



**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CS. DE LA INGENIERIA
INSTITUTO DE OBRAS CIVILES
ESCUELA DE CONSTRCCION CIVIL**

“HORMIGÓN CON PIGMENTOS DE COLOR”

**TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CONSTRUCTOR**

**PROFESOR GUIA:
ADOLFO CASTRO BUSTAMANTE**

**ALUMNA:
MARCELA CASTRO GUIACHETTI**

VALDIVIA, SEPTIEMBRE 2005

DEDICATORIA

Con todo mi corazón esta tesis esta dedicada a mis papas, que me apoyaron y me ayudaron todos estos años a terminar mi carrera, ya que siempre conté con su apoyo y comprensión. Siempre los amaré.

A mis queridos hermanos que siempre me apoyaron en todo momento y siempre conté con ustedes. Gracias.

A mi Hugo que a pesar del poco tiempo que llevamos juntos siempre haz estado a mi lado, y que a pesar de la lejanía nunca me ha faltado tu amor. Te amo mucho.

Esta tesis esta especialmente dedicada a la personita más importante de mi vida y a la que ha robado mi corazón desde el momento que estaba en mi guatita. A ti hijo mío que entraste junto conmigo a esta carrera; que cuando yo estaba estudiando tu estabas a mi lado mirándome y que mientras yo iba avanzando tu ibas creciendo. Tú me distes las fuerzas para terminar y seguir adelante. Eres lo más hermoso que tengo, te amo mucho.

AGRADECIMIENTOS

- Se agradece al señor Norbert Schneider de la empresa Bayer S.A. Chile, el cual fue de vital ayuda a la hora de realizar este trabajo de tesis, ya que colaboró con información y con los respectivos pigmentos.
- También fueron de mucha ayuda todas las personas que trabajan en el LEMCO, ya que en momentos de dudas o consultas pudieron ayudarme a aclararlas.
- Quiero agradecer también a todos mis compañeros que me ayudaron a realizar la fabricación de mis hormigones con color.

DESCRIPCIÓN

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

- 4.1.- DISEÑO EXPERIMENTAL.
- 4.2.- ENSAYO DE LOS MATERIALES
 - 4.2.1.- CEMENTO
 - 4.2.2.- AGUA
 - 4.2.3.- PIGMENTOS.
 - 4.2.4.- ÁRIDOS.
 - 4.2.4.1.- Determinación del material fino menor a 0.080 mm(NCh 1223)
 - 4.2.4.2.- Tamizado y determinación de la granulometría (NCh 165)
 - 4.2.4.3.- Determinación de la densidad aparente de los áridos (NCh 1116)
 - 4.2.4.4.- Determinación de las densidades real y neta y de la Absorción del agua de las arenas (NCh 1239)
 - 4.2.4.5.- Humedad y esponjamiento.
 - 4.2.4.6.- Determinación calorimétrica de la presencia de impurezas Orgánicas en las arenas para hormigones. (NCh 166).
 - 4.2.4.7.- Dosificación

CAPÍTULO V: FABRICACIÓN DE LAS MUESTRAS

- 5.1.- CONFECCIÓN Y CURADO DE LAS PROBETAS
- 5.2.- ENSAYO AL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO
- 5.3.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO
 - 5.3.1.- ENSAYO DE LOS MATERIALES
 - 5.3.1.1.- Granulometría de los áridos
 - 5.3.1.2.- Densidad e índice de huecos de los áridos
 - 5.3.1.3.- Impurezas orgánicas
 - 5.4.- CEMENTO
 - 5.5.- DOSIFICACIÓN
 - 5.5.1.- CÁLCULO DE LA RESISTENCIA MEDIA DE DOISIFICACIÓN
 - 5.5.2.- CÁLCULO DEL AGUA Y DEL CEMENTO
 - 5.5.3.- CORRECCIONES DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD
 - 5.5.4.- DOSIFICACIÓN DEL PIGMENTO

DESCRIPCIÓN

CAPÍTULO VI: FABRICACIÓN Y RESULTADOS DEL HORMIGÓN SIN PIGMENTOS

- 6.1.- HORMIGÓN PATRÓN
- 6.1.1.- PROBETAS CÚBICAS
- 6.1.2.- PROBETAS CILÍNDRICAS
- 6.1.3.- PROBETAS CÚBICAS Y PROBETAS CILÍNDRICAS
- 6.1.4.- CORRECCIONES POR ABSORCIÓN Y POR HUMEDAD PARA UN M3

CAPÍTULO VII: RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE LOS HORMIGONES CON PIGMENTOS

- 7.1.- DOSIFICACIÓN CON 4% DE PIGMENTO POR CANTIDAD DE CEMENTO
 - 7.1.1.- BAYFERROX 118 – O.F.S VERMELHO
 - 7.1.2.- BAYFERROX 222 (PF) – O.F.S VERMELHO
 - 7.1.3.- BAYFERROX 745 ME – O.F.S VERMELHO
 - 7.1.4.- AZUL LUZ 100 – BAYER AG
 - 7.1.5.- BAYFERROX 732 M – O.F.S VERMELHO
 - 7.1.6.- BAYFERROX 919 – H.F AMARELO
 - 7.1.7.- BAYFERROX 318 M PF – O.F.F PRETO
 - 7.1.8.- BAYFERROX 918 – H.F AMARELO
 - 7.1.9.- COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS
 - 7.1.10.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS CON UN 4% DE PIGMENTO.
- 7.2.- DOSIFICACIÓN CON 6% DE PIGMENTO POR CANTIDAD DE CEMENTO.
 - 7.2.1.- BAYFERROX 118 – O.F.S VERMELHO.
 - 7.2.2.- BAYFERROX 222 (PF) – O.F.S VERMELHO
 - 7.2.3.- AZUL LUZ 100 – BAYER AG
 - 7.2.4.- COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS
 - 7.2.5.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS CON UN 6% DE PIGMENTO

INDICE

DESCRIPCIÓN

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

- 1.1.- INTRODUCCIÓN
- 1.2.- OBJETIVOS
- 1.3.- HISTORIA DEL HORMIGÓN EN LA ARQUITECTURA.
- 1.4.- ALCANCES Y LIMITACIONES.

CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL HORMIGÓN CON PIGMENTO

- 2.1.- EL HORMIGÓN COLOREADO.
 - 2.1.1- MATERIALES Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL HORMIGÓN COLOREADO.
- 2.2.- PIGMENTOS EN POLVOS PARA COLOREAR HORMIGÓN.
- 2.3.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS PIGMENTOS
- 2.4.- CLASES DE PIGMENTOS.
 - 2.4.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS PIGMENTOS.
 - 2.4.2.- ESTABILIDAD DE LOS PIGMENTOS.
- 2.5.- CEMENTO.
 - 2.5.1.- CEMENTO BLANCO.
- 2.6.- ÁRIDOS.
- 2.7.- RELACIÓN AGUA / CEMENTO.
- 2.8.- PORCENTAJES DE COLORANTES.
- 2.9.- TIPO DE MOLDE EMPLEADO.
- 2.10.- VIBRADO.
- 2.11.- DESMOLDANTE.
- 2.12.- FRAGUADO.

CAPÍTULO III: FACTORES EXTERNOS QUE AFECTAN EL HORMIGÓN COLOREADO.

- 3.1.- EFLORESCENCIAS.
- 3.2.- EL COLOR AMARILLENTO.
- 3.3.- EROSIÓN.
- 3.4.- SELLADORES DE SUPERFICIE.

DESCRIPCIÓN

CAPÍTULO VIII: APLICACIÓN DEL USO DEL HORMIGÓN CON PIGMENTO

- 8.1.- GENERALIDADES DE LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES
 - 8.1.1.- ENSAYO DE COMPRESIÓN
 - 8.1.2.- CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA.
 - 8.1.2.1.- Determinación de la absorción
 - 8.1.2.2.- Determinación de la resistencia al desgaste.
- 8.2.- FABRICACIÓN DE ADOQUINES
 - 8.2.1.- DIAGRAMAS DE ADOQUINES PARA PAVIMENTOS DE COLOR QUE SE OFRECEN EN EL MERCADO.
- 8.3.- OTRAS APLICACIONES
 - 8.3.1.- BLOQUES DE HORMIGÓN
 - 8.3.2.- PIEZAS DE HORMIGÓN
- 8.4.- MÁS APLICACIONES DEL USO DEL HORMIGÓN COLOREADO, DE USO ESTETICO, EN EL MUNDO.

CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE COSTOS

- 9.1. - VALORES SEGÚN BAYER S.A. CHILE
 - 9.1.1. - DOSIFICACIÓN PARA UN M3
 - 9.1.2.- COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UN MURO DE HORMIGÓN PINTADO Y UN MURO DE HORMIGÓN CON PIGMENTO.
 - 9.1.2.3.- Análisis de costos del muro de hormigón con pigmento de color.

ANEXO A

CONCLUSIÓN

BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN

La idea de esta tesis es cambiar el color típico del hormigón por uno más estético, esto se logra a través del uso de pigmento en polvos.

La incorporación del pigmento se realiza durante la mezcla de los áridos, antes de agregar el cemento y el agua, que de acuerdo a normas internacionales se debe aplicar entre un 3% a un 6% de pigmento por cantidad de cemento.

La metodología fue fabricar hormigón con color con dos porcentajes diferentes, determinando si la adición de pigmento afecta o no en la resistencia a la compresión. Por medio de ensayos realizados, se pudo concluir que el pigmento no afecta la resistencia a pesar de que el pigmento actúa dentro de hormigón como impureza.

Además se realizó un análisis económico con cada color que se ensayo y una comparación de costos entre un muro de hormigón pintado y uno con pigmento.

SUMMARY

The idea of this thesis is to change the typical color of the concrete for one but esthetic, this is achieved through the use of pigment in dust.

The incorporation of the pigment is carried out during the mixture of the dry, before adding the cement and the water, that according to international norms should apply among a 3% to a 6% of pigment by quantity of cement.

The methodology was to manufacture concrete with color with two different percentages, determining if the addition of pigment affects or not in the resistance to the compression. Through trials carried out, could be concluded that the pigment does not affect the resistance in spite of the fact that the pigment acts inside concrete as impurity. Besides I am carried out an economic analysis with each color that itself trial and a comparison of costs among a wall of concrete painted and one with pigment.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1.- INTRODUCCIÓN.

El hormigón es un material plástico que podemos moldear dándole formas inimaginables y obtener desde superficies con texturas intensas hasta acabados delicadamente pulidos; además puede colocarse en combinación con otros materiales para proporcionar una superficie terminada.

Siendo el hormigón el material de construcción más empleado, por muchos años la ingeniería se ha preocupado de la resistencia, la trabajabilidad y de su durabilidad, dejando algo de lado los aspectos estéticos.

Los parámetros de hormigón, si cumplen unas determinadas condiciones, pueden tener un valor estético muy grande con un costo razonable. En los últimos años ha aumentado la tendencia a utilizar las superficies de hormigón a la vista como elemento de terminación, desarrollándose tratamientos y técnicas especiales para aplicar en los parámetros con el fin de conseguir un mejor efecto estético, permitiendo una expresión artística y, al hacerlo se transforma en “hormigón arquitectónico”.

El término “arquitectónico” significa que el elemento de construcción tiene a la vez un papel estructural y estético. A partir de esto, y de acuerdo con el ACI (American Concrete Institute) , define al hormigón arquitectónico como: “Aquel que queda expuesto como superficie interior o exterior dentro de una estructura terminada, y constituye en forma determinada a su aspecto visual y esta diseñado especialmente como tal en los planos especificaciones del contrato”. La característica que hace único al hormigón, es que este le agrega belleza.

Un elemento que aporta factores diferenciadores muy apreciables es el color. A partir de colores diferentes del natural del hormigón pueden conseguirse resultados muy favorables y estéticamente de gran valor, al quitar la monotonía más importante del hormigón: su color gris verdoso más o menos igual en todos los casos.

La coloración del hormigón se logra de maneras diferentes: existen algunas experiencias a partir de la utilización de cementos o arenas coloreadas y otras en las que se consigue por medio de los áridos, provenientes, de manera principal, de las calizas de colores naturales.

1.2.- OBJETIVOS.

Este trabajo de investigación tiene por objetivo realizar ensayos experimentales con la finalidad de analizar las variaciones que se producen en las propiedades del hormigón con la adición de pigmentos inorgánicos en polvo, esto porque la adición de pigmento produce en general un descenso de la resistencia a compresión, de modo que tener colores intensos, llamativos para el hormigón tiene, que como desventaja la disminución de la resistencia obligando a agregar una mayor cantidad de cemento, lo que trae como consecuencia un costo más elevado.

Mediante los ensayos que se realizarán se pretende estudiar esta dependencia y obtener conclusiones que sirvan para una concreta dosificación y economía del hormigón a color.

Los pigmentos utilizados son de la firma Bayer Chile, que son producidos en la planta de Brasil. Los colores utilizados fueron los siguientes bayferrox 118 (vermelho), bayferrox 222 (vermelho), bayferrox 745 (vermelho), azul luz 100 , bayferrox 732 (vermelho), bayferrox 919 (amarelo), bayferrox 318 y bayferrox 918 (amarelo).

1.3.- HISTORIA DEL HORMIGÓN EN LA ARQUITECTURA.

El hormigón tiene antecedentes históricos desde la época de los romanos 200 años A.C. Los romanos utilizaron un tipo de hormigón que constituyó una revolución tecnológica en la construcción e hizo posible que realizara edificaciones magnificas desde el punto de vista estructural y estético.

Con la caída del imperio romano, el uso del hormigón declina y prácticamente desaparece de la historia hasta 1824, con la invención del Cemento Pórtland en Inglaterra, por Joseph Aspdin. Sin embargo, a fines del siglo XIX, los experimentos e investigaciones sobre este material lograron definir sus cualidades y fijar las bases teóricas para la difusión de su uso.

Los productos del hormigón, se usaron masivamente por primera vez en Londres en 1900, y aproximadamente un año después en Estados Unidos y México. El empleo del hormigón como material para fachadas data de los años treinta, con la aparición del modernismo y el impulso de grandes arquitectos como Le Corbusier, Walter Gropius y Alvar Alto, entre otros. El racionalismo y la expresividad fueron los motivos que guiaron a las estructuras de las fachadas en la arquitectura. El uso de elementos refinados de fachadas de concreto en los años sesenta surgió como una reacción en contra de la monotonía de los muros de cortina planos de los cincuenta. Al buscar y lograr un diseño de fachadas más expresivo, se descubrieron las enormes posibilidades del hormigón en cuanto a diseño, color y textura. Los arquitectos empezaron a diseñar fachadas compuestas con grandes elementos prefabricados en hormigón arquitectónico. Sin embrago, la fachada en conjunto era aún bastante plana, y el edificio, como un todo, seguía teniendo el aspecto de caja debido a la repetición de los elementos básicos.

A fines de los años setenta el uso del hormigón arquitectónico declinó ligeramente, aunque por poco tiempo.

Se puede decir, entonces que hasta principios del siglo XX cuando los arquitectos, en su incansable búsqueda de nuevas formas, comienzan a tomar en cuenta las bondades del hormigón y sus condiciones estructurales, dando con ello impulso a la utilización plena y franca de este material.

En la actualidad su uso se ha expandido, con una tendencia hacia construcciones más expresivas y exclusivas en las que existe mayor libertad en el diseño.

1.4.- ALCANCES Y LIMITACIONES.

El hormigón armado presenta, en su color natural, tonalidades grises que invariablemente originan en el espectador un sentimiento de obra inacabada, o falta de terminación. La idea de colorear un hormigón surge de esa sensación que si se añade color se disipa esa monotonía que le confiere la uniformidad grisácea de los parámetros.

Es por eso, que el hormigón coloreado es cada día el más usado en la construcción y las razones están dadas por las ventajas que ofrece, entre las que se encuentran, un ahorro en costos por metro cuadrado ya que no requiere del proceso de pintura, ni de terminaciones, no requiere más mantención que lavar el recubrimiento; y estéticamente tienen un valor agregado.

Sin embargo, no existen estudios que comprueben si los resultados obtenidos por investigaciones internacionales, en cuanto que la adición de pigmentos no es desfavorable, son aplicables a los hormigones coloreados realizados con materiales locales. Esta misma tendencia se observa en la producción nacional de pigmentos. En este caso sólo existe información básica de las características de los pigmentos, muy por debajo de los estándares de los pigmentos importados, pero no hay investigación acerca de sus propiedades cromáticas y de permanencia de color en el tiempo.

Esta carencia de antecedentes y la necesidad de dar adecuadas respuestas a la comunidad profesional sobre las interacciones que se pudieran producir entre los pigmentos y las propiedades del hormigón, tanto en estado fresco como endurecido, han motivado la generación de este tema.

Al usar cemento gris, la tonalidad de cada color no será tan intensa como si fuese con cemento blanco y donde no podrá ser demostrado con los pigmentos debido a la poca cantidad de pigmentos que se posee para dichos ensayos.

No se hará un seguimiento del color de las muestras para estudiar el proceso de decoloración.

CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL HORMIGÓN CON PIGMENTOS

2.1.- EL HORMIGÓN COLOREADO.

La técnica de colorear hormigones se desarrollo después de la Segunda Guerra Mundial. Inicialmente, se aplicó en prefabricados y hacia los años 80, comenzó a usarse directamente en obra.

Las ventajas del uso del hormigón coloreado son innumerables. Dentro de las más importantes destaca la durabilidad de los colores, ya que los pigmentos son químicamente estables y no cambian significativamente su tono bajo exposiciones ambientales normales, según estudios internacionales y como dijimos anteriormente en una baja en los costos por metro cuadrado. La evidencia de la durabilidad de los colores en el hormigón puede verse en proyectos de hormigón coloreado en todo el mundo que han mantenido su atracción durante 25 años y más; la gran cantidad de aplicaciones junto con la versatilidad de las formas y texturas aplicables a la superficie de hormigón coloreado y en muchos proyectos arquitectónicos, el hormigón coloreado es una alternativa económica a los materiales costosos de construcción, tales como la piedra o el azulejo, y representa un ahorro significativo en los costos del ciclo de vida y en los plazos de construcción.

Sin embargo, a pesar de que diversas construcciones realizadas con hormigón coloreado en distinta partes del mundo, avalan las ventajas antes descritas, existen algunos estudios que revelan que el empleo de pigmentos, debido a su avidez por el agua, presenta algunos interrogantes en cuanto a la durabilidad futura de los hormigones con ellos fabricados.

