/2017	7	15,24	30,00	5472,44	12,7	2320,72	2314,62	17,1	1743,71	9,6
2		14/01/1900	14	15,30	30,00	5515,62	12,7	2302,55		512,5	52260,46	284,2
3		22/03/2017	28	15,12	30,00	5386,60	12,5	2320,57		752,7	76759,05	427,5

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON CEMENTO BLANCO Y 30% DE PIGMENTO VEGETAL (REMOLACHA)**

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2
1	22/02/2017	01/03/2017	7	15,24	30,00	5472,44	12,6	2302,45	2308,53	621,5	63375,36	347,4
2		14/01/1900	14	15,27	30,00	5494,01	12,7	2311,61		731,2	74561,65	407,1
3		22/03/2017	28	15,21	30,00	5450,92	12,6	2311,54		888,4	90594,24	498,6

*Con respecto al peso del cemento

* En reemplazo parcial del agua

Tabla 47. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales (calcantita y remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON CEMENTO GRIS Y 7% DE PIGMENTO SINTÉTICO

N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO
			días	cm	cm	cm3	Kg	Kg/m3	Kg/m3	KN	Kg	Kg/cm2
1	22/02/2017	01/03/2017	7	15,26	30,10	5505,10	12,6	2288,79	2295,93	282,3	28786,59	157,4
2		14/01/1900	14	15,30	30,00	5515,62	12,6	2284,42		340,1	34680,55	188,6
3		22/03/2017	28	15,20	30,00	5443,75	12,6	2314,58		413,7	42189,08	232,5

Tabla 48. Propiedades del hormigón endurecido: Resistencia a compresión del hormigón con cemento gris y 7% de pigmento sintético

Fuente: Egda. Miriam Quijije

4.2. Análisis de resultados

4.2.1. Resistencia a compresión

La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos a partir de las probetas ensayadas de la resistencia a compresión de las dosificaciones indicadas:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Resumen de resistencia a compresión de cilindros: hormigón con cemento gris Kg/cm^2

Edad	Hormigón tradicional	Hormigón con pigmento mineral (calcantita)*			Hormigón con pigmento vegetal (remolacha)**			Hormigón con pigmento sintético*
días		4%	7%	10%	15%	30%	45%	7%
7	163,31	0,0	0,0	0,0	26,3	223,1	0,0	157,4
14	202,41	82,39	16,93	0,0	147,4	257,9	0,0	188,6
21	227,4	176,25	105,38	0,0	167,8	297,4	152,2	-
28	241,62	223,88	210,51	110,14	200,8	334,8	208,0	232,5

*Porcentaje adicionado con respecto al peso del cemento
*Porcentaje en reemplazo parcial del agua

Tabla 49. Resumen de resistencia a compresión de cilindros: hormigón con cemento gris

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Resumen de resistencia a compresión de cilindros: hormigón con cemento blanco Kg/cm^2

Edad	Hormigón con pigmento mineral (calcantita)*	Hormigón con pigmento vegetal (remolacha)**
días	10%	30%
7	9,56	347,4
14	284,25	407,1
28	427,50	498,6

*Porcentaje adicionado con respecto al peso del cemento
*Porcentaje en reemplazo parcial del agua

Tabla 50. Resumen de resistencia a compresión de cilindros: hormigón con cemento blanco

Fuente: Egda. Miriam Quijije

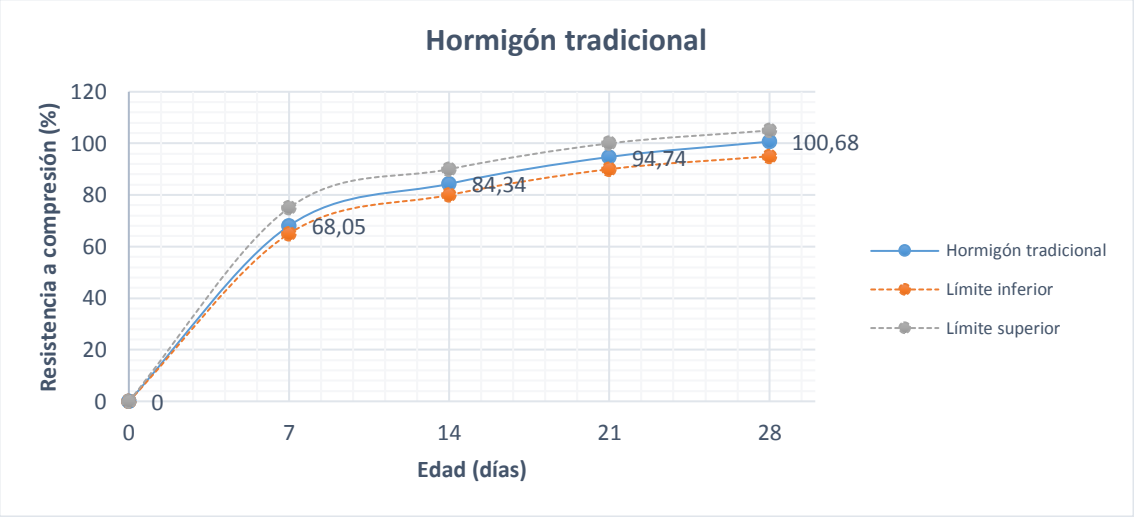
La resistencia a compresión del hormigón tradicional cumple con los límites establecidos, el cual fue elaborado como se indica en la Tabla 26. donde muestra la dosificación de hormigón tradicional con cemento gris.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Resistencia a la compresión					
Edad	**Hormigón tradicional**		**Límite inferior**	**Límite promedio**	**Límite superior**
días	**kg/cm2**	**%**	**%**	**%**	**%**
7	163,31	68,05	65,00	70,00	75,00
14	202,41	84,34	80,00	85,00	90,00
21	227,37	94,74	90,00	95,00	100,00
28	241,62	100,68	95,00	100,00	105,00

Tabla 51. Resistencia a la compresión: hormigón tradicional

Fuente: Egda. Miriam Quijije



Gráfica 2. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón tradicional

Fuente: Egda. Miriam Quijije

La siguiente tabla indica la resistencia a compresión relativa a f'c=240kg/cm^2, donde se aprecia el comportamiento de los cilindros de hormigón elaborados con diferentes

adiciones de porcentajes de pigmento natural mineral (calcantita), como se muestra en la Tabla 27.

En la Norma BS 1014 y ASTM C 979 señala que la resistencia compresión a los 28 días de edad del hormigón pigmentado puede variar en un 10% con respecto al hormigón tradicional. Tomando en cuenta esta condición, se considera el promedio de los límites de la resistencia a compresión de hormigón tradicional y se aplica ±10% para establecer límites en el hormigón pigmentado.

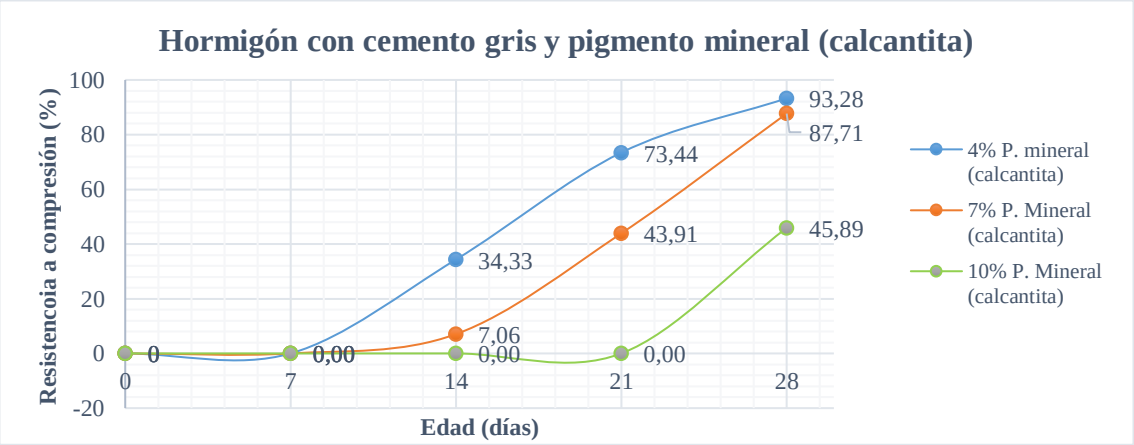
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Resistencia a la compresión del hormigón con cemento gris y pigmento natural mineral (calcantita)

Edad	Hormigón con pigmento mineral (calcantita)*			Límite inferior	Límite superior
	4%	7%	10%		
días	%	%	%	%	%
7	0,00	0,00	0,00	60,00	80,00
14	34,33	7,06	0,00	75,00	95,00
21	73,44	43,91	0,00	85,00	105,00
28	93,28	87,71	45,89	90,00	110,00
*Porcentaje adicionado con respecto al peso del cemento					

Tabla 52. Resistencia a la compresión: Hormigón con cemento gris con pigmento mineral (calcantita)

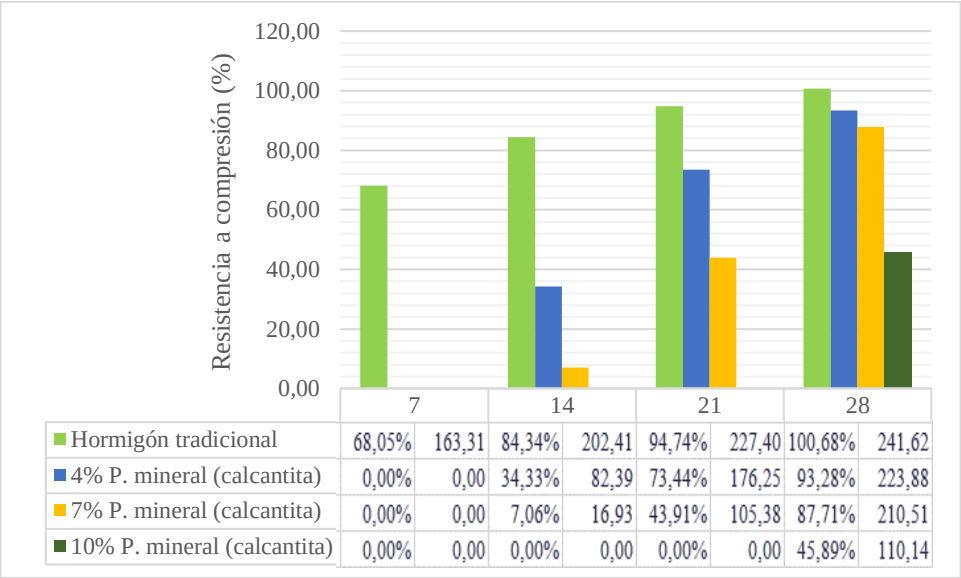
Fuente: Egda. Miriam Quijije



Gráfica 3. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón con cemento gris y pigmento mineral (calcantita)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

A los 7 días de edad, el hormigón presenta una resistencia a compresión nula en las 3 dosificaciones, similar al hormigón elaborado con gaseosa, como se indica en el anexo fotográfico N°34. Progresivamente los cilindros ensayados aumentaron su resistencia con las dosificaciones de adición de 4% y 7% de pigmento natural mineral (calcantita) con respecto al peso del cemento, hasta lograr el 93.28 % y 87.71% respectivamente, a los 28 días de edad; mientras que para dosificación de adición del 10% del pigmento, sólo se obtuvieron valores a la edad de 28 días con un valor de 45.89%.



	7		14		21		28	
Hormigón tradicional	68,05%	163,31	84,34%	202,41	94,74%	227,40	100,68%	241,62
4% P. mineral (calcantita)	0,00%	0,00	34,33%	82,39	73,44%	176,25	93,28%	223,88
7% P. mineral (calcantita)	0,00%	0,00	7,06%	16,93	43,91%	105,38	87,71%	210,51
10% P. mineral (calcantita)	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	45,89%	110,14

Gráfica 4. Hormigón tradicional y hormigón con pigmento natural mineral (calcantita)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que únicamente la dosificación elaborada para el hormigón con cemento gris y 4% de pigmento natural mineral (calcantita) logra entrar en el rango límite de resistencia a compresión en la edad de 28 días.

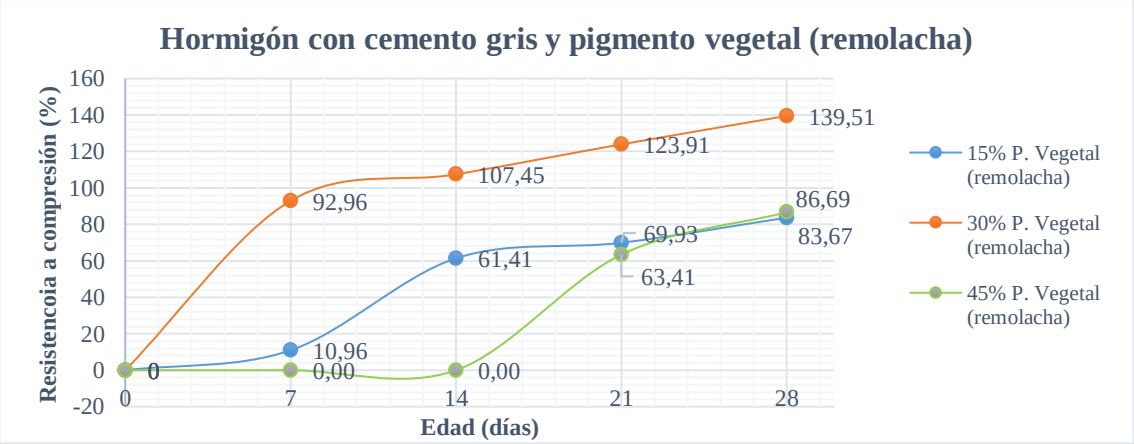
Con respecto al hormigón con pigmento natural vegetal (remolacha), se presenta la siguiente tabla de resumen de resistencia a compresión relativa a 240 kg/cm^2, datos obtenidos de cilindros elaborados con las respectivas dosificaciones indicadas en la Tabla 28:

Resistencia a la compresión del hormigón con cemento gris y pigmento natural vegetal (remolacha)

Edad	Hormigón con pigmento vegetal (remolacha)*			Límite inferior	Límite superior
	15%	30%	45%		
días	%	%	%	%	%
7	10,96	92,96	0,00	60,00	80,00
14	61,41	107,45	0,00	75,00	95,00
21	69,93	123,91	63,41	85,00	105,00
28	83,67	139,51	86,69	90,00	110,00
*Porcentaje en reemplazo parcial del agua					

Tabla 53. Resistencia a la compresión: Hormigón con cemento gris con pigmento vegetal (remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