La experiencia de utilización en determinados ambientes no ha sido muy buena. También la estabilidad del color conseguido ha sufrido, en algunos casos, variaciones en el tiempo, produciendo tonos desvaídos y falta de uniformidad.

2.1.1- MATERIALES Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL HORMIGÓN COLOREADO.

El hormigón a la vista, juega un papel importante, es la “piel”, que es la cara expuesta al ambiente, y la responsable de la resistencia a la intemperie y del color del hormigón a la vista. La piel está formada por el cemento y los finos del agregado. Por lo tanto, son estos componentes del hormigón los que determinan el color. Al agregar pigmento, este pasa a formar parte de los finos de la mezcla, de los cuales dependerá el color de la superficie del hormigón.

El acabado de la superficie se refiere al grado de pulimento o rugosidad que esta presenta. Esta característica se define directamente por la técnica empleada para la mezcla y colocación del hormigón. Una superficie más rugosa dispersa más luz y se ve más pálida. Por otra parte toda superficie está formada por sustancias químicas cada una de las cuales tienen una energía de vibración característica a nivel molecular, de acuerdo a la cual absorbe parte de la luz incidente y refleja la restante.

Todas estas características, más otras presentes al colocar el hormigón en obra, incidirán en el color final de la superficie.

2.2.- PIGMENTOS EN POLVOS PARA COLOREAR HORMIGÓN.

Los pigmentos son finas partículas de polvo, químicamente inertes, insolubles y que dotan de color al material al cual se añaden.

Los usados para colorear el hormigón deben ser insolubles, tanto en el agua como en los agregados, ser inertes químicamente con respecto al cemento, a los agregados y a los aditivos; resistentes a la intemperie, estables a la luz y a temperaturas extremas y deben quedar firmemente embebidos, con los finos del cemento cuando endurezca.

De manera general y, como complemento a las características que se enuncian en la propia definición de pigmento, a éste hay que pedirle además; gran capacidad de tinte; brillo, luminosidad y tono de color deseado; uniformidad en el tamaño y finura de las partículas que lo componen, garantía en el suministro, fabricación reciente y bajo costo.

En algunos países, el uso del hormigón coloreado ha exigido la regulación de la calidad y composición de los pigmentos, así como también, la forma de incorporación a la mezcla. Dentro de esta normativa destacan:

- BS 1014 (1975) “Specification for pigments for Portland cement and Portland cement products”, de Inglaterra, que establece los requisitos básicos que deben cumplir los pigmentos utilizados para la coloración del cemento Portland y para los productos del cemento Portland.
- ASTM C 979 82 86 “Standard Specification for Pigments for integrally colored concrete”, de Estados Unidos, que cubre los requisitos básicos de los pigmentos en polvo, para ser usados en mezclas de hormigón íntegramente coloreados.

- DIN 52 237 “ Testing of pigments; pigments for coloration of building materials based on cement or lime”, de Alemania, que hace referencia a las condiciones que actualmente se imponen a los pigmentos empleados en la coloración de materiales de construcción aglomerados con cemento y cal.
- GUIA ACI 212, destinada al empleo de aditivos en el hormigón, insta a la realización de ensayos de laboratorio sobre las propiedades del hormigón con aditivo. Advierte acerca de la posibilidad de modificación de propiedades con el empleo de aditivos minerales finamente divididos. A los aditivos colorantes, indicando los adecuados según el color deseado y señalando los requisitos exigibles a estos. Las dosificaciones menores a 6% de peso en cemento no alteran las propiedades del hormigón. Hace notar, por último, las diferentes intensidades del color según la procedencia del pigmento, la dificultad de obtención de colores azules intensos y verdes y el cuidado a tener con las eflorescencias.

2.3.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS PIGMENTOS.

De acuerdo a su composición química, los pigmentos presentan una amplia variedad de colores, los cuales provienen de óxidos de hierro y cromo.

En los pigmentos de óxido de hierro, los más conocidos se encontrarán en diferentes tonos y colores. Así, los óxidos de hierro rojo variarán de tonalidad desde el bermellón hasta el violeta, mientras que los otros óxidos de hierro proporcionan negro o amarillo.

El óxido ferroso color rojo, es el más estable de todos los diferentes grados de oxidación del hierro.

Con la excepción de los pigmentos ocre y sienas, todos los pigmentos, óxidos de algún mineral, son, en principio, de composición uniforme. A esto hay que añadir dos excepciones: los colores verdes y azules.

El color verde viene, en su mayor parte, del óxido de cromo. No obstante, complejas formulaciones en las que interviene el cobalto, níquel, zinc, titanio y aluminio, se utilizan para obtener un verde más luminoso y estable a la luz. El color azul, derivado del cobalto, puede presentar incompatibilidad con la pasta de hormigón, por lo que en su situación se utiliza la Pthalocianina con óxidos de cobre.

Tabla N°1. Composición Química de algunos pigmentos más comunes.

Color	Fórmula Química	Denominación	Nombre común
Rojo	Fe ₂ O ₃	Óxido Ferroso	Hematita
Negro	Fe ₃ O ₄	Óxido Férrico	Magnetita
Amarillo	Fe ₂ O ₃ H ₂ O	-	Linonita
Amarillo	FeOOH	Hidróxido Ferroso	Goetita
Marrón	FeCO ₃	-	Siderita
Marrón negro	FeS	-	Pirita
Café	FeOOH + Fe ₃ O ₄ y/o Fe ₂ O ₃	-	Lepidocrocita
Verde	Cr ₂ O ₃	Óxido de Cromo	-
Azul	CoAl ₂ O ₄	Aluminato de Cobalto	-
Azul	Co(Al,Cr) ₂ O ₄	Aluminato de Cobalto	-
Blanco	TiO ₂	Dióxido de Titanio	-

En la tabla se aprecia que, a excepción de los colores en cuya composición intervienen el cromo y cobalto, en la composición química de los pigmentos intervienen componentes similares a los presentes en la composición de los cementos. Esto de las primeras directrices en cuanto a que la composición química de los pigmentos no debería afectar las propiedades del hormigón.

2.4.- CLASES DE PIGMENTOS.

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

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

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

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

Únicamente los minerales puros garantizan no afectar la resistencia. Aquellos componentes que en su formulación entra algún hidroxilado, ávido de oxígeno, como puede

ser el humus, azúcares, alcoholes o almidones, quedan terminantemente excluidos de usarse como colorantes en el hormigón. En general este grupo de pigmentos es poco utilizado en hormigones, ya que generalmente vienen mezclados con arcillas, cuarzos y otras impurezas. Además, son de un tamaño de partícula relativamente grande, de tonalidades opacas, de baja viveza, de bajo rendimiento o poder de coloración y de color variable, por lo que su uso puede afectar seriamente las características intrínsecas del hormigón.

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

Si bien estos pigmentos tienen el mismo origen mineralógico que los naturales, al ser obtenidos por procesos controlados y estandarizados, tienen la ventaja de otorgar alta pureza (no contienen ningún tipo de carga), elevado brillo y alto poder de coloración (debido a su pequeño tamaño de partícula). Estos pigmentos son estables a la intemperie (a la luz UV, al ácido carbónico, a cambios fuertes en la humedad y la temperatura, etc.), a los ácidos, a los álcalis y a los componentes del cemento.

Diversos estudios, realizados en el extranjero, a hormigones coloreados con pigmentos sintéticos han comprobado de estos no influyen negativamente en las propiedades del hormigón, provocando en algunos casos, disminuciones en el asentamiento de cono y en ningún caso disminuyen la resistencia del hormigón. Por otra parte, estudios realizados en Chile revelan que la adición de pigmentos a morteros provoca una notable disminución de la

resistencia mecánica de éstos. De aquí surge la necesidad de verificar que tendencia siguen los hormigones chilenos. Por este motivo se usaron colores como amarillo, ocre, negro y azul para determinar las variaciones del hormigón coloreado con respecto al hormigón sin pigmento.

2.4.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS PIGMENTOS.

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

La forma y tamaño de las partículas tiene una importante incidencia en el matiz del color y la uniformidad que puede presentar en el elemento.

Las partículas de los pigmentos son diez veces más finas que las del cemento. Los óxidos minerales naturales o sintéticos se muelen con la siguiente finura:

- Óxido mineral: 100% molido bajo tamiz 0.080 mm
- Óxido sintético: 100% molido bajo tamiz 0.045 mm

Esto corresponde a una granulometría comprendida entre 0.01 y 10 μ , lo que se traduce en una superficie específica Blaine entre 5000 y 20000 cm^2/gr .

Cabe destacar que los valores dados para la superficie específica de los pigmentos son de referencia, ya que, ésta no está exactamente definida como la del cemento (fineza Blaine) sino que se determina generalmente por el método BET, el que se basa en la capacidad de absorción de algunos elementos para determinar el tamaño de partícula del elemento adsorbido.

Esta finura es difícil de obtener a partir de la trituración de material grueso, por lo que sólo se puede conseguir mediante la manufacturación sintética. En suma, todas las partículas deben tener el mismo tamaño. Sólo los pigmentos que son capaces de satisfacer esta condición pueden tener un alto poder colorante y una pureza de tono.

Antecedentes tomados a partir de fotos microscópicas revelan que las partículas de los pigmentos de óxido de hierro amarillo tienen forma de aguja, y las partículas de óxido de hierro negro y rojo, así como las del dióxido de titanio, óxido de cromo y aluminato de cobalto tienen una forma cúbica a esférica.

La tonalidad que adquieran los materiales pigmentados dependerá de la relación ancho/largo que posean estas partículas.

En conclusión, si bien el matiz básico de un pigmento está determinado por su composición química y estructura cristalina, el tono del color puede variar considerablemente por el ajuste del tamaño medio de sus partículas, ya que el color es una consecuencia de la selección de una determinada longitud de onda del espectro visible, la que se debe a la distribución de átomos y electrones que forman los compuestos químicos.

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 ésta. 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.

Tabla N°2. En la tabla se presentan el tamaño medio de las partículas de acuerdo a su color.

Color del pigmento	Tamaño medio de las partículas (μ)
Rojo	0.019 a 0.7
Negro	0.15 a 0.6
Amarillo	0.1x 0.8 a 0.2 x 0.8
Verde	0.3 a 0.35
Blanco	0.3 a 0.5

Si bien los rangos de tamaño de partículas dan una noción básica acerca de dicha características, es importante tener en cuenta, para no obtener colores indeseados, que dicha características dependerá de cada fabricante, por lo que es necesario contar con suficiente información del producto antes de decidir su utilización.

La absorción de agua es un índice que se expresa la cantidad de agua fijada por 100 gramos de pigmentos. Se determina por el mismo procedimiento utilizado para la absorción de aceite que se establece en la norma ASTM D 281 31 o DIN 53 199; basta solamente sustituir el aceite de linaza utilizado en estas normas por agua. En la tabla se presenta los porcentajes de absorción de agua para algunos colores de pigmento.

Tabla N°3. Absorción de agua

Color del pigmento	Absorción de agua (%)
Rojo	22-34
Negro	21-33
Amarillo	26-80
Café	29-38
Verde	13-18
Blanco	13-16

Estudios realizados por Bayer para los diferentes colores que ellos producen demuestran que la adición complementaria de agua no tiene mayor relevancia si no se supera el 10 % de pigmento. Esta consideración no incluye al óxido de hierro amarillo, ya que, la demanda de agua adicional se puede incrementar incluso en un 20%, como se desprende en la figura.

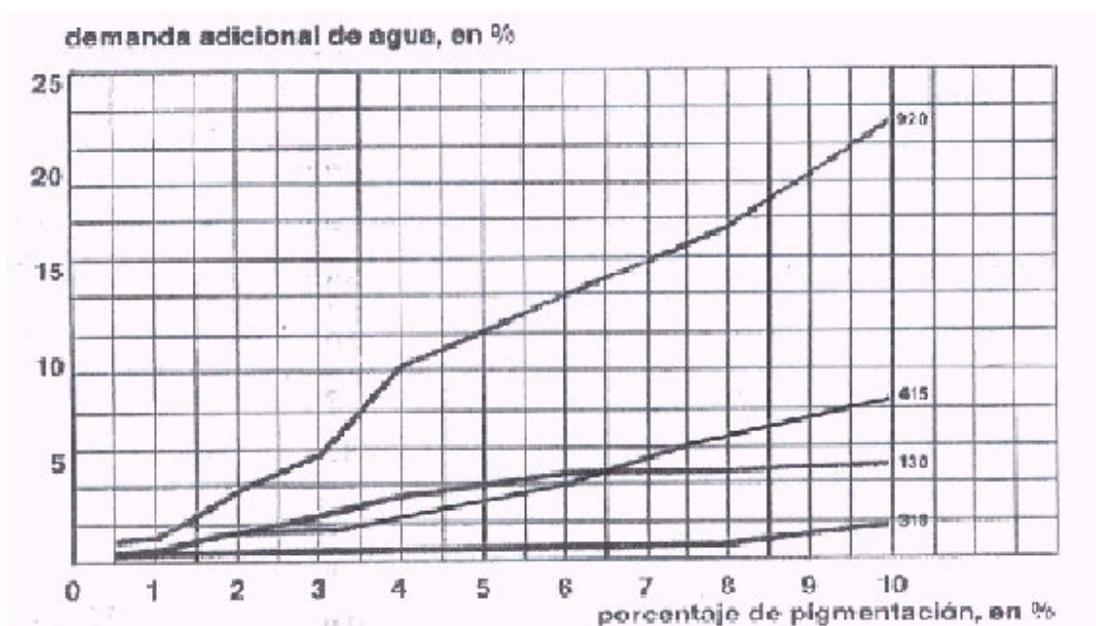


Figura. Demanda adicional de agua de acuerdo al porcentaje de adición de pigmento para los colores amarillo (920), ocre (415), rojo (130) y negro (318)

Sin embargo, estudios realizados a hormigones coloreados han revelado importantes descensos en el asentamiento del cono, hecho que no sólo se remite a los óxidos de hierro sino también a los rojos, aunque en menor grado. Por otra parte los óxidos de hierro negro plastifican las mezclas produciendo aumentos de cono de 3 a 5 cm. Los colores verdes y azules afectivamente no afectan la consistencia de manera significativa.

2.4.2.- ESTABILIDAD DE LOS PIGMENTOS.

Los óxidos en general son los compuestos más estables que existen; de allí la permanencia de los óxidos de hierro y el óxido de cromo a lo largo del tiempo y de los cambios de condiciones. Ambos compuestos presentan una excelente estabilidad a los factores nombrados anteriormente como son la luz ultra violeta, ácido carbónico, cambios fuertes de humedad y a los ácidos y los álcalis.

La estabilidad de los pigmentos a los parámetros relacionados con las vicisitudes de la intemperie, ha sido comprobada por estudios experimentales realizados en Alemania, España y Colombia. En estos países se ha expuesto a la intemperie en condiciones normales muestras de distintos colores por diversos periodos de tiempo, desde 2 a 25 y más años, realizando evaluaciones periódicas durante todo el tiempo de exposición. Las mediciones experimentales revelan pequeños cambios de color, los que se atribuyen al efecto combinado del cemento y de los depósitos ambientales propios de una zona abierta, los cuales no fueron combinado con el cemento y de los depósitos ambientales propios de una zona abierta, los cuales no fueron removidos por q no se lavaron las muestras durante el tiempo de exposición; a la formación de eflorescencias y a los cambios estructurales superficiales, por ejemplo, cambios en la porosidad superficial por efectos de depósitos en los poros externos. Sin embargo, se aprecia que el lavado recupera en alta medida la coloración original.

Cabe destacar, que existen contadas excepciones, como lo son el pigmento en base a carbón negro y los pigmentos orgánicos, que no tienen una estabilidad a la intemperie. Es conocida la presencia de los óxidos de hierro en las materias primas de los cementos, caolines y calizas, en los cuarzos, rocas calcáreas y en los mármoles. Todo esto indica la compatibilidad entre cemento y los óxidos de hierro.

Un estudio específico a hormigones coloreados para investigar la variación de color y la durabilidad, realizada en España por INTEMAC, revela que la adición de pigmentos en polvo lleva asociada una disminución de la durabilidad y destonificación del color en el tiempo. Si bien, esta información no es suficiente como para suponer que este comportamiento ocurrirá en todos los hormigones coloreados, justifica la necesidad de no perder de vista el hecho de que cada pigmento tiene un comportamiento distinto según sus características particulares y las de los otros componentes de la mezcla, así como también la interacción que se produzca entre ellos. El efecto de dicha interacción será fundamental en la etapa experimental de este estudio.

2.5.- CEMENTO

Debido a que el color del cemento varía incluso entre lotes de un mismo fabricante, esa variación afecta también el color del hormigón, por lo que se recomienda usar cemento del mismo fabricante y lote para toda la obra.

Un caso especial se presenta al momento de optar por un hormigón de color blanco, en el cual es casi imprescindible el uso de cemento blanco y/o pigmento en base a dióxido de titanio.

El hormigón arquitectónico blanco tiene en principio los mismos componentes que un hormigón ordinario. Lo que lo hace particular es el cuidado especial que requiere en todas las etapas de su elaboración y desde el diseño hasta su mantenimiento.

Es recomendable la utilización de agregados claros, para evitar la aparición de áreas con sombras o colores diferentes. La arena utilizada afecta el color. Las partículas finas actúan como pigmentos en la pasta de cemento de tal manera que, cuando se quiera una blancura máxima, deberá utilizarse arena blanca o amarilla. En principio, cualquier agua potable es utilizable para el amasado. Sin embargo, su almacenaje y transporte debe realizarse por medios que no contaminen el color del hormigón, esto es, recipientes y conducciones limpias y exentas de óxidos de hierro. El agua deberá estar libre de partículas en suspensión. Al igual que en los hormigones grises, los aditivos más frecuentes son los plastificantes o fluidificantes, y en determinadas circunstancias se utilizan hidrófugos. Aún cuando en principio los aditivos utilizados en hormigones grises son válidos, es esencial realizar ensayos previos a su utilización a escala industrial, para verificar que no alteren el color final requerido u otras características como el aspecto superficial, los tiempos de fraguado, las resistencias mecánicas, etc.

En este caso solo utilizamos cemento gris de un solo fabricante, y no se utilizó cemento blanco, los datos obtenidos son de otros estudios realizados al respecto.

2.5.1.- CEMENTO BLANCO.