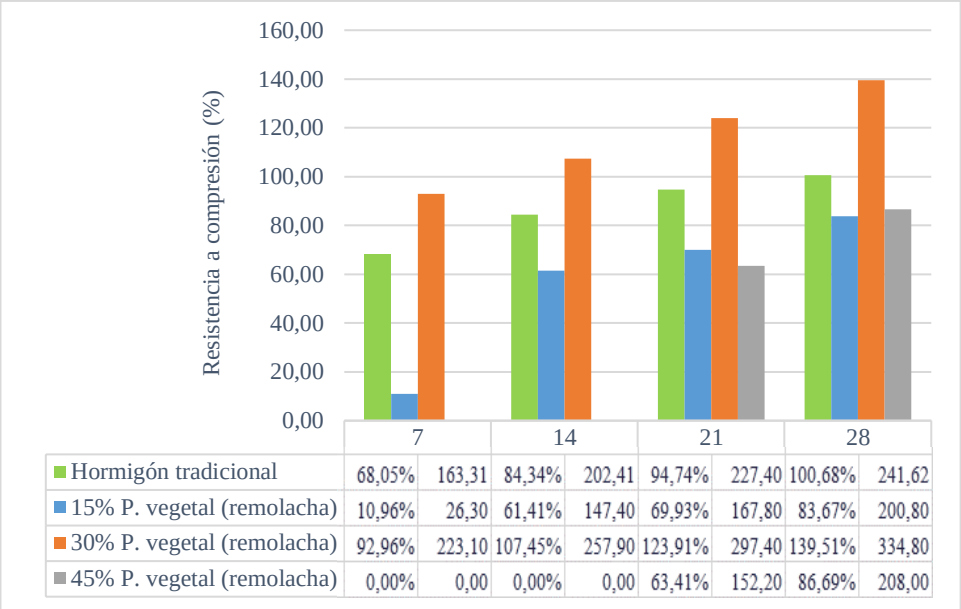


Gráfica 5. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón con cemento gris y pigmento natural vegetal (remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

La dosificación diseñada para hormigón con cemento gris y 15% pigmento natural vegetal (remolacha) en reemplazo parcial del agua se mantiene bajo los limites inferiores establecidos a la resistencia a compresión con el 83.67% a los 28 días; mientras que, la dosificación del hormigón con cemento gris y 30% pigmento natural vegetal (remolacha) en reemplazo parcial del agua alcanza el 139.51%, la cual supera los límites máximos establecidos a la resistencia a compresión aproximadamente con el 40% en relación a f'c=240kg/cm^2 a los 28 días de edad. Por último, la dosificación de hormigón con cemento gris y 45% de pigmento natural vegetal (remolacha) en

reemplazo parcial del agua, presentó una resistencia nula hasta los 14 días y aumenta hasta 86.69% a la edad de 28 días.



	7		14		21		28	
Hormigón tradicional	68,05%	163,31	84,34%	202,41	94,74%	227,40	100,68%	241,62
15% P. vegetal (remolacha)	10,96%	26,30	61,41%	147,40	69,93%	167,80	83,67%	200,80
30% P. vegetal (remolacha)	92,96%	223,10	107,45%	257,90	123,91%	297,40	139,51%	334,80
45% P. vegetal (remolacha)	0,00%	0,00	0,00%	0,00	63,41%	152,20	86,69%	208,00

Gráfica 6. Hormigón tradicional y hormigón con pigmento natural vegetal (remolacha)

Fuente: Egda. Miriam Quijije

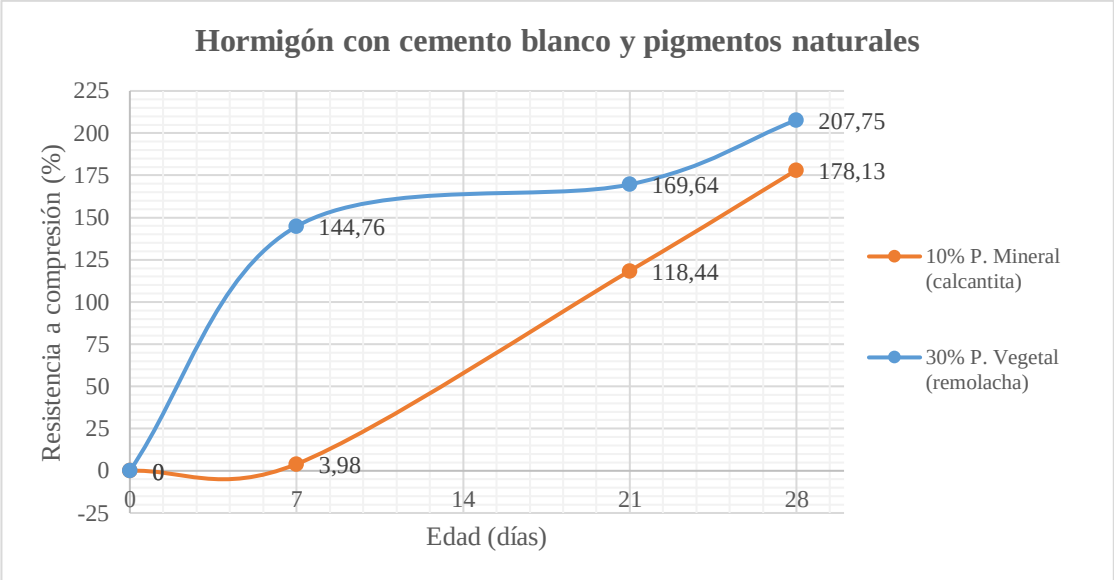
La resistencia a compresión del hormigón con cemento blanco y pigmentos minerales, fue considerada de muestras de cilindros limitadas a un único dato por edad, diseñadas como se indica en la Tabla 29. La siguiente tabla muestra el resumen de datos obtenidos:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Resistencia a la compresión de hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales				
Edad	**10% P. Mineral (calcantita)***	**30% P. Vegetal (remolacha)****	**Límite inferior**	**Límite superior**
días	**%**	**%**	**%**	**%**
7	3,98	144,76	60,00	80,00
21	118,44	169,64	75,00	95,00
28	178,13	207,75	90,00	110,00
* Porcentaje adicionado con respecto al peso del cemento **Porcentaje en reemplazo parcial del agua				

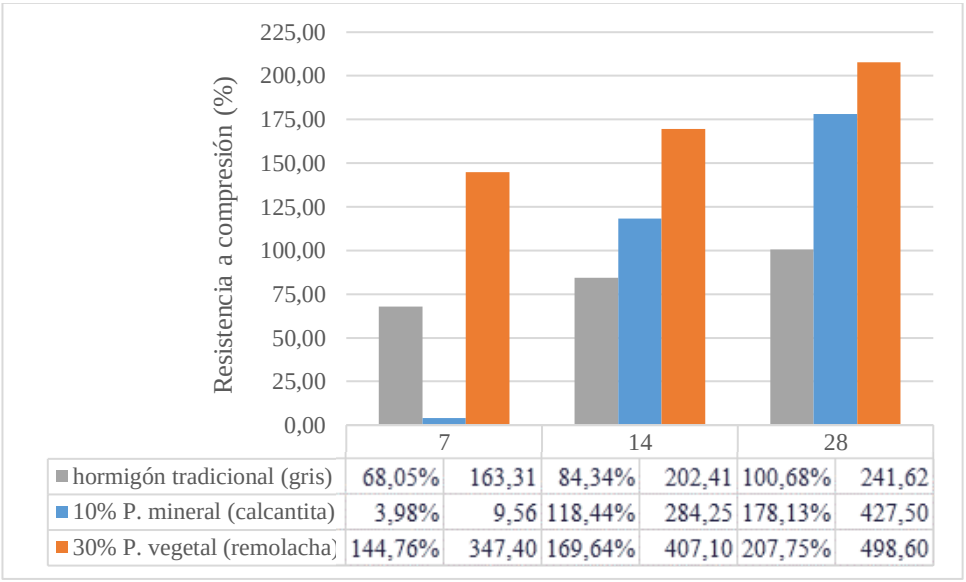
Tabla 54. Resistencia a la compresión: Hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales

Fuente: Egda. Miriam Quijije



Gráfica 7. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales

Fuente: Egda. Miriam Quijije



	7		14		28	
hormigón tradicional (gris)	68,05%	163,31	84,34%	202,41	100,68%	241,62
10% P. mineral (calcantita)	3,98%	9,56	118,44%	284,25	178,13%	427,50
30% P. vegetal (remolacha)	144,76%	347,40	169,64%	407,10	207,75%	498,60

Gráfica 8. Hormigón tradicional (gris) y hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales

Fuente: Egda. Miriam Quijije

Para las dosificaciones diseñadas con hormigón y cemento blanco, no se obtuvieron resistencias a la compresión nulas, como fue el caso del hormigón con cemento gris. A pesar que, la dosificación de hormigón con cemento blanco y 10% de pigmento natural mineral (calcantita) presentó resistencias mínimas a la edad de 7 días, al aumentar la edad de las muestras, sobrepasó el límite positivamente en un 78% a la edad de 28 días. Por último, la dosificación de hormigón elaborada con cemento blanco

y pigmento natural vegetal (remolacha) mostró sorpresivamente resistencias muy altas, aproximadamente superó en un 100% en relación a f'c=240kg/cm^2 a los 28 días de edad.

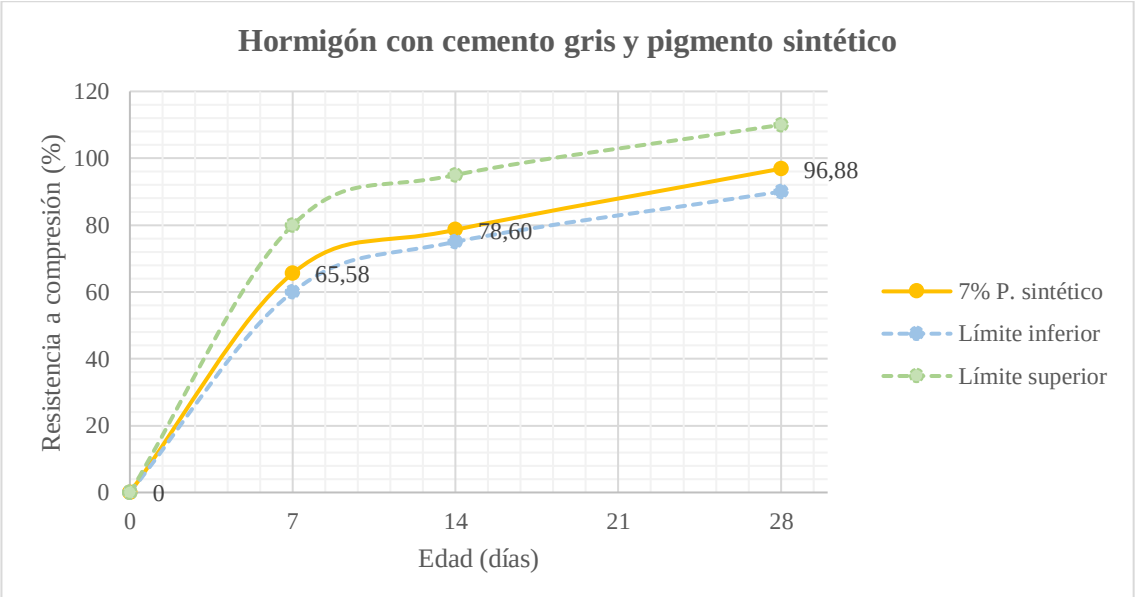
Las muestras de hormigón con cemento gris y pigmento sintético fueron elaboradas con la dosificación presentada en la Tabla 30, con el mismo criterio del hormigón con cemento blanco el cual sólo considera un dato en las edades respectivas, a continuación, se muestra la tabla resumen de la resistencia a compresión:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Resistencia a la compresión de hormigón con cemento gris y pigmento sintético			
Edad	**Hormigón con 7% pigmento sintético***	**Límite inferior**	**Límite superior**
días	**%**	**%**	**%**
7	65,58	60,00	80,00
14	78,60	75,00	95,00
28	96,88	90,00	110,00
*Porcentaje adicionado con respecto al peso del cemento			

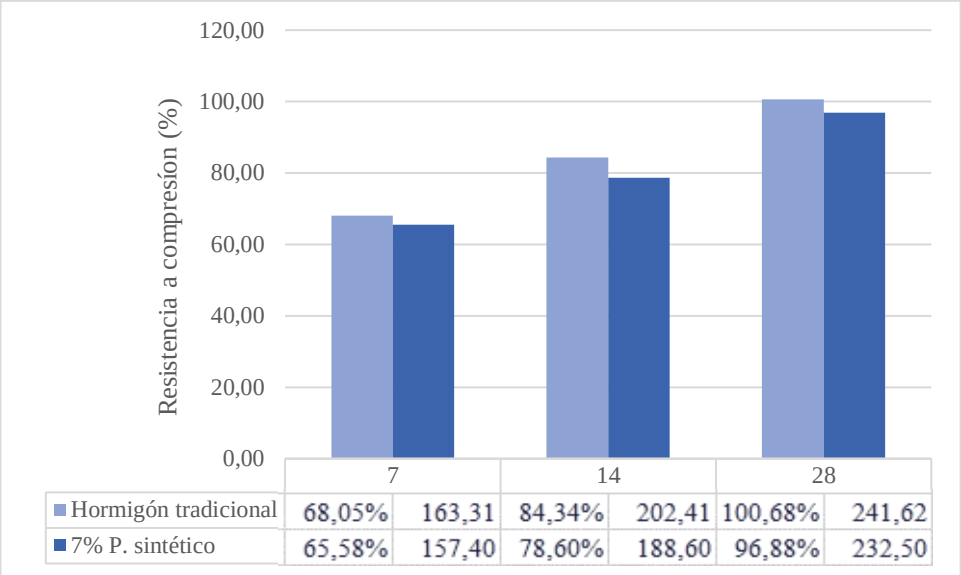
Tabla 55. Resistencia a la compresión: Hormigón con cemento gris con pigmento sintético

Fuente: Egda. Miriam Quijije



Gráfica 9. Resistencia a compresión (%) vs. edad: Hormigón con cemento gris y pigmento sintético

Fuente: Egda. Miriam Quijije



Gráfica 10. Hormigón tradicional y hormigón con pigmento sintético

Fuente: Egda. Miriam Quijije

El hormigón con cemento gris y pigmento sintético muestra un comportamiento similar al hormigón tradicional, la resistencia a compresión relativa a 240 kg/cm^2 se encuentra dentro de los límites establecidos.