El cemento blanco es un cemento de alta pureza, ideal para un amplio rango de aplicaciones estructurales y arquitectónicas. Permite obtener hormigones o morteros extraordinariamente blancos o coloreados en toda la gama y preservar en el tiempo su aspecto inicial. Además es un cemento Pórtland grado alta resistencia que cumple la norma chilena Nch 148 Of. 68. Sus usos se recomiendan para hormigones arquitectónicos, morteros de estuco coloreado, morteros de juntas de cerámicas, entre otros.

Este cemento además, posee bajo contenido de álcalis y sus partículas son generalmente de menor tamaño que las de cemento gris, lo cual trae consigo una mejor hidratación y un menor tiempo de fraguado.

Por las condiciones de su color, presenta un valor agregado que determina unos usos específicos, tanto para efectos estructurales como de acabados o estéticos. De hecho, la textura superficial de los acabados logrados con cemento blanco es más tersa y pulida debido al menor tamaño de las partículas.

Cuando se emplea cemento blanco se tienen las ventajas y características del cemento gris unidas a la condición estética dada por el blanco y su uniformidad. El color permite resaltar los acabados logrados con el cemento blanco, bien sea utilizando áridos de diversos aspectos o pigmentos. Al utilizar pigmentos colorantes con el cemento blanco se garantiza un color mas vivo y alegre, a la vez que se requiere una menor cantidad de pigmento que la empleada para colorear un cemento gris.

2.6.- ÁRIDOS.

Como parte constituyente del hormigón, afecta su color y granulometría. Se deben controlar ambas características de los lotes que se usen en una misma obra.

El árido tiene otra repercusión sobre el resultado de la pigmentación, ya que, el árido grueso produce en el mezclador un efecto dispersante mucho más intenso, sobre el pigmento, que otro grano fino. Las aglomeraciones livianas de pigmento, que pueden producirse, por ejemplo, durante el transporte, se destruyen muy fácilmente por el grano grueso del árido. Si por el contrario, sólo hay arena muy fina, no queda más alternativa que intensificar mucho el mezclado.

Al decidir sobre la combinación de los agregados, áridos finos y gruesos, hay que tener presente los requisitos básicos para el hormigón. En el primer caso, la estética, la elección del árido grueso, y por lo tanto, su color, es de mayor importancia para las superficies abiertas trabajadas, por ejemplo, martelinado, sopleteado con arena y lavado, mientras que la elección del agregado fino es decisiva para la coloración de las superficies abiertas sin ningún tratamiento posterior después de la remoción del moldaje.

2.7.- RELACIÓN AGUA / CEMENTO.

El cemento requiere de agua para fraguar y curar. La relación agua /cemento es determinante en la trabajabilidad del hormigón y en la apariencia de la superficie. Esta última puede presentar irregularidades o poros que le dan un color pálido a la superficie cuando existe exceso de agua, lo que disminuye la resistencia del hormigón y aumenta la formación de eflorescencias.

La relación agua / cemento, influye en el tono, brillo e intensidad de coloración aumentando la luminosidad conforme lo hace la cantidad de agua. Es indudable que, al tratarse de hormigones estructurales en los que la mayor proporción de agua influye negativamente en la resistencia, el equilibrio entre resistencia pedida y luminosidad en el color debe ser consecuencia de un muy clarificado valor agua / cemento.

En la practica se emplean relaciones agua / cemento desde 0.23 hasta 0.55. Para las aplicaciones que se requieran baja trabajabilidad (hay compactaciones a altas presiones) se emplean relaciones bajas. Por el contrario, si se requiere buena trabajabilidad las relaciones agua / cemento son altas.

Otro fenómeno que está directamente ligado con la relación agua / cemento es la retracción hidráulica. El primer cuidado que se debe tener en la dosificación de todo hormigón, en el cual se pretende minimizar la retracción, es utilizar bajas dosis de agua, ya que un mayor contenido de ésta en el interior del hormigón, se traducirá en un mayor número de fisuras y poros saturados, desde donde se origina finalmente la tensión superficial, responsable directa de la retracción hidráulica. Sin embargo, el principal parámetro que permite establecer la resistencia a la compresión del hormigón es la razón agua / cemento, inversamente proporcional a la resistencia esperada, la cual depende directamente de la cantidad de cemento utilizado. Si las exigencias de resistencia a la compresión del hormigón

son altas, se requerirá una baja razón agua / cemento, lo que sumado a una dosis baja de agua, generarían un hormigón con muy baja o ninguna trabajabilidad, propiedad que es muchas veces, tan importante como la resistencia, particularmente en estructuras de hormigón armado, en las que se tengan fuertes concentraciones de enfierradura, dificultando considerablemente la aplicación del hormigón en obra.

2.8.- PORCENTAJES DE COLORANTES.

El pigmento se agrega en un porcentaje del peso seco del cemento. Mientras mayor es la cantidad que se agrega a la mezcla, mayor es la intensidad del color. No todos los pigmentos permiten una coloración igual. Por ejemplo, dos óxidos de hierro rojos aplicados a la mezcla de hormigón pueden dar dos tonalidades distintas al mantener todas las otras variables constantes. Esto se debe a la pureza y calidad del pigmento, que es lo que determina su poder de coloración y rendimiento. En todos los casos va a existir un punto de saturación, que va a variar también según la calidad del pigmento. Este punto se encuentra dentro de un rango de 5 a 8 % en base al peso seco del cemento. Se recomienda una dosificación entre un 2 y 6 %. Diversos estudios han comprobado la influencia negativa que tienen los pigmentos en la resistencia de los hormigones al agregarse en un porcentaje mayor a un 10%.

2.9.- TIPO DE MOLDE EMPLEADO.

La forma, tipo y material del molde tiene repercusión en el color. Como regla general, cuanta más agua absorbe el molde, más oscuro 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 lo tanto, deben utilizarse moldajes no absorbentes.

En el caso de usar moldajes de madera, dentro de un mismo encofrado, diferencias no deseadas resultarán de un número excesivos de usos, produciéndose variaciones, cuando se usen maderas nuevas, por el diferente grado de absorción de agua de un mismo encofrado o falta de limpieza de juntas, pasadores o ajustes de sus componentes. La obtención de un buen elemento de hormigón coloreado requiere de un trabajo muy delicado. El uso de moldajes de madera, sobre todo si se tiene pensando 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 estos tipos de moldajes queden estampadas en la superficie. En estos casos, se debe tener presente las incidencias que este tipo de moldajes puede tener en el color final de la superficie.

Los acabados lisos es común conseguirlos con materiales impermeables como el acero, plásticos reforzados con fibra de vidrio o contrachapado tratado.

Los moldajes impermeables proveen al hormigón de un beneficioso curado inicial. Algunos especialistas recomiendan dejarlos en su lugar tanto tiempo como sea posible o lo permita el calendario de trabajo. Tanto o más importante es mantener uniforme el tiempo de desmoldado, a lo largo de toda la obra para evitar variaciones de color.

Las superficies lisas pueden parecer las más sencillas, pero en realidad, son las más difíciles de lograr, tanto en el hormigón hecho en obra, como en los prefabricados.

2.10.-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. Esto se hace mediante compresión y/o vibración.

Un defectuoso vibrado o compactación del hormigón dará lugar, cuando el tiempo del mismo es escaso, a nidos, con afloramiento del árido, mientras que, 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 éste que a la pasta de hormigón, desprendiéndose al desencofrar o tan pronto retraiga o entre en servicio la pieza hormigonada.

Los encofrados absolutamente estancados (por ejemplo, tubos de PVC), al vibrar el hormigón, ocasionan la concentración local de grandes burbujas de aire, arbitrariamente en su superficie.

En ocasiones, intencionalmente se incorpora aire al hormigón ya sea para mejorar la trabajabilidad del hormigón fresco o para mejorar la resistencia al efecto hielo-deshielo en el hormigón curado. Esta incorporación de aire, al igual que el aire que no se libera en el proceso de vibrado, provocan que la superficie quede rugosa, con hormigones, y eso afecta el color.

2.11.-DESMOLDANTE.

Las sustancias empleadas para lubricar la interfase molde-piel del hormigón y facilitar la separación del molde luego del fraguado, pueden manchar el hormigón haciendo variar su color.

Usar láminas plásticas o papeles de curado pueden causar decoloración y manchado. Se ha desarrollado compuestos de curado de color, especiales para usar en hormigón coloreado. Estos materiales de color específicos proveen una alta retención de agua, incluso mayor a los tiempos especificados en la norma ASTM C 309.

Es recomendable, después del curado, aplicar un sello protector y preservador de la apariencia de la superficie. Superficies multicolores se sellarán con un sellador claro o transparente, mientras que 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 semibrillosa resistente a la abrasión, manchado y ataques químicos.

2.12.-FRAGUADO.

La temperatura de fraguado tiene una incidencia doble 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 alrededor de 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 posibilidad de viraje hacia el rojo. Lo mismo es válido para el óxido de hierro pardo oscuro, formado con mezclas con mayor o menor porcentaje de óxido de hierro negro. Caso aparte son algunos pigmentos que son termoestables. El óxido de hierro rojo y el óxido de hierro amarillo pueden fraguarse en autoclave.

En segundo lugar, la temperatura de 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 dispersión de la luz, es decir, en el brillo del hormigón. Mientras que las diferencias no son grandes entre 2 y 28 °C (con todo pueden darse diferencias de coloración entre hormigón fraguado al aire libre en invierno o verano), el hormigón fraguado en autoclave es mucho más claro y brillante. Cuanto mayor sea la temperatura de la autoclave, tanto mayor será la claridad de tono.

Este fenómeno también se aprecia en hormigones pigmentados. Las dimensiones que pueden tomar las diferencias de coloración debidas a la temperatura de fraguado son bastantes considerables.

CAPÍTULO III: FACTORES EXTERNOS QUE AFECTAN EL HORMIGÓN COLOREADO.

Los fenómenos citados obedecen a causas distintas, pero se presentan prácticamente juntos. No sería realista confiar que el hormigón pigmentado no tenga que sufrir también sus efectos en los cambios de color que se provocan. Pero llama la atención que la diferencia entre hormigón íntegro y hormigón castigado por la intemperie, donde más de relieve se pone, es en las muestras sin pigmentar. Este fenómeno se asocia al hecho de que la pigmentación enmascara, de cierta manera, los cambios de color provocados por la intemperie.

3.1.-EFLORESCENCIAS.

Las eflorescencias son el azote de todas las producciones de hormigón, en particular, cuando hay color de por medio y los imperativos estéticos son especialmente riguroso. En este tema se debe decir, que por lo menos, los pigmentos de óxido de cromo, según los conocimientos y experiencias hasta el momento, no influyen ni positiva ni negativamente sobre las eflorescencias. Está claro que éstas se aprecian mejor en un hormigón negro que en el gris natural. En cambio, en el blanco no se destacan en absoluto.

Cabe distinguir entre eflorescencias primarias, que aparecen ya durante el fraguado del hormigón, sin que se deposite sobre su superficie agua alguna de condensación; y eflorescencias secundarias, surgidas por la incidencia de agua ajena, a menudo muy posterior al proceso de preparación del hormigón. Un hormigón de mucha porosidad favorece la formación de ambas eflorescencias. Cuanto más compacto es el hormigón, menos tendencia tendrá a las eflorescencias.

Las eflorescencias se producen cuando se forma cal libre durante el fraguado del cemento. Esta cal libre se halla disuelta en el agua de amasado (eflorescencias primarias) o en agua ajena, por ejemplo, de la lluvia (eflorescencias secundarias), se aloja en la superficie del hormigón y allí reacciona con el anhídrido carbónico del aire dando lugar al carbonato cálcico, que es insoluble. La antigua experiencia de que una buena corriente de aire favorece las eflorescencias, es atribuible al aporte del anhídrido carbónico asociado con el movimiento del aire.

En una reacción lenta, el carbonato cálcico puede seguir reaccionando con más anhídrido carbónico dando lugar a bicarbonato cálcico, que vuelve a ser soluble en agua. Así se desvanecen las eflorescencias en la intemperie.

Está claro que también agentes de la atmósfera, por ejemplo, el anhídrido sulfuroso, provocan la disolución de los sedimentos cálcicos de la superficie del hormigón. Las investigaciones han puesto de manifiesto que, en el clima industrial, las eflorescencias desaparecen más rápidamente que en el aire puro del clima marítimo o andino.

La mayor parte de las eflorescencias puede quitarse por medio de un escobillado seco seguido de un lavado con agua abundante. Los depósitos más difíciles pueden requerir el uso de un removedor de eflorescencias patentado. Es importante realizar una prueba inicial del producto en una pequeña sección del hormigón para determinar el impacto visual de la solución de limpieza, ya que el uso de limpiadores ácidos puede afectar la apariencia del hormigón coloreado.

3.2.- EL COLOR AMARILLENTO.

Otro factor en el intemperismo es que el hormigón puede tornarse amarillo con el tiempo. El impacto del amarillamiento es más notable en el hormigón no coloreado o ligeramente pigmentado que en el hormigón con alta dosis de pigmento. Aunque el cambio de color es muy ligero, de todos modos puede ser una consideración a tener en cuenta cuando se trata de igualar nuevos materiales a la construcción vieja.

Especialmente delicado a esta situación es el hormigón coloreado de azul. En este caso el amarillento da la sensación de color hacia el verde.

3.3.- EROSIÓN.

A lo largo del tiempo, la apariencia de una estructura puede cambiar debido al desgaste de la superficie del hormigón. En el hormigón nuevo, la pasta de cemento coloreado, cubre con una capa cada grano de arena o pedazo de agregado, y el color total del hormigón está determinado principalmente por la pigmentación.

A medida que la pasta de cemento se erosiona o se desgasta, la arena y el agregado se hacen visibles en la superficie y pueden influir en el color total del hormigón. Cualquier cambio en la textura del material afectará también la apariencia. Si el hormigón va a estar sujeto a aguas corrientes, arena soplada por el viento, a tránsito vehicular pesado u otras condiciones que pueden 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.

3.4.- SELLADORES DE SUPERFICIE.

Para la retención óptima de color, se debe considerar la aplicación de un repelente al agua o un sellador a la superficie del hormigón. Un repelente o un sellador de buena calidad reduce el potencial del hormigón para ensuciarse o mancharse, y hace más fácil su limpieza. Al reducir la penetración de la humedad a través de la cara del hormigón, los repelentes o selladores pueden reducir también las eflorescencias.

Los selladores brillosos pueden crear una apariencia del hormigón. Otros selladores pueden conseguirse en acabado mate. En general, los selladores deben aplicarse hasta después que el hormigón se haya curado por lo menos 28 días, que se haya quitado la eflorescencia y que se le haya dado limpieza general.

Sin embargo con o sin repelentes al agua o selladores, el hormigón coloreado proporcionará años de servicio y buena apariencia. Si se desea, un fregado 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.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental tiene como fin determinar una serie de pasos o acciones que permitan estudiar de manera eficiente los efectos de la adición de pigmento en el hormigón. Ella se logra a través de un programa experimental, el cual, parte con el diseño del experimento a realizar.

El diseño experimental tiene por objeto determinar si la adición de pigmento en el hormigón afecta su resistencia a compresión.

El paso siguiente es la caracterización de las propiedades de los componentes de la mezcla. Los ensayos realizados a las gravillas y arenas se detallan más adelante; el cemento y los pigmentos no se ensayaron, ya que sus propiedades se obtuvieron por certificación de los fabricantes.

4.1.-DISEÑO EXPERIMENTAL.

El objetivo de este diseño experimental es desarrollar una serie de experimentos, es medir el cambio en las variables de resistencia que genera en un hormigón la adición de pigmento.

Las variables independientes en este estudio serán la clase de cemento, el tipo de pigmento y el porcentaje de adición de este último. Se trabaja con cemento Pórtland Siderúrgico de grado corriente de marca comercial Bío Bío. El pigmento es en polvo cuyo fabricante es Bayer con 8 colores entre ellos tenemos, dos amarillos, 4 marrones, un azul y un negro; los que se utilizan en porcentajes, respecto al peso seco de cemento de 4% y 6%, solo para este caso.

4.2.- ENSAYO DE LOS MATERIALES.

4.2.1.- CEMENTO.

La norma NCh 148 Of. 68 establece dos clasificaciones para los cementos, según su composición y su resistencia.

Se utilizó solo cemento Siderúrgico Bío Bío especial de grado corriente que contiene Clinquer y 30% a 75% de escoria de alto horno. Las características generales se presentan a continuación:

Tabla N° 4. Grados de cementos. Requisitos según norma NCh 148 of. 68.

Grado	Tiempo de fraguado		Resistencia mínima a la		Resistencia mínima a la	
			compresión		flexión	
	Inicial mínimo (minutos)	Final máximo (horas)	7 días kgf/cm ²	28 días kgf/cm ²	7 días kgf/cm ²	28 días kgf/cm ²
Corriente	60	12	180	250	35	45
Alta resistencia	45	10	250	350	45	55

No se contempla la realización de ensayos a los cementos, ya que sus propiedades se obtienen mediante la certificación realizada en los laboratorios propios de cada fabricante.

4.2.2.- AGUA.

Para este estudio se utilizó agua potable, según lo estipula la norma chilena NCH 1498. Of. 82, que se puede utilizar sin verificar su calidad.

El agua para ser aceptada en la fabricación de un hormigón de calidad, debe ser potable o que se pueda beber.

- No deben ser aceptadas las aguas que posean las siguientes características:

- Aguas servidas
- Aguas turbias
- Agua con presencia de materia orgánica
- Agua con elementos en descomposición
- Aguas con azúcar

- Algunos requisitos básicos que establece la norma NCh 1498:

- PH : 6 a 9.2
- Sólidos en suspensión, mg/l : máx. 2000
- sólidos disueltos, mg/l : máx. 15000
- materia orgánica, : máx. 50

Como oxígeno consumido, mg/l

4.2.3.- PIGMENTOS.

El estudio considera la utilización de 8 colores de pigmentos provenientes de una química extranjera, más específicamente de Brasil. Estos colores provienen de óxidos de hierro rojo, amarillo, azul y negro.

El pigmento rojo y amarillo es un óxido de hierro elaborado mediante el proceso de oxidación de chatarra. Su principal aplicación es en prefabricados de hormigón.

A continuación mostraremos algunos conocimientos básicos para la utilización del pigmento:

La siguiente es la línea de pigmentos inorgánicos de Bayer Brasil:

Tabla N° 5. Composición química de los pigmentos según la empresa Bayer.

Color	Componente	Fórmula Comercial	Nombre
Rojo	Óxido de hierro	- Fe ₂ O ₃	Bayferrox
Amarillo	Óxido de hierro	- FeOOH	Bayferrox
Negro	Óxido de hierro	Fe ₃ O ₄	Bayferrox
Café	Óxido de hierro	Mezcla de - Fe ₂ O ₃ , - FeOOH y/o Fe ₃ O ₄	Bayferrox
Verde	Óxido de cromo	Cr ₂ O ₃	Óxido de Cromo Verde
Azul	Óxido de cobalto	Co (Al,Cr) ₂ O ₄	Pigmento Azul Luz

Estos productos poseen diversas variedades de intensidad y mezcla. Hay también productos terminados con colores diferenciados con los componentes arriba indicados. A ahora daremos unas propiedades físicas del óxido de hierro.

Tabla N° 6. Propiedades físicas del hierro.

Propiedad	
Fe ₂ O ₃ , % peso mínimo	92 - 99
Peso específico	3 - 4,1
Absorción de aceite %	20 - 40
Humedad %	0,5 - 1,0
PH	3,5 - 0,5
Sales solubles %	0,3 - 0,5
Residuo en 45 %	0,02 - 0,03

Es importante destacar que los datos de las propiedades de los colores rojo y amarillo se obtuvieron de forma no documentada de parte de los fabricantes.

En la información presentada en la tabla de los óxidos de hierro cumplen con los porcentajes mínimos de Fe₂O₃ de la Norma Británica 1014. Poseen un alto poder de absorción tal como lo establece la teoría, por lo que se espera que provoquen descensos en los valores de asentamiento de cono de Abrams.

4.2.4.-ÁRIDOS.

Cabe dejar claro que los áridos utilizados en la preparación de los hormigones con hormigón de color fue hecho solo con gravilla y arena debido a que los moldajes utilizados fueron tubos de PVC de 110 de diámetro debido a que necesitaba realizar probetas pequeñas que cumplan con la Norma Chilena NCh 170 (“Hormigón - Requisitos Generales “), debido a la escasez de pigmentos a utilizar.

Los áridos utilizados fueron comprados en la ciudad de Valdivia en la empresa Valdicor, cuyo origen es de río.



Foto N° 1.- Arena lista para el uso en la preparación del hormigón, cumpliendo con las normas chilenas.

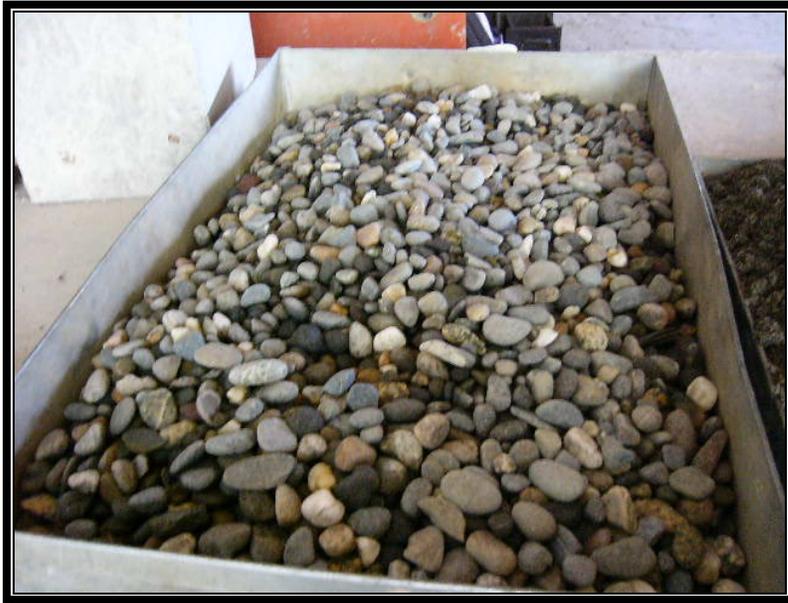


Foto N° 2.- Gravilla lista para el uso en la preparación del hormigón, cumpliendo con las normas chilenas.

4.2.4.1.- Determinación del material fino menor a 0,080 mm. (NCh 1223)

Se hizo de acuerdo a lo establecido en la NCh 1223. Esta norma establece el procedimiento mediante tamizado húmedo para determinar el contenido de material fino compuesto por partículas inferiores a 0.080 mm en los áridos. Esta norma se aplicará al ensayo de áridos de densidad real de 2000 a 3000 kg/m³ que se emplean en la elaboración de morteros y hormigones. Además se aplicará a los materiales cuyo material fino no experimente alteraciones físicas o se aglomere por efecto del secado.

4.2.4.2.- Tamizado y determinación de la granulometría. (NCh 165.)

La determinación de la distribución granulométrica de los áridos se realizó por medio de un tamizado, respetando el procedimiento establecido por la NCh 165. La muestra seca se tamizó utilizando los tamices de la serie preferida, tomando como dato la masa retenida en cada uno de ellos. Con esta masa retenida se determinó los porcentajes parciales retenidos y los acumulados que pasan, con los cuales se obtiene el módulo de finura y los tamaños máximos absolutos y nominal de los áridos.

4.2.4.3.- Determinación de la densidad aparente de los áridos. (NCh 1116)

El proceso para la determinación de la densidad aparente suelta y compactada de los áridos se realizó de acuerdo a lo establecido en la Nch 1116. Esta norma establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Además se aplicará al ensayo de los áridos de densidad real entre 2000 y 3000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de morteros y hormigones.

4.2.4.4.- Determinación de las densidades real y neta y de la absorción de agua de las arenas. (NCh 1239)

Esta norma establece los procedimientos para determinar las densidades real y neta y la absorción de agua de las arenas. Además se aplicará al ensayo de los áridos de densidad real entre 2000 y 3000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de morteros y hormigones.

4.2.4.5.- Humedad y esponjamiento.

Para determinar la humedad de las muestras de áridos se seleccionó una muestra representativa, la cual se pesó húmedo y luego se secó hasta una masa constante.

La humedad libre de un árido, valor sumamente importante y necesario para hacer la corrección de dosificaciones por humedad que aportan los áridos, se determina como la diferencia porcentual entre la humedad total (obtenido por secado al horno 110° C.) y la absorción.

4.2.4.6.- Determinación calorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones. (NCh 166).

Esta norma establece el procedimiento para determinar la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones, por comparación de colores a través de un patrón de colores donde presenta una escala de colores.

Las prescripciones de esta norma se aplican solo a las arenas para hormigones.

4.2.4.7.- Dosificación.

Los hormigones utilizados en este estudio, han sido dosificados de acuerdo a lo establecido en la metodología de dosificación del ACI modificado. Este método corresponde a una adaptación del ACI 211.1 – 81 a la realidad de los materiales chilenos.

La dosificación se realiza para obtener un hormigón normal de resistencia característica específica de 25 Mpa, con nivel de confianza de 95% y un asentamiento del cono entre 6 – 9 cm, para lo cual se utilizará cemento siderúrgico marca comercial cementos Bío Bío especial y áridos obtenidos de río ubicado cerca de la ciudad de Valdivia, adquiridos por la empresa Valdicor.

CAPÍTULO V: FABRICACIÓN DE LA MUESTRA

Las mezclas efectuadas se realizaron de acuerdo a lo recomendado por el fabricante de los pigmentos y algunos estudios realizados en este línea, el método más recomendado es el método por vía seca, al que se asocia un mayor aprovechamiento del poder de coloración del pigmento, optimizando costos y logrando un hormigón de color uniforme al romper los aglomerados de pigmento.

La mezcla por vía seca consiste en poner en la mezcladora los agregados gruesos secos, adicionar pigmento y mezclar. Así los agregados hacen por medio de molienda, romper los aglomerados de pigmento, logrando que éste se incorpore a la mezcla. Posteriormente se agrega la arena, cemento y finalmente el agua, siguiendo este mismo orden.

Una vez que se adiciona el agua a todos los componentes que están en la betonera, se siguen las recomendaciones de tiempo de mezclado dadas por la Nch 1018.

5.1.- CONFECCIÓN Y CURADO DE LAS PROBETAS.

Una vez vertido el hormigón en las probetas de PVC y previamente humedecido con desmoldante en todo el interior del molde, se mezcló la muestra con pala antes de rellenar los moldes para la ejecución de los ensayos, según NCh 171.

Después del enrasado y alisado por ambas caras, se espera un tiempo entre 24 y 48 horas para luego desmoldarlas y sumergirla en agua hasta cumplir las edades requeridas para los ensayos.

5.2.- ENSAYO AL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO.

Este ensayo se realizó de acuerdo a la NCh 1037.

La resistencia del hormigón es el factor que se emplea frecuentemente para definir su calidad. Se puede medir a compresión, tracción, flexión y tracción indirecta. Aunque por lo general el control del hormigón se realiza por ensayos de rotura a compresión, como en este caso donde todas las probetas se realizaron con ensayo a compresión.

5.3.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO.

5.3.1.- ENSAYO DE LOS ÁRIDOS.

5.3.1.1.- Granulometría de los áridos.

Es la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido, determinando así, de acuerdo a las siguientes tablas los resultados obtenidos en laboratorio, para la gravilla y la arena.

Tabla N° 7. Tamaño de la muestra de ensayo.

Material	Masa inicial muestra seca (kg)	Masa final muestra lavada y seca (kg)	Diferencia Porcentual	% fino
Gravilla	4,932	4,9	0,032	0,65
Arena	0,944	0,934	0,01	1,06

Tabla N° 8. Distribución granulométrica de la arena.

Malla ASTM	Masa Retenida	% Ret. Parcial	% Que pasa
3/8"	0	0	100
n° 4	84	9	91
n° 8	68	7	84
n° 16	106	12	72
n° 30	378	41	31
n°50	244	26	5
n°100	40	4	1
n°200	6	1	0

Tamaño máximo absoluto: 3/8"
Tamaño máximo nominal: n° 4

Tabla N°9. Distribución granulométrica de la gravilla.

Malla ASTM	Masa Retenida	% Ret. Parcial	% Que pasa
3/4"	0	0	100
1/2"	1962	40	60
3/8"	1972	40	20
n° 4	974	20	0

Tamaño máximo absoluto: 3/4"
Tamaño máximo nominal: 1/2"

Se puede concluir que de acuerdo a los resultados obtenidos de los áridos de las tablas N°8 y N°9; cumplen con lo establecido de acuerdo a la Nch 165, respecto a las discrepancias porcentuales aceptada para la masa inicial y final utilizadas en la determinación de la granulometría.

5.3.1.2.- Densidad e índice de huecos de los áridos.

En las tablas siguientes se presentan los valores obtenidos en los ensayos de densidad y de índice de huecos, calculados para la arena y la gravilla.

Tabla N° 10. Densidades e índice de huecos de la arena.

Propiedades	Valores
Densidad Real árido SSS kg/dm ³	2,645
Densidad Real árido seco kg/dm ³	2,643
Densidad neta kg /dm ³	2,648
Densidad aparente compactada kg/dm ³	1,67
Densidad aparente suelta:	1,63
Absorción de agua:	1,39%
% de huecos:	99,62%

Tabla N° 11. Densidad e índice de huecos de la gravilla.

Propiedades	Valores
Densidad Real árido SSS kg/dm ³	2,644
Densidad Real árido seco kg/dm ³	2,61
Densidad neta kg /dm ³	2,704
Densidad aparente compactada kg/dm ³	1,66
Densidad aparente suelta:	1,61
%Absorción de agua:	1,33
% de huecos:	99,62

5.3.1.3.- Impurezas orgánicas.

La comparación visual de la muestra de arena ensayada con la solución patrón, revela que la arena utilizada alcanzó el nivel N° 3 que presenta indicios de materia orgánica y que alcanzó el nivel máximo aceptable, por lo tanto, este nivel nos indica que la arena es aceptada para su utilización, en la fabricación de los hormigones.

5.4.- CEMENTO.

Se presentan los datos técnicos del cemento, certificado según los fabricados, que en este caso es el cemento Bío Bío especial grado corriente, que fue el utilizado para preparar los hormigones.

Tabla N° 12. Características químicas del cemento.

Análisis Químico	Bío Bío especial
CaO	51%
SiO ₂	27,80%
Al ₂ O ₃	8,40%
Fe ₂ O ₃	1,80%
MgO	4,80%
SO ₃	1,30%
K ₂ O	-
Na ₂ O	-
Pérdida por calcinación	2,30%
Residuo insoluble	0,60%

Tabla N° 13. Propiedades Físicas del cemento.

Propiedades Físicas	Bío Bío especial
Finura Blaine	4440 cm ² / g
+45 μ	-
Fraguado Inicial	170 min.
Fraguado Final	220 min.
Consistencia normal	-
Peso específico	3

5.5.- DOSIFICACIÓN.

Se tomó un nivel de confianza de un 95%, una relación agua / cemento de un 0.47 y un asentamiento del cono de 6-9 cm. El grado de la resistencia del hormigón a utilizar es un H-25, es decir, 25 Mpa lo que equivale a 250 kgf/cm².

5.5.1.- CÁLCULO DE LA RESISTENCIA MEDIA DE DOSIFICACIÓN.

$$R_h = (f_c + (s*t))$$

fc	=	250	kg/cm ²
s	=	39	grado de control bueno
t	=	1,64	con un 95% para 30 o + muestras
Rh	=	314,0	kg/cm²

5.5.2.- CÁLCULO DEL AGUA Y DEL CEMENTO.

$$A/C = 0,47$$

• Asentamiento cono:	6-9 cm
• Tamaño máximo gravilla:	20 mm

$$\text{Según tabla} \longrightarrow 190 \text{ lts.}$$

$$C = \frac{\text{agua}}{A/C} = 404 \text{ Kg.}$$

Tamaño máximo grava, mm	Asentamiento de cono, cm.			
	< 2	3 - 5	6 - 9	10 - 12
50	150	160	170	180
40	155	165	175	185
20	175	185	190	205

Tabla N° 14. Resumen dosificación.

Hormigón grado	Cemento (Kg)	Agua (lts)	Áridos				Cono
			Gravilla		Arena		
			kg	lts	kg	lts	
H - 25	404	213	994	618	750	460	6-9 cm

5.5.3.- CORRECCIONES DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD.

La dosificación de hormigones considera áridos en estado saturado con superficie seca. Por cuanto en obra los áridos se encuentran normalmente con cierto grado de humedad distinto, hay que corregir la dosificación original para no alterar los valores calculados inicialmente.

Para evitar retracciones en el hormigón producidas por absorción de los áridos, estos deberán tener una humedad igual o superior a la absorción en el momento de su empleo.

Un cierto peso de árido húmedo o mojado esta compuesto por el árido como tal, más el agua que contiene. En la humedad total están comprendidas la absorción y la humedad libre superficial. Esta última es la que aporta agua a la dosificación.

Para corregir esta situación:

- a) Determinar la humedad libre, como diferencia entre la humedad total y la absorción.
- b) Corregir la cantidad de árido, especialmente la arena, agregando al peso seco el % de humedad total.
- c) Corregir la cantidad de agua, disminuyéndola en la cantidad de agua libre que aportan los áridos, de modo de mantener invariable la razón agua-cemento.

Tabla N° 15. Resumen dosificación final, después de la corrección para 20 litros de hormigón.

Los 20 litros se fabricaron por que se necesitaba realizar poca cantidad de hormigón debido a la escasez de pigmento.

Material	kg.	litros	%H	Total	Total para 20 lts.
Cemento (kg)	404	-	-	404	8,1
Agua (lts)	-	213	9,13%	194	3,9
Gravilla (kg)	1007	-	1,53%	1022	20,5
Arena (kg)	760	-	7,60%	818	16

5.5.4.- DOSIFICACIÓN DEL PIGMENTO.

Procederemos en primer lugar con una dosificación del pigmento de un 4% de la cantidad de cemento para los 8 tipos de colores lo que con la cantidad de cemento que tenemos según la corrección de la dosificación nos da 32 gramos de pigmento a añadir a la mezcla. Luego se utilizó un 6% de la cantidad de cemento para 3 colores, que según cálculos, se añadió a la mezcla 49 gr de pigmento.

Estas diferencias de porcentaje se realizaron a modo de ver si la adición de pigmento, afecta de manera significativa la resistencia a compresión del hormigón, y si es así, saber cuanto es la diferencia entre colores y entre distintos porcentajes.

Ejemplo: Para 8,1 Kg de cemento, que es según lo que dio en la dosificación para la preparación de 20 litros de hormigón.

- Para un 3% de pigmento: 24 gr.
- Para un 4% de pigmento: 32 gr.
- Para un 5% de pigmento: 41 gr.
- Para un 6% de pigmento: 49 gr.
- Para un 7% de pigmento: 57 gr.

CAPÍTULO VI: FABRICACIÓN Y RESULTADOS DEL HORMIGÓN SIN PIGMENTO.

En primer lugar se realizó el hormigón que usaremos como patrón, es decir, es un hormigón sin pigmentos, realizado a modo de comparación con los hormigones de colores y así conocer sus respectivas diferencias entre resistencias.

Para la confección del hormigón patrón se usará probetas cilíndricas que para esto se usaron tubos de PVC de 110, con un largo de 20 cm, lo que nos da una probeta cilíndrica de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura a modo de cumplir con la norma NCh 170, estos fueron hechos debido a que se necesita realizar ensayos con probetas pequeñas producto de la escasez de pigmentos. Por cada color se realizaron 5 muestras, es decir, se utilizaron 5 tubos de PVC.

También se utilizó solo para el hormigón patrón 3 moldes cúbicos de 20 x 20 cm, donde el primero fue ensayado a los 7 días y los dos restantes a los 28 días, aparte de los 5 cilíndricos de 10 cm de diámetro por 20 cm de largo.

Todas las probetas se ensayaran a los 28 días, cumpliendo con las exigencias de la norma. Además las probetas deben estar previamente depositadas en la piscina para ser curadas y posteriormente deben ser refrentadas antes de medir su resistencia a la compresión. En este proceso se moldean las capas de refrentado sobre una superficie de carga en una probeta de hormigón, destinado a corregir defectos de planeidad y/o paralelismo entre caras con el fin de obtener la mejor coincidencia posible con las piezas de apoyo y carga de la prensa de ensayo y una distribución uniforme de tensiones durante la aplicación de la carga.