4.2.2. Análisis Costo – Beneficio

Se propone como ejemplo un piso decorativo e=20cm para el análisis del costo-beneficio del hormigón pigmentado. La siguiente tabla muestra el detalle de las diferentes opciones:

Piso decorativo de tipo:	**Costo por m2**	**%**
H. S. f'c=240 kg/cm^2, e=18cm y cerámica de 30x30 cm	$ 42,15	100,00
H. S. Pigmentado (calcantita) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm	$ 35,15	83,39
H. S. Pigmentado (remolacha) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm	$ 25,26	59,93
H. S. Pigmentado (calcantita) con cemento blanco f'c=240 kg/cm2, e=20 cm	$ 68,96	163,61
H. S. Pigmentado (remolacha) con cemento blanco f'c=240 kg/cm2, e=20 cm	$ 43,36	102,87
H. S. Pigmentado (sintético) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm	$ 32,33	76,70

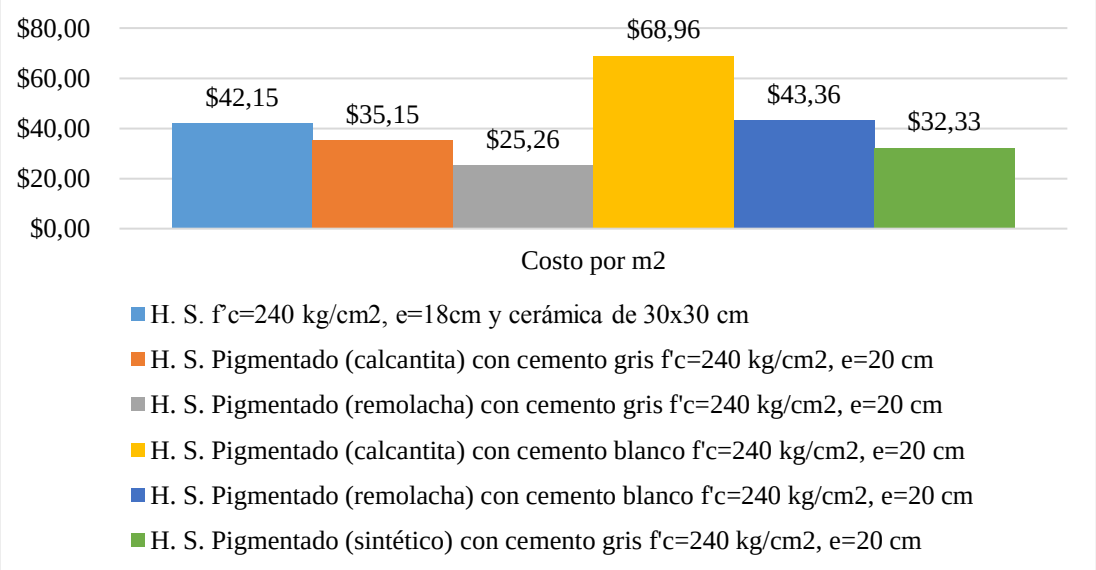
Tabla 56. Análisis Costo – Beneficio

Fuente: Egda. Miriam Quijije

Consideramos al hormigón tradicional y sus acabados como punto de partida en este análisis.

Es notorio que, el hormigón con cemento gris con pigmento natural mineral (calcantita) y el hormigón con cemento gris con pigmento natural vegetal (remolacha) resulta aproximadamente entre el 15% - 40% respectivamente más económico frente al hormigón tradicional, pero si tomamos en cuenta la aportación del color se puede sugerir la utilización del cemento blanco. Esto resultaría mucho más costoso, sobrepasando alrededor del 65% para el caso del hormigón con pigmento natural mineral (calcantita) del valor del hormigón tradicional, a diferencia del hormigón con pigmento natural vegetal (remolacha) que resulta de costo similar.

Personalmente, recomiendo la utilización del pigmento sintético ya que aporta colores más intensos y estables, no altera el comportamiento de hormigón, además se obtienen resistencias a compresión dentro de los límites establecidos y significa un ahorro económico de alrededor del 25% en comparación con el hormigón tradicional y sus acabados.



Gráfica 11. Costo por m2

Fuente: Egda. Miriam Quijije

A continuación, se presentan las diferentes opciones detalladas del análisis de precios unitarios del hormigón pigmentado, en los cuales se considera los rendimientos y cuadrillas del "MANUAL DE COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN" de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) [29]:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Egda. Miriam Quijije
PROYECTO: Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales
RUBRO: 1
DETALLE: H. S. f'c=240 kg/cm2, e=18 cm **UNIDAD:** m2

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR 5% M. O.					0,40
CONCRETERA 1 SACO	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
SUBTOTAL M					2,40
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
PEÓN (E. O. E2)	4,00	3,26	13,04	0,40	5,22
MAESTRO DE OBRA (E. O. C1)	0,10	3,66	0,37	0,40	0,15
ALBAÑIL (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
SUBTOTAL N					8,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
CEMENTO PORTLAND	SACO	1,16	7,95	9,22	
ARENA	m3	0,09	13,50	1,22	
RIPIO	m3	0,15	13,50	2,03	
AGUA	m3	0,04	0,74	0,03	
SUBTOTAL O				12,49	
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P				0,00	

	TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P		22,89
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	COSTO INDIRECTO	0,00%	0,00
	OTROS INDIRECTOS %		
Ambato, 12 de abril del 2016	COSTO TOTAL DEL RUBRO		22,89
LUGAR Y FECHA	**VALOR OFERTADO**		22,89

Tabla 57. APU H.S. f'c=240 kg/cm2, e=18cm

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Egda. Miriam Quijije
PROYECTO: Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales

RUBRO: 2
DETALLE: Cerámica para pisos 30x30 **UNIDAD:** m2

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor 5% M.O					0,24
SUBTOTAL M					0,24
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
PEÓN (E. O. E2)	1,00	3,26	3,26	0,70	2,29
MAESTRO DE OBRA (E. O. C1)	0,10	3,66	0,37	0,70	0,26
ALBAÑIL (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,70	2,32
SUBTOTAL N					4,86
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
CERÁMICA PARA PISOS 30X30cm		m2	1,05	11,94	12,54
PORCELANA		Kg	0,10	1,27	0,13
AGUA		m3	0,02	0,74	0,01
MORTERO HIDRÁULICO		Kg	4,50	0,33	1,49
SUBTOTAL O					14,16
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P					0,00

TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P			19,26
COSTO INDIRECTO	0,00%		0,00
OTROS INDIRECTOS %			
COSTO TOTAL DEL RUBRO			19,26
VALOR OFERTADO			19,26

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Ambato, 12 de abril del 2016
LUGAR Y FECHA

Tabla 58. APU Cerámica para pisos 30x30

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Egda. Miriam Quijije
PROYECTO: Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales

RUBRO: 3 **UNIDAD:** m2
DETALLE: H.S. Pigmentado (calcantita) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR 5% M. O.					0,40
CONCRETERA 1 SACO	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
SUBTOTAL M					2,40
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
PEÓN (E. O. E2)	4,00	3,26	13,04	0,40	5,22
MAESTRO DE OBRA (E. O. C1)	0,10	3,66	0,37	0,40	0,15
ALBAÑIL (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
OPERADOR EQUIPO LIVIANO (E.O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
SUBTOTAL N					8,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
CEMENTO PORTLAND	SACO	1,28	7,95	10,18	
ARENA	m3	0,10	13,50	1,35	
RIPIO	m3	0,17	13,50	2,30	
AGUA	m3	0,04	0,74	0,03	
PIGMENTO NATURAL MINERAL (CALCANTITA)	Kg	2,57	3,96	10,18	
SIKA ® ANTISOL ® S	lt	0,18	4,00	0,72	
SUBTOTAL O				24,75	
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P				0,00	

	TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P		35,15
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	COSTO INDIRECTO	0,00%	0,00
	OTROS INDIRECTOS %		
Ambato, 12 de abril del 2016	COSTO TOTAL DEL RUBRO		35,15
LUGAR Y FECHA	**VALOR OFERTADO**		35,15

Tabla 59. APU H.S. Pigmentado (calcantita) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Egda. Miriam Quijije
PROYECTO: Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales

RUBRO: 4 **UNIDAD:** m2
DETALLE: H.S. Pigmentado (remolacha) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR 5% M. O.					0,40
CONCRETERA 1 SACO	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
SUBTOTAL M					2,40
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
PEÓN (E. O. E2)	4,00	3,26	13,04	0,40	5,22
MAESTRO DE OBRA (E. O. C1)	0,10	3,66	0,37	0,40	0,15
ALBAÑIL (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
OPERADOR EQUIPO LIVIANO (E.O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
SUBTOTAL N					8,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
CEMENTO PORTLAND	SACO	1,28	7,95	10,18	
ARENA	m3	0,10	13,50	1,35	
RIPIO	m3	0,17	13,50	2,30	
AGUA	m3	0,03	0,74	0,02	
PIGMENTO NATURAL VEGETAL (REMOLACHA)	m3	0,01	30,00	0,03	
SIKA ® ANTISOL ® S	lt	0,18	4,00	0,72	
SUBTOTAL O				14,86	
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P				0,00	

TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P			25,26
COSTO INDIRECTO	0,00%		0,00
OTROS INDIRECTOS %			
COSTO TOTAL DEL RUBRO			25,26
VALOR OFERTADO			25,26

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Ambato, 12 de abril del 2016
LUGAR Y FECHA

Tabla 60. APU H.S. Pigmentado (remolacha) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Egda. Miriam Quijije
PROYECTO: Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales

RUBRO: 5 **UNIDAD:** m2
DETALLE: H.S. Pigmentado (calcantita) con cemento blanco f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR 5% M. O.					0,40
CONCRETERA 1 SACO	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
SUBTOTAL M					2,40
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
PEÓN (E. O. E2)	4,00	3,26	13,04	0,40	5,22
MAESTRO DE OBRA (E. O. C1)	0,10	3,66	0,37	0,40	0,15
ALBAÑIL (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
OPERADOR EQUIPO LIVIANO (E.O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
SUBTOTAL N					8,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
CEMENTO PORTLAND BLANCO	SACO	1,31	21,58	28.27	
ARENA	m3	0,10	13,50	1,35	
RIPIO	m3	0,17	13,50	2,30	
AGUA	m3	0,04	0,74	0,03	
PIGMENTO NATURAL MINERAL (CALCANTITA)	Kg	6,54	3,96	25,90	
SIKA ® ANTISOL ® S	lt	0,18	4,00	0,72	
SUBTOTAL O				58,56	
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P				0,00	

	TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P		68,96
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	COSTO INDIRECTO	0,00%	0,00
	OTROS INDIRECTOS %		
Ambato, 12 de abril del 2016	COSTO TOTAL DEL RUBRO		68,96
LUGAR Y FECHA	**VALOR OFERTADO**		68,96

Tabla 61. APU H.S. Pigmentado (calcantita) con cemento blanco f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Egda. Miriam Quijije
PROYECTO: Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales

RUBRO: 6 **UNIDAD:** m2
DETALLE: H.S. Pigmentado (remolacha) con cemento blanco f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR 5% M. O.					0,40
CONCRETERA 1 SACO	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
SUBTOTAL M					2,40
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
PEÓN (E. O. E2)	4,00	3,26	13,04	0,40	5,22
MAESTRO DE OBRA (E. O. C1)	0,10	3,66	0,37	0,40	0,15
ALBAÑIL (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
OPERADOR EQUIPO LIVIANO (E.O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
SUBTOTAL N					8,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
CEMENTO PORTLAND BLANCO	SACO	1,31	21,58	28,27	
ARENA	m3	0,10	13,50	1,35	
RIPIO	m3	0,17	13,50	2,30	
AGUA	m3	0,03	0,74	0,02	
PIGMENTO NATURAL VEGETAL (REMOLACHA)	m3	0,01	30,00	0,03	
SIKA ® ANTISOL ® S	lt	0,18	4,00	0,72	
SUBTOTAL O					32,96
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00

TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P			43,36
COSTO INDIRECTO	0,00%		0,00
OTROS INDIRECTOS %			
COSTO TOTAL DEL RUBRO			43,36
VALOR OFERTADO			43,36

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Ambato, 12 de abril del 2016
LUGAR Y FECHA

Tabla 62. APU H. S. Pigmentado (remolacha) con cemento blanco f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

Fuente: Egda. Miriam Quijije

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Egda. Miriam Quijije
PROYECTO: Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el hormigón con pigmentos naturales

RUBRO: 7 **UNIDAD:** m2
DETALLE: H.S. Pigmentado (sintético) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR 5% M. O.					0,40
CONCRETERA 1 SACO	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
SUBTOTAL M					2,40
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO-HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
PEÓN (E. O. E2)	4,00	3,26	13,04	0,40	5,22
MAESTRO DE OBRA (E. O. C1)	0,10	3,66	0,37	0,40	0,15
ALBAÑIL (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
OPERADOR EQUIPO LIVIANO (E.O.D2)	1,00	3,30	3,30	0,40	1,32
SUBTOTAL N					8,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B		COSTO C=A*B
CEMENTO PORTLAND	SACO	1,28	7,95		10,18
ARENA	m3	0,10	13,50		1,35
RIPIO	m3	0,17	13,50		2,30
AGUA	m3	0,04	0,74		0,03
PIGMENTO SINTÉTICO	Kg	4,49	1,64		7,36
SIKA ® ANTISOL ® S	lt	0,18	4,00		0,72
SUBTOTAL O					21,93
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B		COSTO C=A*B
SUBTOTAL P					0,00

TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P			32,33
COSTO INDIRECTO	0,00%		0,00
OTROS INDIRECTOS %			
COSTO TOTAL DEL RUBRO			32,33
VALOR OFERTADO			32,33

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Ambato, 12 de abril del 2016
LUGAR Y FECHA

Tabla 63.APU H. S. Pigmentado (sintético) con cemento gris f'c=240 kg/cm2, e=20 cm

Fuente: Egda. Miriam Quijije

4.3. Verificación de hipótesis

El hormigón con cemento gris y pigmento natural mineral (calcantita) diseñado para adiciones de 4%, 7% y 10% con respecto al peso del cemento, presentó resistencias a compresión de 223.88 kg/cm2, 210.51 kg/cm2 y 110.14 kg/cm2 que representan el 93.28%, 87.71% y 45.89% respectivamente a la edad de 28 días. En lo referente a la pigmentación, el hormigón adoptó un color gris verdoso.

El hormigón con cemento gris y pigmento natural vegetal (remolacha) con porcentajes de 15%, 30% y 45% en reemplazo parcial del agua presentó resistencias a compresión de 200.8 kg/cm2, 334.8 kg/cm2 y 208.0 kg/cm2 que representan el 83.67%, 139.51% y 86.69% respectivamente a la edad de 28 días.