6.1.- HORMIGÓN PATRÓN.

El cálculo de las resistencias de las probetas cúbicas y después las cilíndricas, se realizan de acuerdo a la norma NCH 170.

Los valores de las resistencias son diferentes dependiendo de su figura geométrica, por ende para su equivalencia en cubos de aristas 20 cm, se emplean factores de conversión.

Las probetas de hormigón se rompen con diferentes tensiones según sus dimensiones y formas. Es necesario transformar los valores a los de la probeta cúbica a una de dimensión básica de 200 mm, ensayada a los 28 días de edad. Los valores que se recomiendan, en general, son los propuestos por la International Organization for Standardization (ISO) en su documento ISO TC 71.69.

6.1.1.- PROBETAS CÚBICAS.

Las tensiones de rotura por compresión de probetas cúbicas de diferentes dimensiones pueden relacionarse según la siguiente expresión:

$$f_{200} = k_1 \times f_n$$

si $n = 200 \text{ mm}$	$k_1 = 1,00$
-------------------------	--------------

F_{200} = tensión de rotura del cubo de 200 mm.

F_n = tensión de rotura del cubo n mm.

k_1 = coeficiente indicado en tabla de la norma NCh 170, para $n = 200 \text{ mm}$.

6.1.2.- PROBETAS CILÍNDRICAS.

Las tensiones de rotura por compresión de probetas cilíndricas de diferentes dimensiones y relación $h = 2d$, cumple la expresión:

$$f_{150} = k_2 \times f_n$$

si $n = 100 \text{ mm}$	$k_2 = 0,98$
-------------------------	--------------

F_{150} = tensión de rotura del cilindro $d = 150 \text{ mm}$.

F_n = tensión de rotura del cilindro de $d = n \text{ mm}$.

k_2 = coeficiente indicado en tabla de la norma NCh 170, para $n = 100 \text{ mm}$.

6.1.3.- PROBETAS CÚBICAS Y PROBETAS CILÍNDRICAS.

Los valores de resistencia a la compresión de cubos de 200 mm y cilindros de 150 mm pueden relacionarse según la fórmula:

$$f_c = k_3 \times f_{cil}$$

f_c = resistencia sobre probetas cúbicas.

f_{cil} = resistencia sobre probetas cilíndricas

k_3 = coeficiente indicado en tabla de acuerdo a la norma NCh 170.

Tanto las probetas cúbicas como las cilíndricas, se deben medir y pesar antes de ser ensayadas, ya que dichas mediciones servirán para el cálculo de las resistencias a compresión.

En el caso de las probetas cilíndricas, estas se debieron refrentar por ambas caras con el fin de obtener planidad y paralelismo entre caras y perpendicularidad de estas con el eje del cilindro.

Para el cálculo de la resistencia final se realizó con el coeficiente indicado en la norma multiplicado por la tensión de rotura (ton), luego este valor es multiplicado por 1000 para transformarlo a kg y dividido por el área del cilindro en cm² lo que nos da la resistencia en kg/cm².

6.1.4.- CORRECCIONES POR ABSORCIÓN Y POR HUMEDAD PARA UN M3.

Corrección por absorción y humedad, resistencia a la compresión a los 28 días y comparación entre el hormigón patrón y el hormigón con color para probetas cilíndricas.

- **Corrección por absorción para un m³:**

material	kg	absorción	total
gravilla	994	13	1007
arena	750	10	760
agua	190	23	213

- **Corrección por humedad para un m³:**

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmedo	1.128	0.7
b	peso seco	1.102	0.674
c	a-b	0.026	0.026
% H	c/b	2.36%	3.86%

Tabla N° 16. Hormigón Patrón. Ensayo a los 28 días. Probetas cúbicas de 20 cm de aristas.

N°	Aristas (cm)	Resistencia kgf/cm²
n°1 Cub.	20	363
n°2 Cub.	20	375
	Promedio	369

Tabla N° 17. Hormigón Patrón. Probetas cilíndricas de D = 10 cm y H = 20 cm.

- **Resistencia a los 28 días:**

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm²
n°1	20	10	349
n°2	20	10	350
n°3	20	10	268
n°4	20	10	393
n°5	20	10	356
		Promedio	343

CAPÍTULO VII: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LOS HORMIGONES CON PIGMENTOS.

7.1.- DOSIFICACIÓN CON 4% DE PIGMENTO POR CANTIDAD DE CEMENTO.

Con un 4% de pigmento, para los primeros 8 tipos de colores, tenemos 8,1 kg de cemento, que nos da 32.4 gramos de pigmento. Esta cantidad de pigmento fue agregada a la mezcla con los materiales en seco, es decir, primero fue agregado la gravilla junto con el pigmento, después de mezclarse un momento, se le agrega la arena; después el cemento, mostrando inmediatamente un cambio radical en el color. Luego se le agregó el agua necesaria para la dosificación, hasta cumplir con el cono correspondiente.

Cuando el hormigón se encuentra listo, es vaciado a sus respectivos moldes, previamente impregnados con el desmoldante, luego es vibrado en dos capas y posteriormente se enrasa.

Después de haber transcurridos los 28 días desde su fabricación, estas probetas cilíndricas se refrentan para su posterior ensayo.

Las probetas se dejaban saturando dentro de una piscina por 28 días.



Foto N°3. Probetas dentro de la piscina, durante 28 días antes de ser ensayadas.

A continuación mostraremos los resultados de nuestros 8 colores a ensayar mostrando su resistencia final:

7.1.1.- BAYFERROX 118 – O.F.S VERMELHO.

Tabla N°18. Corrección por absorción y humedad.

- Corrección por absorción para un m3:

material	kg	absorción	total
gravilla	994	13	1007
arena	750	10	760
agua	190	23	213

- Corrección por humedad para un m3:

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmedo	1.194	0.5
b	peso seco	1.176	0.462
c	a-b	0.018	0.038
% H	c/b	1.53%	7.60%

Como resultado de esta muestra se puede decir que el cono sufrió una pequeña disminución.

Tabla N° 19. Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	345
n°2	20	10	332
n°3	20	10	328
n°4	20	10	315
n°5	20	10	356
		Promedio	335

- Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento B.118 vermelho:

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
4% B. 118 vermelho	335
Diferencia %	2.33

Podemos concluir que la diferencia entre la resistencia a la compresión del hormigón patrón v/s hormigón con pigmento bayferrox 118 O.F.S. Vermelho varia en un 2,33 %, es decir, que la resistencia del hormigón con pigmento esta un 2,33% por debajo del hormigón patrón.

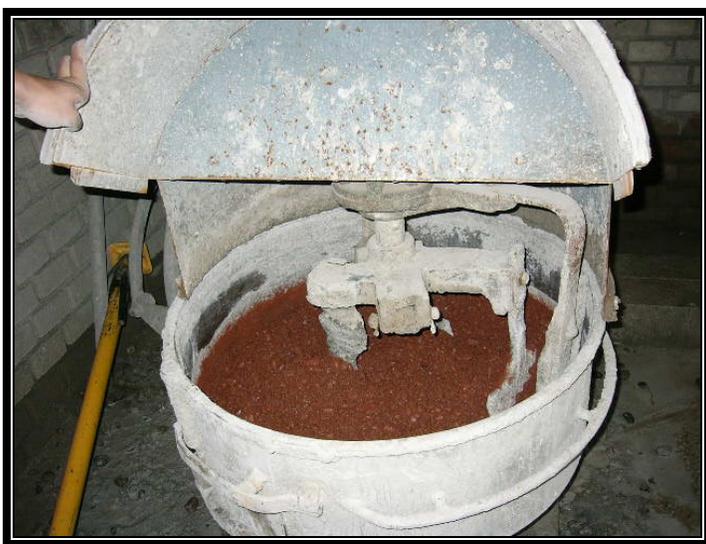


Foto N° 4. Dentro de la betonera se agrega la gravilla junto con el pigmento en polvo, para disolver futuras aglomeraciones que el pigmento puede presentar.



Foto N° 5. Muestra como varía la tonalidad del color después de haber agregado el cemento y el agua.



Foto N° 6. Hormigón con pigmento, puesto en las 5 probetas, después del vibrado.

7.1.2.- BAYFERROX 222 (PF) – O.F.S VERMELHO.

Tabla N°20. Corrección por absorción y humedad.

- Corrección por absorción para un m3:

material	kg	absorción	total
gravilla	994	13	1007
arena	750	10	760
agua	190	23	213

- Corrección por humedad para un m3:

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmeda	1	0.5
b	peso seco	0.984	0.45
c	a-b	0.016	0.05
% H	c/b	1.63%	11.10%

El resultado del cono fue muy similar al del pigmento anterior.

Tabla 21. Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	349
n°2	20	10	325
n°3	20	10	331
n°4	20	10	310
n°5	20	10	337
		Promedio	330

- Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento B.222 vermelho:

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
4% B. 222 vermelho	330
Diferencia %	3.79

La resistencia a la compresión del hormigón con pigmento de color (B. 222 vermelho) esta un 3.79 % por debajo de la resistencia del hormigón patrón.



Foto N° 7. Las 5 probetas recién sacadas de su saturación y antes de ser ensayadas.



Foto N° 8. Otra vista de la foto anterior, aquí se puede apreciar mejor la tonalidad del hormigón con el pigmento.



Foto N° 9. Momentos en que la probeta esta siendo ensayada en la máquina de compresión.

7.1.3.- BAYFERROX 745 ME – O.F.S VERMELHO.

Tabla N°22. Corrección por absorción y humedad.

- **Corrección por absorción para un m3:**

material	kg	absorción	total
gravilla	994	13	1007
arena	750	10	760
agua	190	23	213

- **Corrección por humedad para un m3:**

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmeda	0.502	0.516
b	peso seco	0.492	0.49
c	a-b	0.01	0.026
% H	c/b	2.03%	5.31%

El resultado del cono cayó dentro del margen especificado.

Tabla N° 23. Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	343
n°2	20	10	387
n°3	20	10	356
n°4	20	10	260
n°5	20	10	387
		Promedio	347

- **Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento B.745 ME vermelho:**

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
4% B. 745 vermelho	347
Diferencia %	-1.17

En este caso podemos decir que al apreciar los resultados se puede decir que la resistencia a la compresión del hormigón con pigmento está un 1.17% por encima del hormigón patrón.



Foto N° 10. Hormigón con pigmento 745.



Foto N° 11. Probeta esta siendo ensayada.

7.1.4.- AZUL LUZ 100 – BAYER AG.

Tabla N°24. Corrección por absorción y humedad.

- **Corrección por absorción para un m3:**

material	kg	absorción	total
gravilla	994	13	1007
arena	750	10	760
agua	190	23	213

- **Corrección por humedad para un m3**

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmeda	0.568	0.416
b	peso seco	0.562	0.396
c	a-b	0.006	0.02
% H	c/b	1.07%	5.10%

Se obtuvo un cono de 7 cm que esta dentro del rango esperado.

Tabla 25.- Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	295
n°2	20	10	337
n°3	20	10	362
n°4	20	10	337
n°5	20	10	325
		Promedio	331

- **Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento Azul luz 100:**

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
4% Azul luz 100	331
Diferencia %	3.50

Aquí la resistencia a la compresión del hormigón con pigmento azul luz 100 esta un 3.50% por debajo del hormigón patrón.



Foto N° 12. Muestra el pigmento Azul luz 100, antes de agregarse a la betonera a mezclarse con los áridos.



Foto N° 13. Aquí se agregó el pigmento Azul luz 100 mientras se mezclaba la gravilla con la arena.



Foto N° 14. Muestra el cambio de tonalidad cuando se le agrega el cemento.

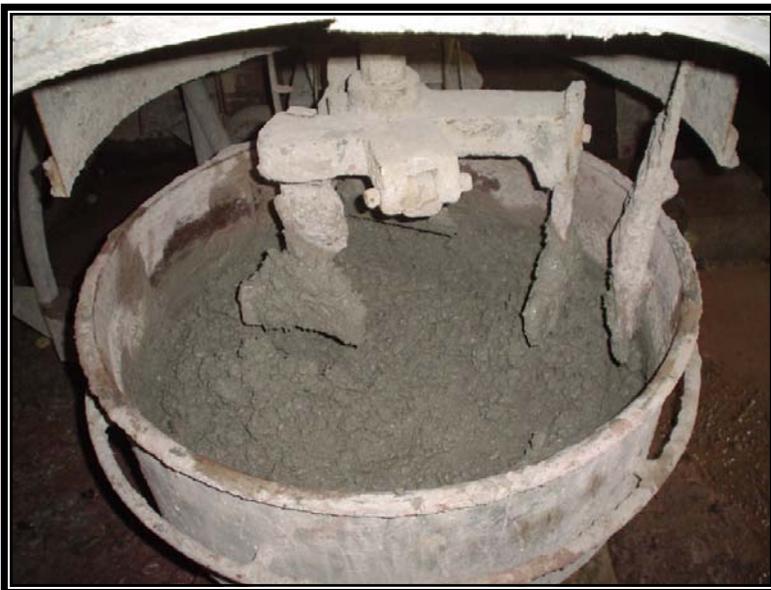


Foto N° 15. Muestra la mezcla cuando se le agregó el agua.

7.1.5.- BAYFERROX 732 M – O.F.S VERMELHO.

Tabla N°26. Corrección por absorción y humedad.

- Corrección por absorción para un m3:

material	kg	absorción	total
gravilla	994	13	1007
arena	750	10	760
agua	190	23	213

- Corrección por humedad para un m3:

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmeda	0.514	0.354
b	peso seco	0.506	0.336
c	a-b	0.008	0.018
% H	c/b	1.58%	5.40%

Alcanzó un cono 6.5 cm que esta dentro de lo permitido.

Tabla N° 27.- Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	330
n°2	20	10	310
n°3	20	10	336
n°4	20	10	350
n°5	20	10	375
		Promedio	340

- Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento B.732 M vermelho:

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
4% B. 732 vermelho	340
Diferencia %	0.87

Aquí la resistencia del hormigón con pigmento de color esta solo un 0.87% por debajo del hormigón sin pigmento.



Foto N° 16. Probeta de hormigón con pigmento 732.



Foto N° 17. Probeta de hormigón con pigmento 732.

7.1.6.- BAYFERROX 919 – H.F AMARELO.

Tabla N°28. Corrección por absorción y humedad.

- **Corrección por absorción para un m3:**

material	kg	absorción	total
gravilla	994	13	1007
arena	750	10	760
agua	190	23	213

- **Corrección por humedad para un m3:**

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmeda	0.633	0.48
b	peso seco	0.622	0.46
c	a-b	0.011	0.02
% H	c/b	1.77%	4.35%

El cono alcanza el margen superior de lo especificado.

Tabla N°29. Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	305
n°2	20	10	313
n°3	20	10	318
n°4	20	10	329
n°5	20	10	337
		Promedio	320

- **Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento B.919 amarelo:**

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
4% B. 919 amarelo	320
Diferencia %	6.71

En este caso el hormigón con color esta un 6.17% por debajo del hormigón sin color.



Foto N° 18. El hormigón con pigmento 919, está siendo ensayado, para medir su compresión.

7.1.7.- BAYFERROX 318 M PF – O.F.F PRETO.

Tabla N°30. Corrección por absorción y humedad.

- **Corrección por absorción para un m3:**

material	kg.	absorción	total
gravilla	994	13	1007
arena	750	10	760
agua	190	23	213

- **Corrección por humedad para un m3:**

		gravilla (kg.)	arena (kg.)
a	peso húmeda	0.6	0.37
b	peso seco	0.59	0.344
c	a-b	0.01	0.026
% H	c/b	1.69%	7.60%

El cono cumplió con lo establecido.

Tabla N° 31. Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	329
n°2	20	10	304
n°3	20	10	337
n°4	20	10	337
n°5	20	10	345
		Promedio	330

- **Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento B.318 Preto:**

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
4% B. 318 Preto	330
Diferencia %	3.79

La resistencia a la compresión del hormigón con color esta en un 3.79% por debajo del hormigón sin color.



Foto N°19. Hormigón con pigmento B. 318. Antes de ser refrentadas para sus posteriores ensayos.



Foto N°20. Refrentado de las probetas.



Foto N°21. Ensayo de las probetas.



Foto N°22. Muestra las cargas de la probeta, cuando esta siendo ensayada.

7.1.8.- BAYFERROX 918 – H.F AMARELO.

Tabla N°32. Corrección por absorción y humedad.

- **Corrección por absorción para un m3:**

Material	kg	absorción	total
Gravilla	994	13	1007
Arena	750	10	760
Agua	190	23	213

- **Corrección por humedad para un m3:**

		gravilla (kg)	arena (kg)
A	peso húmeda	0.615	0.571
B	peso seco	0.604	0.501
C	a-b	0.011	0.07
% H	c/b	1.82%	14%

El asentamiento del cono alcanzó justo con lo establecido en el límite inferior.

Tabla N° 33. Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	311
n°2	20	10	343
n°3	20	10	325
n°4	20	10	318
n°5	20	10	325
		Promedio	324

- **Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento B.918 amarelo:**

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
4% B. 918 amarelo	324
Diferencia %	5.54

En comparación a los otros colores, este es uno de los resultados de resistencia que está más por debajo del hormigón sin color con un 5.54%.



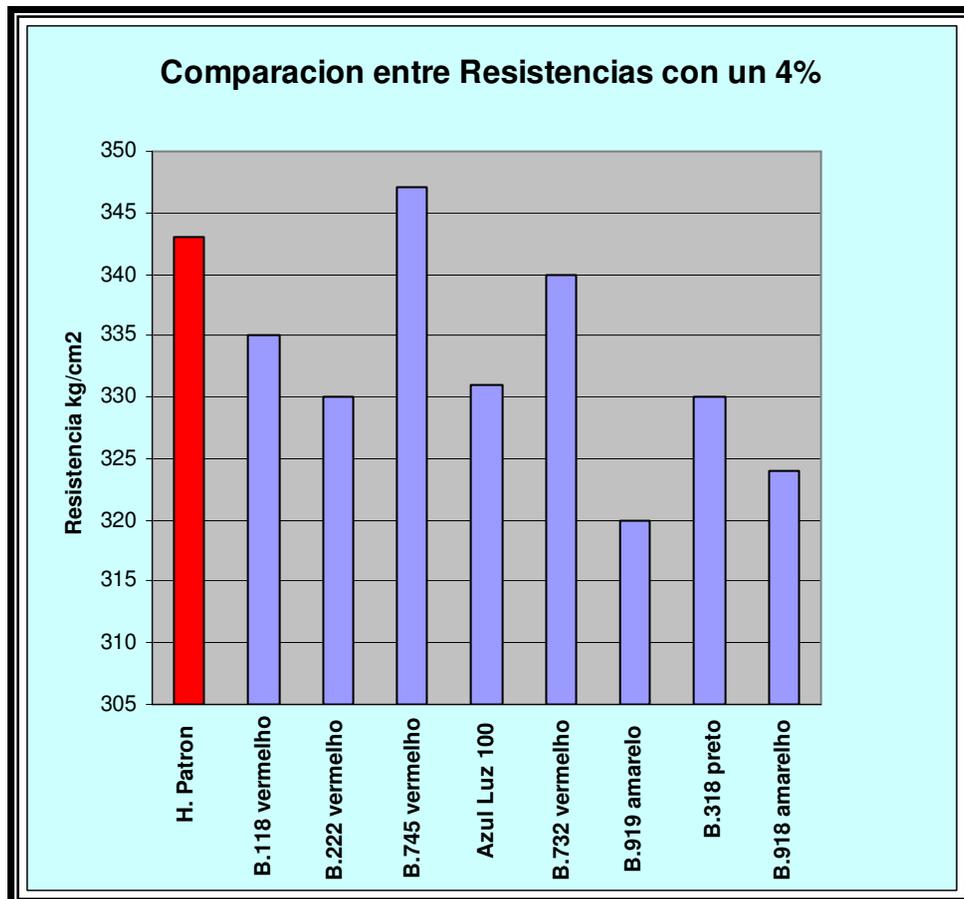
Foto N° 23. Las probetas de hormigón con pigmento 918, fueron sacadas de la piscina donde se estaban saturando y fueron medidas y pesadas.



Foto N° 24. Las probetas están siendo ensayadas a compresión.

7.1.9- COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

Gráfico N° 1. Muestra comparación de las resistencias entre el hormigón sin pigmento y los hormigones con pigmentos con un 4% de color por cantidad de cemento.



7.1.10.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS CON UN 4% DE PIGMENTO.

A continuación mostraremos un cuadro resumen de los resultados de los ensayos de las resistencias a compresión del hormigón con pigmento.

Tabla N° 34. Resumen de corrección por humedad para un m3:

Ítem	Corrección por humedad para un m3	
	gravilla %	arena %
Hormigón sin pigmento	2.36%	3.86%
B. 118 vermelho	1.53%	7.60%
B.222 vermelho	1.63%	11.10%
B.745 vermelho	2.03%	5.31%
Azul luz 100	1.07%	5.10%
B. 732 vermelho	1.58%	5.40%
B. 919 amarelo	1.77%	4.35%
B. 318 Preto	1.69%	7.60%
B. 918 amarelo	1.82%	14%

Tabla N°35. Resumen de resistencias y porcentajes de diferencias entre el hormigón sin color y los hormigones con color de un 4% de pigmento por cantidad de cemento:

Ítem	Resistencia kgf/cm2	Diferencia %
Hormigón sin pigmento	343	-
B. 118 vermelho	335	2,33
B.222 vermelho	330	3,79
B.745 vermelho	347	-1,17
Azul luz 100	331	3,5
B. 732 vermelho	340	0,87
B. 919 amarelo	320	6,71
B. 318 preto	330	3,79
B. 918 amarelo	324	5,54
Promedio entre los 8 colores	332,13	2,70

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

Al apreciar los resultados, se puede decir que en general las resistencias a la compresión disminuyeron, a excepción de un color el B. 745 vermelho que aumentó en un 1.17% sobre el hormigón patrón.

Si bien hubo diferencias entre los resultados, estos no son significativos a la hora de utilizarlos, en este caso lo recomendado, dependiendo del uso que se le quiera dar al hormigón, es bajar la relación agua/cemento, ya que la diferencia de los resultados a compresión es poca.

Se puede agregar también que en general el cono de Abraham cumplió con lo establecido de acuerdo a la dosificación, que correspondía a un cono entre 6 a 9 cm, De esta manera, la medida del asentamiento nos permite determinar principalmente la fluidez y la forma de derrumbamiento para apreciar la consistencia del hormigón.

7.2.- DOSIFICACIÓN CON 6% DE PIGMENTO POR CANTIDAD DE CEMENTO.

En esta etapa se realizó el mismo procedimiento que en el caso anterior, la diferencia es que la cantidad de pigmento aumenta por kilo de cemento, ya en este caso la cantidad de pigmento es 49 gr, utilizando un 6% de pigmento.

La dosificación del resto de los materiales permanece constante, es decir, los kilos de cemento, arena, gravilla y agua no varían, ya que lo que varía es la cantidad de pigmento, como en este caso que pasamos de un 3% a un 6%, ya que el porcentaje de este depende de la cantidad de cemento.

A continuación mostraremos los resultados de 3 colores a modo de comparación. El procedimiento para el cálculo de las resistencias se efectúa de igual manera que en la etapa anterior.

7.2.1.- BAYFERROX 118 – O.F.S VERMELHO.

Tabla N°36. Corrección por humedad.

Sólo se mostrará la corrección por humedad debido a que la corrección por absorción es la misma que en los ensayos anteriores.

- **Corrección por humedad para un m3:**

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmeda	0.673	0.567
b	peso seco	0.665	0.528
c	a-b	0.008	0.039
% H	c/b	1.20%	7.40%

Cumplió con el cono alcanzando justo el límite inferior correspondiente a 6 cm.

Tabla N° 37. Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	290
n°2	20	10	310
n°3	20	10	298
n°4	20	10	305
n°5	20	10	301
		Promedio	301

- **Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento B.118 vermelho:**

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
6% B. 118 vermelho	301
Diferencia %	12.24

Se puede apreciar en este caso que al aumentar la cantidad de pigmento a un 6% la resistencia disminuyo en un 12.24% de la resistencia del hormigón patrón.



Foto N° 25. Hormigón dentro de las probetas.

7.2.2.- BAYFERROX 222 (PF) – O.F.S VERMELHO.

Tabla N°38. Corrección por humedad.

- **Corrección por humedad para un m3:**

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmeda	0.551	0.553
b	peso seco	0.539	0.519
c	a-b	0.012	0.034
% H	c/b	2.23%	6.60%

El cono alcanza el límite superior.

Tabla N° 39. Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm2
n°1	20	10	280
n°2	20	10	250
n°3	20	10	270
n°4	20	10	320
n°5	20	10	300
		Promedio	284

- **Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento B.222 vermelho:**

ítem	Resistencia kg/cm2
Hormigón Patrón	343
6% B. 222 vermelho	284
Diferencia %	17.20

Aquí la resistencia bajo mucho más que en el caso anterior, llegando a un 17.20% por debajo de la resistencia a compresión del hormigón sin pigmento.



Foto N° 26. Mezcla entre el pigmento y la gravilla.



Foto N° 27. Instantes en que se le agregó la arena, y ya se puede apreciar el cambio de color.



Foto N° 28. Muestra el cambio que se produce de color cuando se le agregó el cemento.



Foto N° 29. Se muestra que al agregarle agua, el color se aparece, pero no en forma intensa.



Foto N° 30. Amasado del hormigón.

7.2.3.- AZUL LUZ 100 – BAYER AG.

Tabla N°40. Corrección por humedad.

- **Corrección por humedad para un m³:**

		gravilla (kg)	arena (kg)
a	peso húmeda	0.622	0.458
b	peso seco	0.615	0.431
c	a-b	0.007	0.027
% H	c/b	1.14%	6.30%

El asentamiento del cono cumplió con lo establecido.

Tabla N°41. Resistencia a los 28 días:

N°	Largo (cm)	Diam. (cm)	Resistencia kgf/cm²
n°1	20	10	309
n°2	20	10	310
n°3	20	10	298
n°4	20	10	320
n°5	20	10	322
		Promedio	312

- **Comparación entre los resultados del Hormigón patrón v/s Pigmento Azul luz 100:**

ítem	Resistencia kg/cm²
Hormigón Patrón	343
6% Azul luz 100	312
Diferencia %	9.04

Aquí la resistencia bajo solo en un 9.04% de la resistencia del hormigón sin color.



Foto N° 31. Pigmento Azul luz 100 antes de ser aplicada al hormigón.



Foto N° 32. Pigmento se mezcla con la gravilla.



Foto N° 33. Mezcla con la arena.



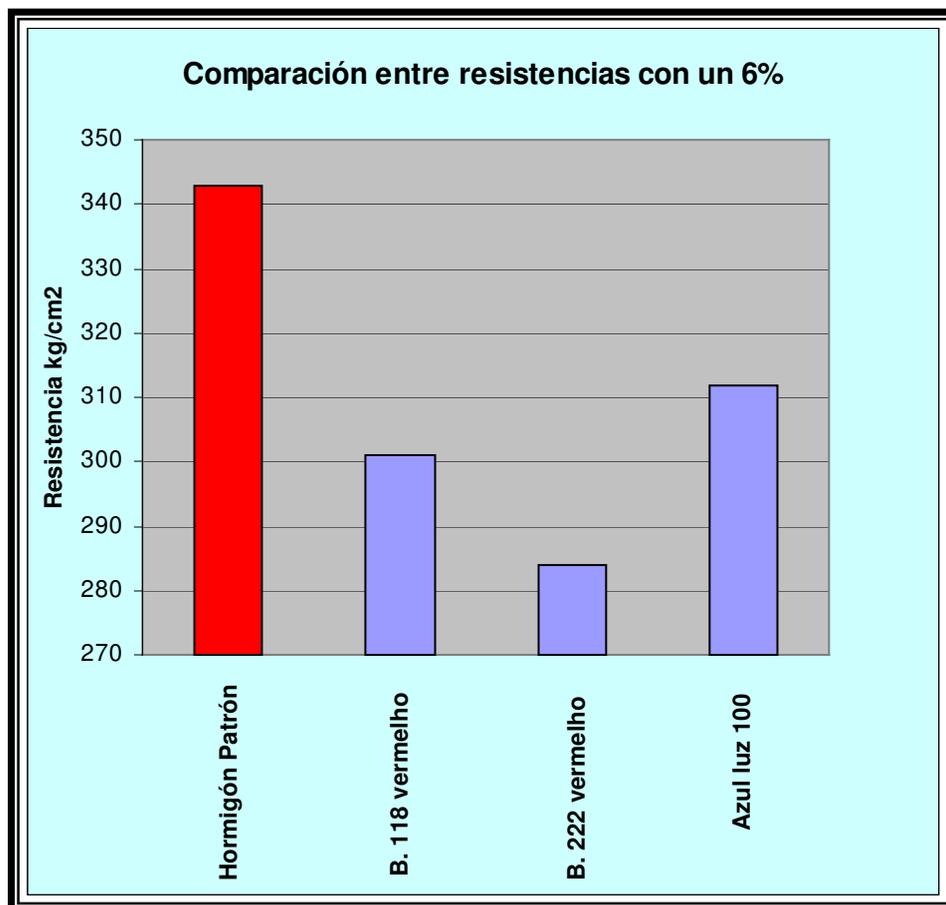
Foto N° 34. Hormigón en las probetas de PVC, después de haber sido vibrado.



Foto N° 35. Hormigón en las probetas de PVC, después de haber sido vibrado.

7.2.4- COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

Gráfico N° 2. Muestra comparación de las resistencias entre el hormigón sin pigmento y los hormigones con pigmentos con un 6% de color por cantidad de cemento.



7.2.5.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS CON UN 6% DE PIGMENTO.

A continuación mostraremos un resumen de los resultados de los ensayos de las resistencias a compresión del hormigón con pigmento:

Tabla N° 42. Resumen de corrección por humedad para un m3:

Ítem	Corrección por humedad para un m3	
	gravilla %	arena %
B. 118 vermelho	1.53%	7.60%
B.222 vermelho	1.63%	11.10%
Azul luz 100	1.07%	5.10%

Tabla N° 43. Resumen de resistencias y porcentajes de diferencias entre el hormigón sin color y los hormigones con colores con un 6% de pigmento por cantidad de cemento:

Ítem	Resistencia kg/cm2	Diferencia %
Hormigón sin pigmento	343	-
B. 118 vermelho	301	12,24
B.222 vermelho	284	17,2
Azul luz 100	312	9,04
Promedio de los 3 pigmentos	299	12,83

Se pudo apreciar que con respecto a los datos anteriores, la resistencia en este caso bajó con respecto a los ensayos anteriores.

Hubo una diferencia entre los primeros ensayos con los segundos en un 10.13 %, lo que significa que los resultados de los ensayos con una cantidad de pigmento de un 6%, bajan en comparación con una menor dosificación, como fue en este caso de un 4%.

Tabla N° 44. Resumen de las cantidades de pigmento, de acuerdo a las resistencias.

	Dosificación de pigmento	Promedio de las resistencias (kgf/cm²)	Promedio de las diferencias %
A	4 % de pigmento	332.13	2.70%
B	6 % de pigmento	299	12.83%

Se puede apreciar con respecto a los resultados, que al aumentar la cantidad de pigmento, disminuye su resistencia a la compresión, aumenta también el agua en el amasado y el asentamiento del cono cumple en ambos casos con lo establecido en la dosificación.

CAPÍTULO VIII: APLICACIÓN DEL USO DEL HORMIGÓN CON PIGMENTO.

El uso del hormigón de color tiene variadas aplicaciones y que cada día están siendo más utilizadas en Chile dentro del ámbito de la construcción y de la decoración, entre sus aplicaciones podemos encontrar: Terrazas, estacionamientos, gradas aceras publicas, plazas lomos de toro, atravieso peatonales, soleras, muros, rampas, etc.

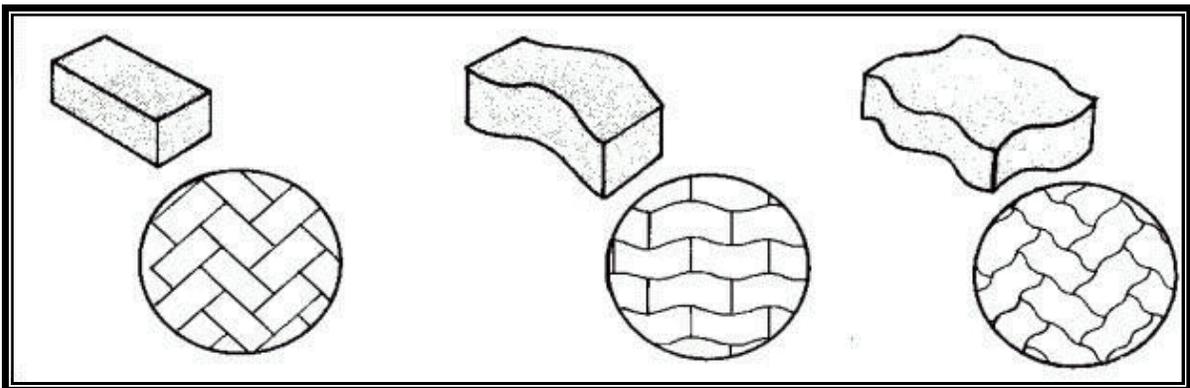
Con los cuales se han desarrollado proyectos tales como: Casas particulares, comercio, condominios, municipalidades, edificios, universidad, colegios, etc.

En este caso nuestra aplicación fue la fabricación de adoquines en forma rectangular con dos pigmentos solamente a modo de demostración.

8.1.- GENERALIDADES EN LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES.

Los adoquines se destinan a servir de pavimento. Su campo de aplicación es muy variado, desde una entrada vehicular hasta enlaces de carreteras, losas de estacionamiento de aviones, etc.

Su forma y espesores (6 – 8 - 10 cm), tienen relación directa con la resistencia de los pavimentos.



Las características más relevantes a considerar son:

- Aspecto: Deben presentar un aspecto compacto, sin fisuras, ni descascaramiento, saltaduras o cualquier otra irregularidad que pueda interferir con su correcta colocación. Sus aristas deben ser lisas y regulares en toda su longitud.
- Tolerancia dimensional: Las medidas de largo y ancho de los adoquines no deben variar en más de 2 mm con respecto a las medidas nominales fijadas por el fabricante. El espesor debe estar comprendido dentro de -2 mm y + 5 mm del espesor nominal.

- **Peso Unitario:** El peso unitario de los adoquines, secados al horno, no debe ser inferior a 2200 kg / m³.
- **Resistencia a la compresión:** Se definen dos niveles de resistencias características a la compresión: 350 y 450 kgf/cm². La selección de resistencia se hará conforme al diseño del pavimento.
- **Absorción:** El porcentaje máximo de absorción debe ser 7% como promedio y de 8% en adoquines individuales. Este requisito es aplicable en zonas donde se producen ciclos de hielo-deshielo.
- **Resistencia al Desgaste:** Presentan en general una buena resistencia al desgaste, sin embargo, en determinadas condiciones, se podrá exigir el cumplimiento de esta propiedad, aceptándose un desgaste de 15 cm³ / 50 cm², correspondiente a una pérdida de espesor inferior a 3 mm.

8.1.1.- ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Para efectuar este ensayo se requiere de una prensa con una capacidad de carga compatible con la resistencia de estos elementos, aplicada a una velocidad de aproximadamente 25 kg/cm² por segundo. Las muestras a ensayar se deben encontrar en estado de humedad en equilibrio con el ambiente, recomendándose un periodo de almacenamiento de no más de 4 días en laboratorio, con circulación natural de aire alrededor de las probetas.

Previo al ensayo es necesario tener determinada el área total y el área neta de cada adoquín. Se define como área neta aquella que queda comprendida entre los chaflanes. La probeta se ubica en la máquina de manera que su cara de desgaste quede en un plano horizontal y que sus ejes principales coincidan con las placas de la prensa.

La carga se aplica sin impactos y de manera uniforme hasta el límite en que la carga no pueda ser sostenida. La máxima lectura se anota en el registro. La resistencia a la compresión de cada unidad se calcula dividiendo la carga máxima anotada por el área neta del adoquín.

8.1.2.- CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA.

La resistencia característica se determinará con los resultados de los 5 ensayos realizados y su valor se define como el valor promedio menos 0,43 veces el rango de la muestra.

8.1.2.1.- Determinación de la absorción.

El adoquín se sumerge en agua a temperatura ambiente (15°C a 25°C) durante 24 horas. Luego se deja drenar libremente durante 1 minuto, procediéndose a secar sus superficies con un paño seco.