El hormigón con cemento blanco y 10% de pigmento natural mineral (calcantita) con respecto al peso del cemento obtuvo una resistencia a compresión de 427,50 kg/cm2 que representa el 178,13% a la edad de 28 días y una pigmentación de color celeste.

El hormigón con cemento blanco y 30% de pigmento natural vegetal (remolacha) presentó una resistencia a compresión de 498,6 kg/cm2 que representa el 207,75% a la edad de 28 días y una pigmentación beige.

El hormigón con cemento gris y 7% de pigmento sintético con respecto al peso del cemento obtuvo una resistencia a compresión de 232,5 kg/cm^2 que representa el 96.88% a la edad de 28 días, con un comportamiento más estable, similar al hormigón tradicional y una pigmentación intensa de color rojo tradicional sintético.

Los diversos ensayos realizados muestran que el porcentaje del pigmento natural añadido al hormigón tradicional es una variable que influye en la resistencia a compresión del hormigón.

El hormigón con cemento gris y pigmento natural mineral (calcantita) presenta resistencias a compresión menores a medida que se aumenta el porcentaje del mismo en relación al peso del cemento, es posible que sea una reacción de la presencia de sulfatos; mientras que, el hormigón con cemento gris y pigmento natural vegetal (remolacha) tiene un comportamiento variable, el cual podría ser producto del endulzante natural presente en la remolacha; a mayor pigmento natural vegetal (remolacha), menor resistencia a compresión.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El pigmento natural mineral (calcantita) no influye en las propiedades del hormigón como: consistencia, trabajabilidad, homogeneidad y densidad.
- El hormigón con cemento gris y pigmento natural mineral (calcantita) presenta resistencias bajas a edades tempranas, podría considerarse como un efecto de los componentes del mineral, el cual ha sido empleado como retardante de fraguado en el hormigón.
- Los diferentes ensayos de las muestras de hormigón con cemento gris y pigmento natural mineral (calcantita) muestran que, a mayor porcentaje de pigmento natural mineral (calcantita), menor resistencia a compresión.
- Se considera como porcentaje óptimo de la dosificación de hormigón con cemento gris al 4% de adición de pigmento natural mineral (calcantita) con respecto al peso del cemento, tomando en cuenta que alcanza los límites establecidos a la edad de 28 días.
- El hormigón con pigmento natural vegetal (remolacha) produce un comportamiento variable en las diferentes adiciones de porcentajes de pigmento, además, mejora la trabajabilidad. Propiedades como homogeneidad, consistencia y densidad no se ven afectadas.
- Es claramente visible que el comportamiento es muy variable. Con respecto a la pigmentación, el hormigón se tornó café gris.
- El endulzante natural que se apreció en el pigmento natural vegetal (remolacha) podría ser considerado como una de las causas que provocó el comportamiento variable en la resistencia a compresión de las muestras, específicamente a edades tempranas de la dosificación del hormigón con cemento gris y 45% del pigmento en reemplazo parcial del agua.
- El hormigón con cemento gris y 30% de pigmento natural vegetal (remolacha) en reemplazo parcial del agua presentó un comportamiento similar al hormigón tradicional, incluso superó los límites máximos establecidos de resistencia a compresión, por lo que se considera como la dosificación óptima.

- Las muestras adicionales elaboradas y ensayadas de hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales desarrollan resistencias a compresión superiores al hormigón elaborado con cemento gris.
- La apreciación del color aportado por pigmentos naturales al hormigón con cemento gris es mínima en relación al hormigón con cemento blanco.
- El pigmento sintético no afecta las propiedades del hormigón como: trabajabilidad, consistencia, homogeneidad y densidad. Además, logra resistencias a compresión dentro de los límites establecidos.
- El costo del hormigón con cemento gris y pigmento natural resulta entre el 15%-40% más económico en relación al hormigón tradicional y sus acabados.
- El hormigón con cemento blanco y pigmento natural mineral (calcantita) sobrepasa aproximadamente con el 65% del costo del hormigón tradicional, sin embargo, el hormigón con cemento blanco y pigmento natural vegetal (remolacha) tiene valores similares.
- El uso del pigmento sintético en el hormigón significa un ahorro de alrededor del 25% frente al hormigón tradicional y sus acabados.

5.2. Recomendaciones

- Verificar que los datos de los ensayos de los materiales considerados para la elaboración del hormigón se encuentren dentro de los rangos óptimos impuestos en las especificaciones.
- Utilizar aceite incoloro en el interior de los moldes para la elaboración de cilindros para evitar la variación del color.
- El proceso de amasado de los materiales del hormigón pigmentado debe realizarse como se indica en el numeral 2.1.2.2., el cual es similar a la elaboración del hormigón tradicional. Inicialmente, mezclar los áridos, a continuación, añadir parte del agua, después se procede a adicionar el tipo de pigmento considerado. Finalmente, verter el cemento y el agua faltante. Permitir que el tiempo de agitación sea el necesario para obtener una mezcla homogénea.
- Debido a las características de los pigmentos, utilizar un curador de hormigón que no perjudique la pigmentación, en este caso, se empleó Sika® Antisol® S.
- Colocar un sellante o preservador en la superficie del hormigón pigmentado una vez curado, para garantizar la durabilidad del color.

- Utilizar los pigmentos naturales mineral (calcantita) y vegetal (remolacha) preferentemente con dosificaciones diseñadas con cemento blanco para asegurar que la resistencia a compresión se encuentre dentro de los límites establecidos.

1. Referencias

[1]. Guillermo Lira. "Seminario Arquitectura en hormigón: Posibilidades y desafíos", Académico Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera, 2011

[2]. F. Carvalho. "Estructuras de hormigón coloreado" Tesis doctoral de Ingeniería. E.T.S.I. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2002

[3]. Mireya Pérez. (2006, Septiembre) "El color del concreto". *Construcción y Tecnología.* [Online]. Disponible: www.imcyc.com/revistact06/sept06/TECNOLOGIA.pdf [Nov. 15, 2016]

[4]. Marcela Castro. "Hormigón con Pigmentos de Color". Tesis de Ingeniero Constructor, Universidad Austral De Chile, Chile, 2005

[5]. José Guillamón (2013, Octubre) "Pigmentación de Morteros y Hormigones". *Revista Cemento Hormigón*. [Online]. Disponible: http://www.gc-colors.es/descargas/docdow.php?id=145 [Nov. 15, 2016]

[6]. Helmut Laubsch. (1979). *Con la Brocha y la Pintura.* (1ra Edición) [Online]. Disponible: https://books.google.com.ec/books?isbn=8429114459 [Nov. 15, 2016]

[7]. *Pigmentos para la coloración de materiales de construcción fabricados a partir de cemento y/o de cal. Especificaciones y métodos de ensayos,* UNE-EN 12878, 2007

[8]. Sergio Pena, "Uso de Pigmentos en Cemento" Internet: http://www.elblogdeapa.com/construction/uso-de-pigmentos-en-cemento/, Jul. 30, 2012 [Nov. 15, 2016]

[9]. Selene Martínez, "Teñido de Cemento en Pisos", Internet: http://homerevolutions.blogspot.com/2008/09/teido-de-cemento-en-pisos.html, Sep. 26, 2008 [Nov. 15, 2016]

[10]. Minga Verde Permacultura, "Dar color con pigmentos naturales", Internet: http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2015/12/dar-color-con-pigmentos-naturales.html, Dic. 26, 2015 [Nov. 15, 2016]

[11]. P. Jiménez Montoya, *et al*. *Hormigón Armado. Tomo I.* Barcelona: Gustavo Gili, S. A. 1973.