Se pesa el adoquín, obteniéndose el peso saturado Pn.

Posteriormente se coloca el adoquín en un horno a temperatura constante entre 100°C y 105°C, durante 24 horas a lo menos y hasta que dos pesadas sucesivas, con dos horas de intervalo, muestren una pérdida de peso no superior al 0,2 % entre una y otra. El peso así obtenido será el peso seco Ps. Se calcula el porcentaje de absorción de acuerdo a la expresión.

$$A (\%) = \frac{Pn - Ps}{Ps} \times 100$$

8.1.2.2.- Determinación de la resistencia al desgaste.

Se puede aplicar la norma ASTM C418-76 para determinación de resistencia al desgaste de hormigones por el método del chorro de arena.

Para su realización se requiere de un equipo especial de chorro de arena capaz de entregar una presión controlada de 7 kg/cm², provisto de una pistola terminada en una boquilla de 6.35 ± 0.02 mm de diámetro interior. Como abrasivo se utiliza arena de sílice de tamaño comprendido entre 0.85 y 0.60 mm.

Las muestras se ensayan en condición saturada y seca superficialmente.

El ensayo se realiza aplicando el chorro de arena perpendicular a la superficie de la muestra, a una distancia de 76 ± 2.5 mm de la boquilla, con una presión de aire de 60 ± 1 lb/pl²; el flujo de abrasivo debe ser de 600 ± 25 g/min. Y la duración del ensayo de 1 minuto.

El ensayo se repite en un mínimo de 8 puntos diferentes de la superficie.

La determinación del volumen del material extraído se hace llenando las cavidades con arcilla para modelar de densidad conocida.

El resultado se expresa como el volumen de material extraído por unidad de superficie, aproximado a $0.01 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$.

Se debe tener en cuenta con relación a los resultados, que en estos no fueron incorporados ningún tipo de aditivo.

8.2.- FABRICACIÓN DE ADOQUINES.

Para la fabricación se contó con 6 tipos de materiales: arena, gravilla, gravilla chancada, agua, cemento y pigmento.

Aquí solo se utilizó dos tipos de pigmentos, el bayferrox 118 y el bayferrox 222, ya que es solo para demostración. Se realizó el adoquín más común, el rectangular. Antes de comenzar a realizar la fabricación se procede a juntar los materiales que ya fueron nombrados.

Los adoquines con pigmento tienen dos caras, una superior que es la cara que lleva pigmento, la cual es la que queda a la vista, y la cara o parte inferior que es la que lleva el mayor espesor y material chancado, debido a que es la parte que queda expuesta al terreno.

Primero que nada se comienza con la fabricación de la cara superior del adoquín y luego con la segunda, cuando la primera ya está en el molde.

La mezcla es realizada según lo especifica el especialista y cumpliendo con las normas adecuadas de construcción.

La capa superior se realiza con medio saco de cemento melón extra, un cuarto de carretilla de arena y tres palas de gravilla, se realiza el amasado en la betonera, cuando está lista la mezcla se hecha en los moldes.

Hay que decir también que esta dosificación fue realizada por un especialista en el tema, el cual realizó la mezcla solo para una cantidad reducida de adoquines, debido a que es solo para demostración.

La capa inferior se realiza con medio saco de cemento melón extra, media carretilla de arena, 3 palas de gravilla y un cuarto de gravilla chancada, estos son mezclados y vaciados al molde cuando la capa superior ya se encuentra en el molde, se deja en una mesa vibradora, se enrasa y cuando este esta listo es sacado del molde y se deja para que fragüe.

8.2.1.- DIAGRAMAS DE ADOQUINES PARA PAVIMENTOS DE COLOR QUE SE OFRECEN EN EL MERCADO.

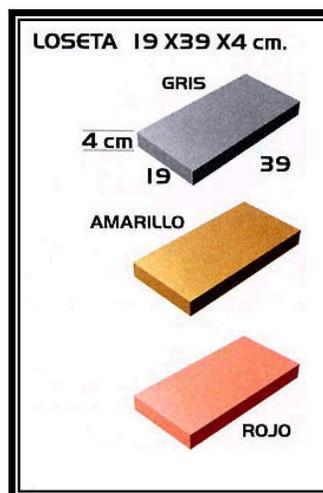
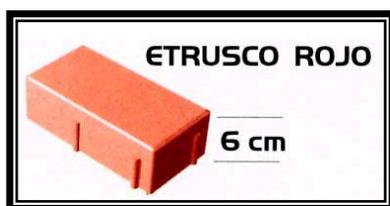
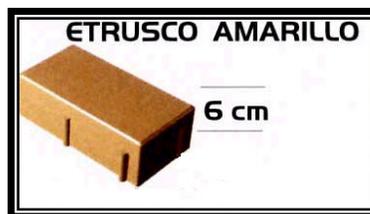
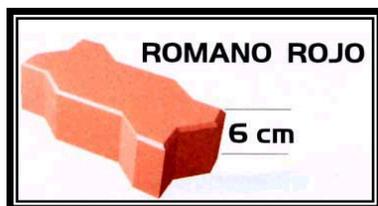
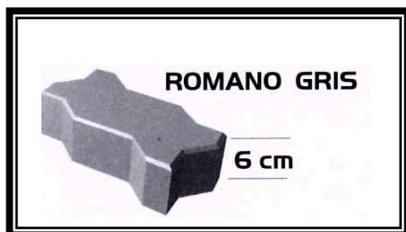




Foto N° 36. Adoquines, en acceso vehicular.



Foto N° 37. Baldosas con pigmentos de colores para acceso vehicular.



Foto N° 38. Adoquines con color.



Foto N° 39. Adoquines con colores rojos y amarillos en acceso vehicular.

8.3.- OTRAS APLICACIONES.

8.3.1.- BLOQUES DE HORMIGÓN.

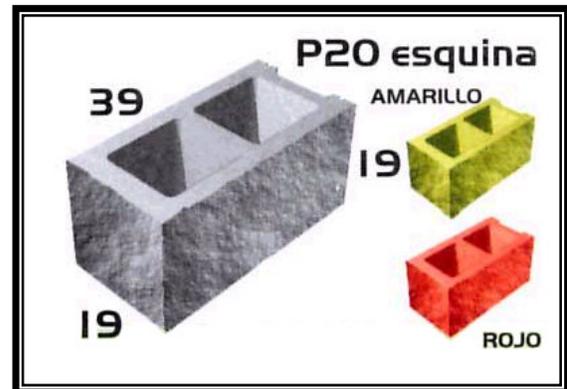
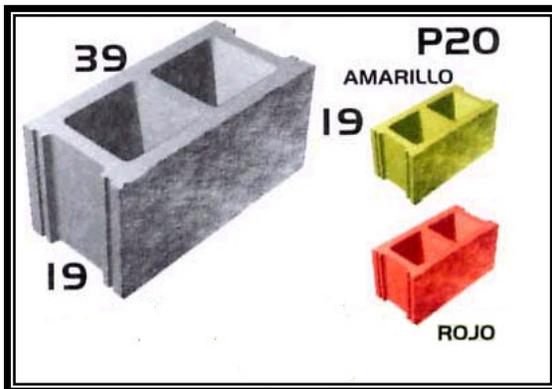


Foto N° 40. Uso de los bloques de hormigón para la fabricación de una vivienda.



Foto N° 41. Otro uso de los bloques de hormigón con pigmento.



Foto N° 42. Aplicación de los bloques con pigmento de hormigón, para la construcción de muros de contención.



Foto N° 43. También para la aplicación de muros de contención.

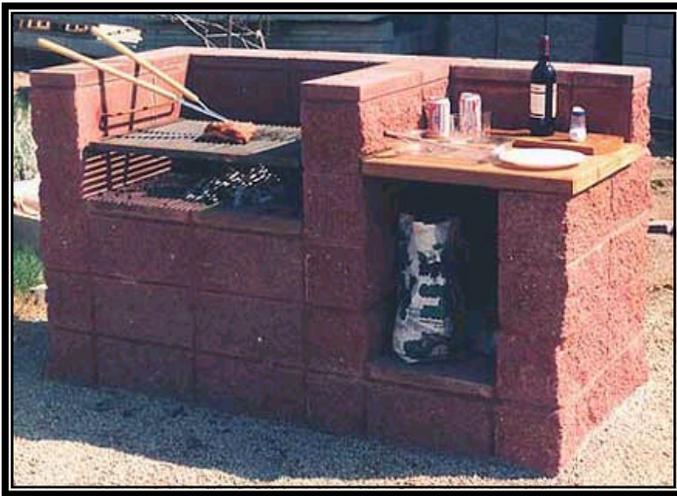


Foto N° 44. Otra aplicación.

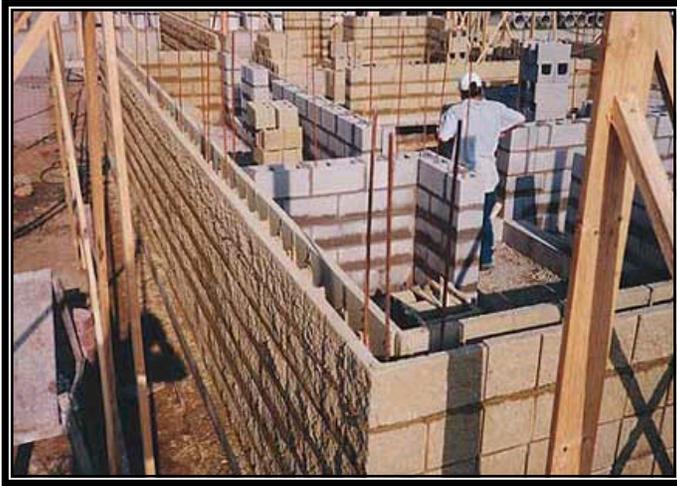


Foto N° 45. Modo de instalación de los bloques de hormigón coloreados.

8.3.2.- PIEZAS DE HORMIGÓN.

Las figuras que aparecen a continuación, muestra la aplicación de pigmento en el hormigón también en la fabricación de soleras, Para la aplicación de soleras.

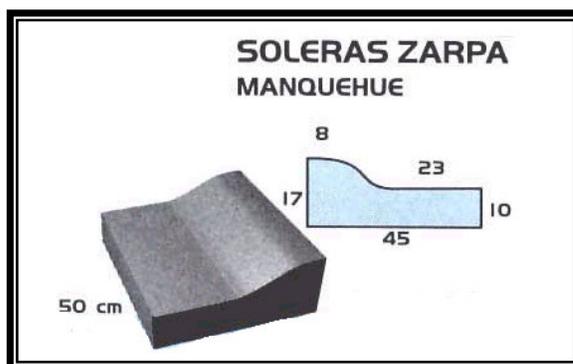
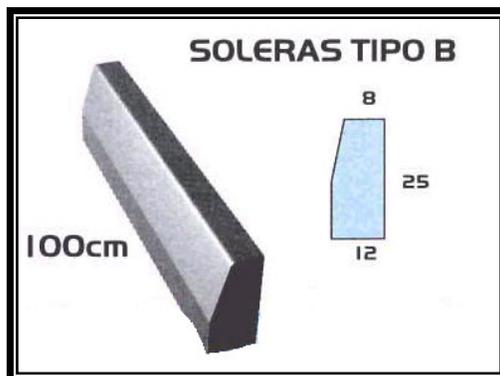
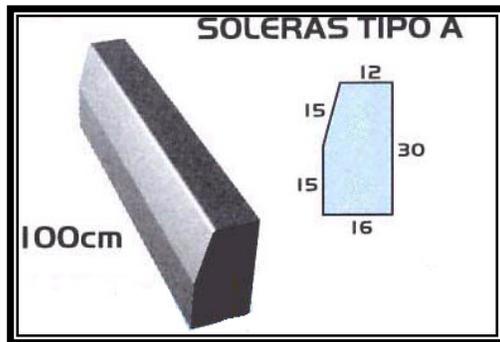




Foto N° 46. Aplicación del uso de las soleras.



Foto N° 47. Piezas de hormigón.

**8.4.- MÁS APLICACIONES DEL USO DEL HORMIGÓN COLOREADO,
DE USO ESTETICO, EN EL MUNDO.**

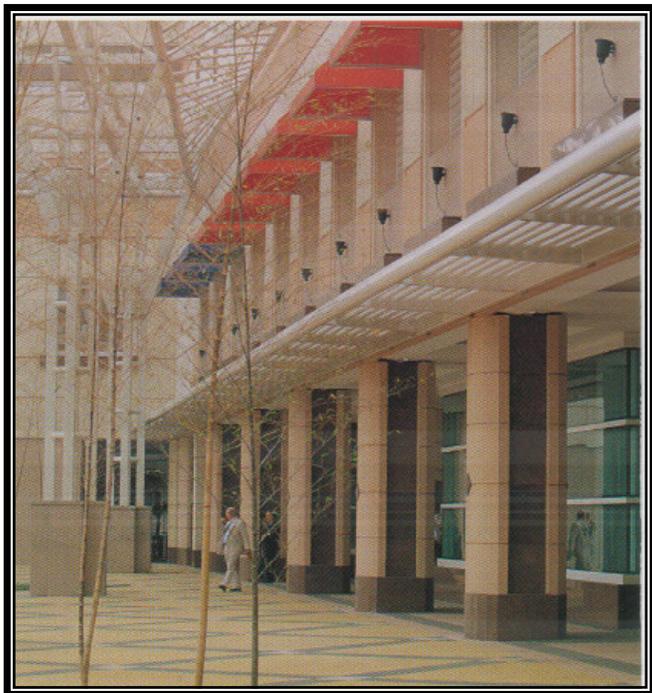


Foto N° 48. Shopping Anália Franco. Brasil.



Foto N° 49. Piso Intertravado. Brasil.



Foto N° 50. Poste de Telecomunicaciones. Brasil.



Foto N° 51. Piso Intertravado. Brasil.

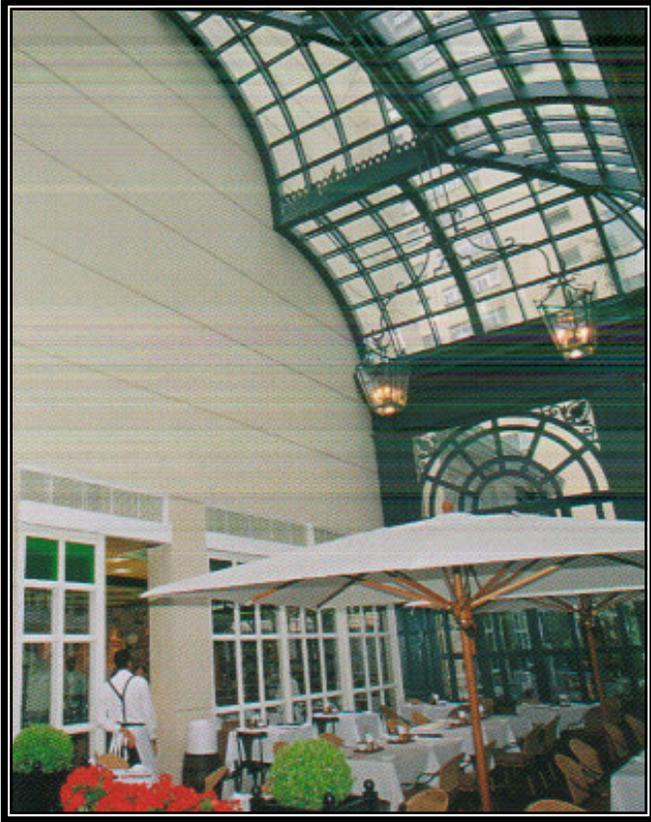


Foto N° 52. Shopping Higinópolis. Brasil.



Foto N° 53. Estacionamiento de Fábrica Bayer en Porto Feliz. Brasil.



Foto N° 54. Ruta en Blumenau. Brasil.

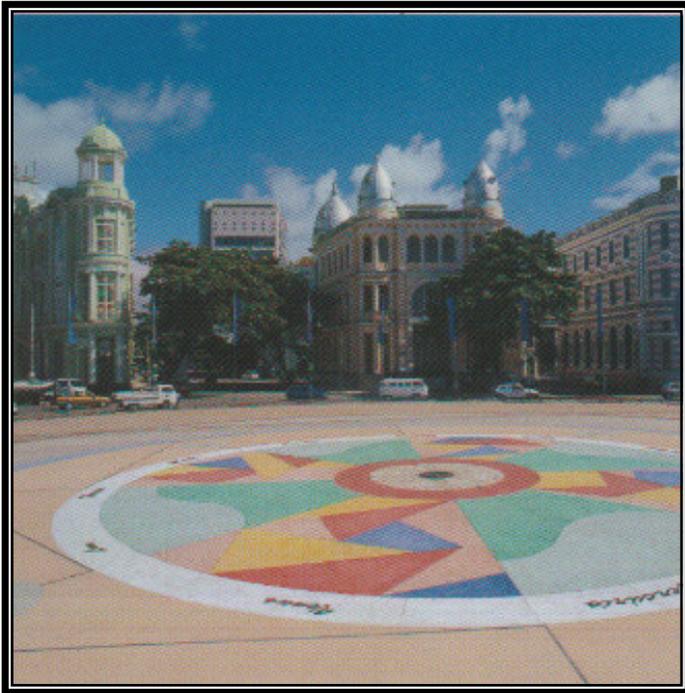


Foto N° 55. Plaza Marco Zero. Brasil.



Foto N° 56. Parque de diversiones Hopi Hari. Brasil.

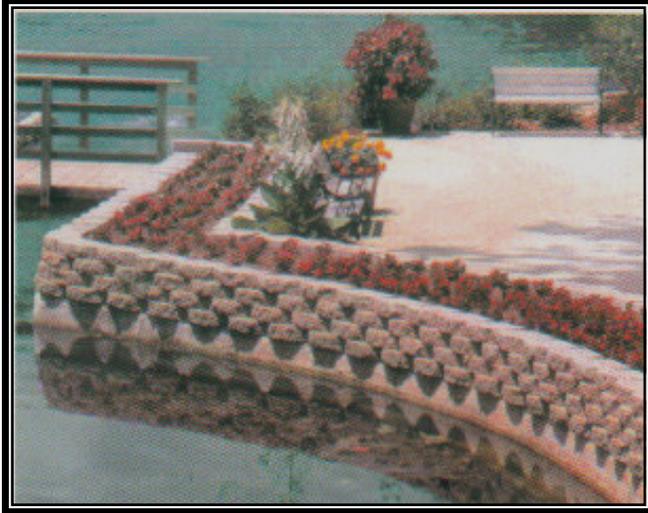


Foto N° 57. Muro de arrimo. Brasil.