[12]. *Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos,* NTE INEN 1 855-2, 2002.

[13]. Santiago Medina. *Ensayo de Materiales II.* Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014

[14]. Georges Dreux. *Guía práctica del hormigón.* Barcelona: Técnicos Asociados S.A., 1981.

[15]. *Cemento Portland. Requisitos,* NTE INEN 152, 2012

[16]. *Áridos para hormigón. Requisitos*, NTE INEN 872, 1982

[17]. J. Calleja. "Aditivos y tratamientos para el hormigón". Curso CEMCO, Instituto E. Torroja, Madrid, 1976

[18]. Alfredo Páez. *Hormigón Armado*. Barcelona, España: Reverté, 1986, pp. 71.

[19]. Pedro Perles. *Hormigón Armado*. Buenos Aires: Nobuko, 2005

[20]. Düsseldorf, "*Cómo colorear el hormigón. Instrucciones para el proceso."* Internet: https://proyectoanda.files.wordpress.com/2012/09/colorear-cemento.pdf, Feb. 01, 2002 [Nov. 21, 2016]

[21]. Christian Egger, "*La coloración de los productos de hormigón: Nuevas técnicas para mejorar la calidad y la estética".* Internet: www.andece.org/adheridos/images/stories/.../Granufin%20Articulo%20castellano.pdf, Jul. 14, 2009 [Nov. 21, 2016]

[22]. Jonathan Luzuriaga, " Experimentación con pigmentos alternativos aplicables al diseño interior (tierras de colores)". Tesis de Diseñador de interiores, Universidad del Azuay, Cuenca, 2012.

[23]. María Positieri, "Propiedades fisicomecánicas y durabilidad del hormigón coloreado", Tesis Doctoral en Ingenieria, Universidad Tecnológica Nacional, Cordova, 2005

[24]. Alfred Hummel, *Prontuario del hormigón*, Barcelona: Editores Técnicos Asociados S.A, 1966.

[25]. Interempresas Media, "Remolacha, beta vulgaris var. Esculenta / chenopodiaceae" Internet: http://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Presentacion-Remolacha.html [Nov. 23, 2016]

[26]. Nick Paris y Michael Chusid, (2000, Septiembre). "El color en el concreto: belleza y durabilidad", *Construcción y Tecnología.* [Online]. Disponible: http://www.imcyc.com/revista/2000/sep2000/2color.htm. [Nov. 24, 2016]

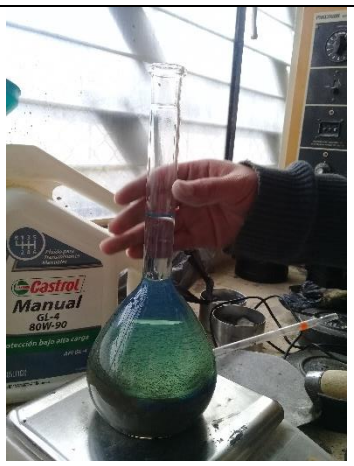
[27]. Marcelo Romo. *Temas de hormigón Armado.* Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, 2006.

[28]. Luis Herrera. *Tutoría de la investigación científica.* Ambato: Maxtudio, Gráficas Corona Quito, 2004.

[29]. Cámara de la Industria de Construcción. *Manual de Costos en la Costrucción Quito: CAMICON, 2016*

2. Anexos

Anexos fotográficos



N°1. Ensayo de densidad real del cemento gris



N°2. Ensayo de densidad real del cemento blanco



N°3. Muestras de capacidad de absorción de agregados



N°4. Obtención de muestras de contenido de humedad de arena



N°5. Ensayo de densidad real del ripio



N°6. Ensayo del cono para densidad de arena



N°7. Ensayo de densidad real del ripio.



N°8. Ensayo de granulometría de la arena



N°9. Ensayo de granulometría del ripio



N°10. Ensayo de densidad aparente del ripio



N°11. Muestra de contenido de humedad de agregados



N°12. Obtención del zumo de remolacha



N°13. Peso de cilindros elaborados



N°14. Almacenamiento de cilindros de muestra de hormigón tradicional



N°15. Ripio



N°16. Arena



N°17. Adicion de ripio a concretera



N°18. Adicion de arena a concretera



N°19. Ensayo de Cono de Abrams



N°20. Ensayo de Cono de Abrams: Hormigón tradicional.



N°21. Compactación de cilindros



N°22. Enrasado de cilindros



N°23. Muestras de hormigón tradicional



N°24. Hormigón con cemento gris y pigmento natural vegetal (remolacha)



N°25. Hormigón con cemento blanco y pigmento mineral (calcantita)



N°26. Hormigón con cemento gris y pigmento natural mineral (calcantita)



N°27. Pigmento natural mineral (calcantita) con respecto al peso del cemento blanco



N°28. Ensayo de cono de Abrams: hormigón con cemento blanco y pigmento vegetal (remolacha)



N°29. Mezcla de hormigón con cemento gris y pigmento sintético



N°30. Ensayo de cono de Abrams: hormigón con pigmento sintético.



N°31. Curado de Hormigón con pigmento sintético



N°32. Envoltura de plástico adicional para el curado del hormigón



N°33. Sika® Antisol® S para el curado del hormigón



N°34. Ensayo de resistencia a compresión: hormigón tradicional



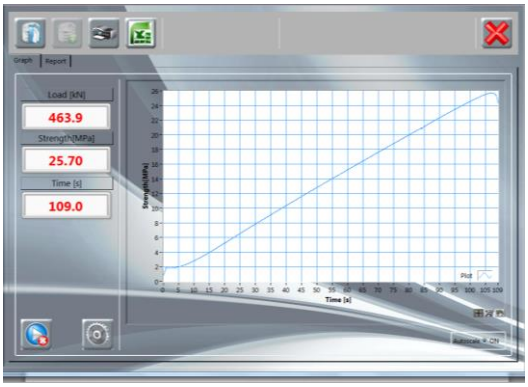
N°35. Hormigón con cemento gris y 4% pigmento mineral (calcantita) a los 7 días de edad.



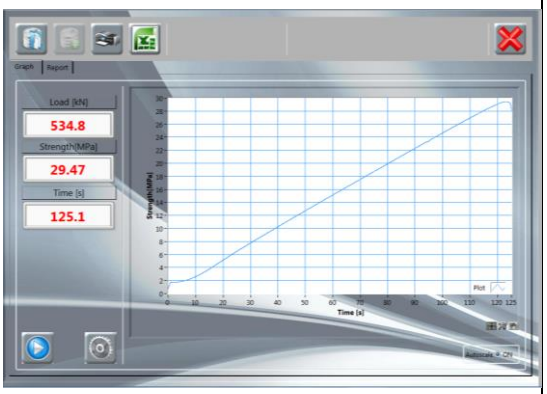
N°36. Hormigón con cemento gris y 45% pigmento vegetal (remolacha) a los 14 días de edad



N°37. Medición de cilindros



N°38. Ensayo de resistencia a compresión: hormigón con 30% de pigmento vegetal (remolacha) a los 14 días de edad



N°39. Ensayo de resistencia a compresión: hormigón con 30% de pigmento vegetal (remolacha) a los 21 días de edad



N°40. Peso de cilindros



N°41. Hormigón tradicional y hormigón con pigmento mineral (calcantita)



N°42. Hormigón con cemento blanco y pigmentos naturales y hormigón con pigmento sintético