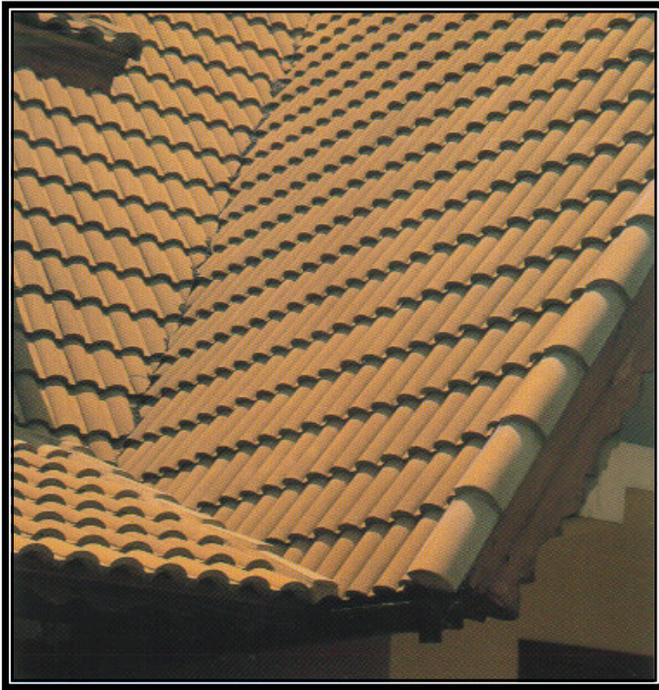


Foto N° 58. Teja de concreto. Brasil.



Foto N° 59. Parque de diversiones Hopi Hari. Brasil.



Foto N° 60. Piso Intertravado. Brasil.

CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE COSTOS.

9.1. - VALORES SEGÚN BAYER S.A. CHILE.

Los valores de los pigmentos pueden variar dependiendo por cantidades entre 1000 y 5000 kilos. Además se considerara el pigmento inorgánico verde que no fue considerado en los ensayos anteriores.

Tabla N° 45. Valores comerciales por la empresa Bayer SA. Valores por kilo.

Color	Cantidad de en USD + IVA	Valor por kilo en \$	Valor por kilo en U.F.	Cantidades por valor (kg)
Verdes GN, GNM y GX	5,25	\$ 3.624	0,211	1000 a 2000
Bayferrox 118 (vermelho)	2,25	\$ 1.553	0,090	1000 a 5000
Bayferrox 222 (vermelho)	2,25	\$ 1.553	0,090	1000 a 5000
Bayferrox 745 (vermelho)	2,15	\$ 1.484	0,086	1000 a 5000
Azul luz 100	75,5	\$ 52.110	3,030	1000 a 5000
Bayferrox 732 (vermelho)	1,75	\$ 1.208	0,070	1000 a 5000
Bayferrox 919 (amarelo)	1,9	\$ 1.311	0,076	1000 a 5000
Bayferrox 318 (preto)	1,8	\$ 1.242	0,072	1000 a 5000
Bayferrox 918 (amarelo)	1,8	\$ 1.242	0,072	1000 a 5000

A simple vista se puede apreciar que el precio del pigmento azul luz 100, esta muy por encima de los otros pigmentos, esto debido a que es el único pigmento resistente 100% a la intemperie y a los rayos UV. Es por esto que este pigmento no es utilizado en Chile debido a su alto costo. Según la empresa Bayer S.A. hay otros pigmentos de color azul más baratos en el mercado, pero que no son resistentes a la intemperie y rayos UV (ejemplo: azul Ultramar y ftalocianinas). Estos fallan y pueden tener serios reclamos.

9.1.1. - Dosificación para un m3:

Según la dosificación que se calculo en el laboratorio y según los cálculos realizados de la corrección del porcentaje de absorción de los áridos y la corrección del porcentaje de humedad, para un m3 de hormigón H-25 con un asentamiento del cono entre 6 – 9 cm y una relación agua / cemento de 0,47; nos da la siguiente tabla de resultados:

Tabla N° 46. Resumen dosificación para un m3 de hormigón H – 25.

Para un m3:

Material	kg
cemento	404
gravilla	994
arena	750
agua	190

Valores de los pigmentos para la cantidad de cemento mostrado en la tabla anterior.

Tabla N° 47. Valores para un m3 de hormigón, usando un 3 % de pigmento por cantidad de cemento.

Color	Cantidad de cemento para un m3 (kg)	3% de pigmento para un m3	Valor por kilo en \$	Total para un m3	Total en U.F.
Verdes GN, GNM y GX	404	12,1	\$ 3.624	\$ 43.917	2,55
Bayferrox 118	404	12,1	\$ 1.553	\$ 18.822	1,09
Bayferrox 222	404	12,1	\$ 1.553	\$ 18.822	1,09
Bayferrox 745	404	12,1	\$ 1.484	\$ 17.985	1,05
Azul luz 100	404	12,1	\$ 52.110	\$ 631.574	36,72
Bayferrox 732	404	12,1	\$ 1.208	\$ 14.639	0,85
Bayferrox 919	404	12,1	\$ 1.311	\$ 15.894	0,92
Bayferrox 318	404	12,1	\$ 1.242	\$ 15.057	0,88
Bayferrox 918	404	12,1	\$ 1.242	\$ 15.057	0,88

Tabla N° 48. Valores para un m3 de hormigón, usando un 4 % de pigmento por cantidad de cemento.

Color	Cantidad de cemento para un m3 (kg)	4% de pigmento para un m3	Valor por kilo en \$	Total para un m3	Total en U.F.
Verdes GN, GNM y GX	404	16,2	\$ 3.624	\$ 58.557	3,40
Bayferrox 118	404	16,2	\$ 1.553	\$ 25.096	1,46
Bayferrox 222	404	16,2	\$ 1.553	\$ 25.096	1,46
Bayferrox 745	404	16,2	\$ 1.484	\$ 23.980	1,39
Azul luz 100	404	16,2	\$ 52.110	\$ 842.099	48,96
Bayferrox 732	404	16,2	\$ 1.208	\$ 19.519	1,13
Bayferrox 919	404	16,2	\$ 1.311	\$ 21.192	1,23
Bayferrox 318	404	16,2	\$ 1.242	\$ 20.077	1,17
Bayferrox 918	404	16,2	\$ 1.242	\$ 20.077	1,17

Tabla N° 49. Valores para Un m3 de hormigón, usando un 5 % de pigmento por cantidad de cemento.

Color	Cantidad de cemento para un m3 (kg)	5% de pigmento para un m3	Valor por kilo en \$	Total para un m3	Total en U.F.
Verdes GN, GNM y GX	404	20,2	\$ 3.624	\$ 73.196	4,26
Bayferrox 118	404	20,2	\$ 1.553	\$ 31.370	1,82
Bayferrox 222	404	20,2	\$ 1.553	\$ 31.370	1,82
Bayferrox 745	404	20,2	\$ 1.484	\$ 29.975	1,74
Azul luz 100	404	20,2	\$ 52.110	\$ 1.052.624	61,20
Bayferrox 732	404	20,2	\$ 1.208	\$ 24.399	1,42
Bayferrox 919	404	20,2	\$ 1.311	\$ 26.490	1,54
Bayferrox 318	404	20,2	\$ 1.242	\$ 25.096	1,46
Bayferrox 918	404	20,2	\$ 1.242	\$ 25.096	1,46

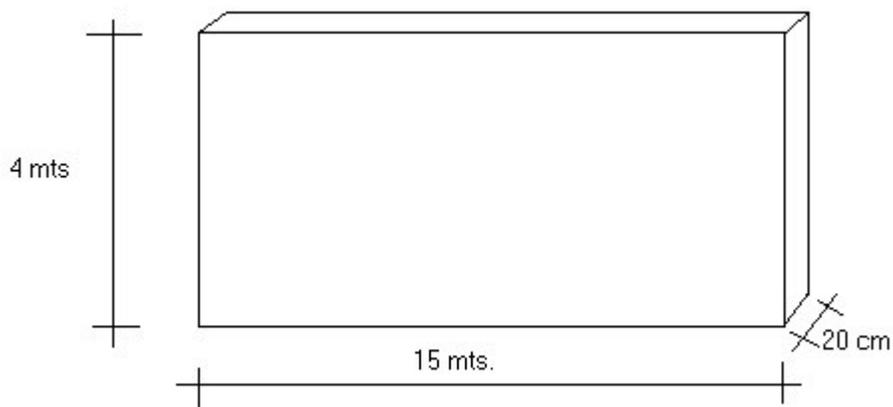
Tabla N° 50. Valores para Un m3 de hormigón, usando un 6 % de pigmento por cantidad de cemento.

Color	Cantidad de cemento para un m3 (kg)	6% de pigmento para un m3	Valor por kilo en \$	Total para un m3	Total en U.F.
Verdes GN, GNM y GX	404	24,2	\$ 3.624	\$ 87.835	5,11
Bayferrox 118	404	24,2	\$ 1.553	\$ 37.644	2,19
Bayferrox 222	404	24,2	\$ 1.553	\$ 37.644	2,19
Bayferrox 745	404	24,2	\$ 1.484	\$ 35.970	2,09
Azul luz 100	404	24,2	\$ 52.110	\$ 1.263.149	73,44
Bayferrox 732	404	24,2	\$ 1.208	\$ 29.278	1,70
Bayferrox 919	404	24,2	\$ 1.311	\$ 31.788	1,85
Bayferrox 318	404	24,2	\$ 1.242	\$ 30.115	1,75
Bayferrox 918	404	24,2	\$ 1.242	\$ 30.115	1,75

9.1.2.- COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UN MURO DE HORMIGÓN PINTADO Y UN MURO DE HORMIGÓN CON PIGMENTO.

La idea de realizar este análisis comparativo, es ver de alguna forma la diferencia económica entre un muro de hormigón pintado y un muro de hormigón con pigmento de color.

Para este caso utilizare como ejemplo un muro de hormigón de 15x 4x 0.2 mt, con dos manos de pintura por ambas caras.



9.1.2.2.- Análisis de costos del muro de hormigón pintado.

Área del muro:	$4 \times 15 =$	$60 \text{ m}^2.$
Bordes del muro:	$15 \times 0.2 =$	$3 \text{ m}^2.$
	$4 \times 0.2 \times 2 =$	$1.6 \text{ m}^2.$
Área total muro:		$64.6 \text{ m}^2.$
• Por 2 manos de pintura:		129.2 m2.
• Volumen hormigón muro H-25		12 m3.

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Pintura	m2	129.2	\$1250	\$161.500
Hormigón	m3	12	\$56500	\$678.000
Total				\$839.500

9.1.2.3.- Análisis de costos del muro de hormigón con pigmento de color.

Para los 12 m³ de hormigón H-25, mostraremos un ejemplo con 3 tipos de colores con 3 porcentajes de pigmento que son un 4%, 5% y 6%.

Según dosificación efectuada para los ensayos a compresión, nos arrojo como resultado para un m³ 404 kg de cemento, esto multiplicado por 12 nos da la cantidad total de hormigón para 12 m³.

$$404 \times 12 = 4848 \text{ kg}$$

A este resultado le calculamos el porcentaje de pigmento que se necesita para lograr el porcentaje de pigmento requerido.

9.1.2.3.1.- Con un 4% de pigmento, tenemos 193.2 kg de pigmento.

Color	Cantidad kg	Precio por kg	Total
Bayferrox 118 Vermelho	193.2	\$1,553	\$300,040
Bayferrox 732 Vermelho	193.2	\$1,208	\$233,386
Azul luz 100	193.2	\$52,110	\$10,067,652

Tabla N° 51.- Muro de hormigón de 4 x 15 mts con Bayferrox 118 incorporado al hormigón.

Ítem	Unidad	Cantidad kg	Precio unitario	Total
Bayferrox 118 Vermelho	kg	193.2	\$1,553	\$300,040
Hormigón H-25	m3	12	\$56,500	\$678,000
Total muro de Hormigón				\$978,040

Tabla N° 52.- Muro de hormigón de 4 x 15 mts con Bayferrox 732 incorporado al hormigón.

Ítem	Unidad	Cantidad kg	Precio unitario	Total
Bayferrox 732 Vermelho	kg	193.2	\$1,208	\$233,386
Hormigón H-25	m3	12	\$56,500	\$678,000
Total muro de Hormigón				\$911,386

Tabla N° 53.- Muro de hormigón de 4 x 15 mts con Azul luz 100 incorporado al hormigón.

Ítem	Unidad	Cantidad kg	Precio unitario	Total
Azul luz 100	kg	193.2	\$52,110	\$10,067,652
Hormigón H-25	m3	12	\$56,500	\$678,000
Total muro de Hormigón				\$10,745,652

Tabla N° 54.- Cuadro resumen entre los costos del muro de hormigón pintado y el muro de hormigón con pigmento.

Ítem	Total Precio
Hormigón con 2 manos de pintura	\$ 839.500
Hormigón con B.118 vermelho	\$978.040
Hormigón con B. 732 vermelho	\$911.386
Hormigón con Azul luz 100	\$10.745.652

9.1.2.3.2 - Con un 5% de pigmento, tenemos 242,4 kg de pigmento.

Color	Cantidad kg	Precio por kg	Total
Bayferrox 118 Vermelho	242,4	\$1.553	\$376.447
Bayferrox 732 Vermelho	242,4	\$1.208	\$292.819
Azul luz 100	242,4	\$52.110	\$12.631.464

Tabla N° 55.- Muro de hormigón de 4 x 15 mts con Bayferrox 118 incorporado al hormigón.

Ítem	Unidad	Cantidad kg	Precio unitario	Total
Bayferrox 118 Vermelho	kg	242,4	\$1.553	\$376.447
Hormigón H-25	m3	12	\$56.500	\$678.000
Total muro de Hormigón				\$1.054.447

Tabla N° 56.- Muro de hormigón de 4 x 15 mts con Bayferrox 732 incorporado al hormigón.

Ítem	Unidad	Cantidad kg	Precio unitario	Total
Bayferrox 732 Vermelho	kg	242,4	\$1.208	\$292.819
Hormigón H-25	m3	12	\$56.500	\$678.000
Total muro de Hormigón				\$970.819

Tabla N° 57.- Muro de hormigón de 4 x 15 mts con Azul luz 100 incorporado al hormigón.

Ítem	Unidad	Cantidad kg	Precio unitario	Total
Azul luz 100	kg	242,2	\$52.110	\$12.621.042
Hormigón H-25	m3	12	\$56.500	\$678.000
Total muro de Hormigón				\$13.299.042

Tabla N° 58.- Cuadro resumen entre los costos del muro de hormigón pintado y el muro de hormigón con pigmento.

Ítem	Total Precio
Hormigón con 2 manos de pintura	\$ 839.500
Hormigón con B.118 vermelho	\$1.054.447
Hormigón con B. 732 vermelho	\$970.819
Hormigón con Azul luz 100	\$13.299.042

9.1.2.3.3 - Con un 6% de pigmento, tenemos 242,4 kg de pigmento.

Color	Cantidad kg	Precio por kg	Total
Bayferrox 118 Vermelho	290,88	\$1.553	\$451.737
Bayferrox 732 Vermelho	290,88	\$1.208	\$351.383
Azul luz 100	290,88	\$52.110	\$15.157.757

Tabla N° 59.- Muro de hormigón de 4 x 15 mts con Bayferrox 118 incorporado al hormigón.

Ítem	Unidad	Cantidad kg	Precio unitario	Total
Bayferrox 118 Vermelho	kg	290,88	\$1.553	\$451.737
Hormigón H-25	m3	12	\$56.500	\$678.000
Total muro de Hormigón				\$1.129.737

Tabla N° 60.- Muro de hormigón de 4 x 15 mts con Bayferrox 732 incorporado al hormigón.

Ítem	Unidad	Cantidad kg	Precio unitario	Total
Bayferrox 732 Vermelho	kg	290,88	\$1.208	\$351.383
Hormigón H-25	m3	12	\$56.500	\$678.000
Total muro de Hormigón				\$1.029.383

Tabla N° 61.- Muro de hormigón de 4 x 15 mts con Azul luz 100 incorporado al hormigón.

Ítem	Unidad	Cantidad kg	Precio unitario	Total
Azul luz 100	kg	290,88	\$52.110	\$15.157.757
Hormigón H-25	m3	12	\$56.500	\$678.000
Total muro de Hormigón				\$15.835.757

Tabla N° 62.- Cuadro resumen entre los costos del muro de hormigón pintado y el muro de hormigón con pigmento.

Ítem	Total Precio
Hormigón con 2 manos de pintura	\$ 839.500
Hormigón con B.118 vermelho	\$1.129.737
Hormigón con B. 732 vermelho	\$1.029.383
Hormigón con Azul luz 100	\$15.835.757

Tabla N° 63.- Resumen del hormigón con pigmento de color, según porcentaje.

Ítem	Costo con 4%	Costo con 5%	Costo con 6%
Hormigón con B.118 vermelho	\$ 978.040	\$ 1.054.447	\$1.129.737
Hormigón con B. 732 vermelho	\$ 911.386	\$ 970.819	\$1.029.383
Hormigón con Azul luz 100	\$ 10.745.652	\$ 13.299.042	\$15.835.757

Costo muro de hormigón con 2 manos de pintura:	\$ 839.500.-
---	---------------------

A simple vista se puede observar que la adición de pigmento al hormigón, encarece su costo, en el caso de usar un 4% de pigmento por cantidad de cemento, el costo aumenta en un casi 11% en promedio entre el Bayferrox 118 y el Bayferrox 732, por sobre el hormigón simplemente pintado. La gran ventaja del método de colorear el hormigón es su larga duración, y permanencia del color en el tiempo.

El análisis del hormigón con pigmento Azul luz 100, no se hará debido a que solo se agrego al estudio en forma de comparación con los otros dos colores; además en unos capítulos atrás se mencionó que el uso del pigmento verde y azul no eran muy utilizados por su alto costo, solo se utilizan para cosas de decoración pequeñas.

Para el caso de usar un 5% de pigmento por cantidad de cemento, aquí el costo aumento en promedio entre los dos pigmentos en un 17%. Esto aproximado son casi \$350.000.

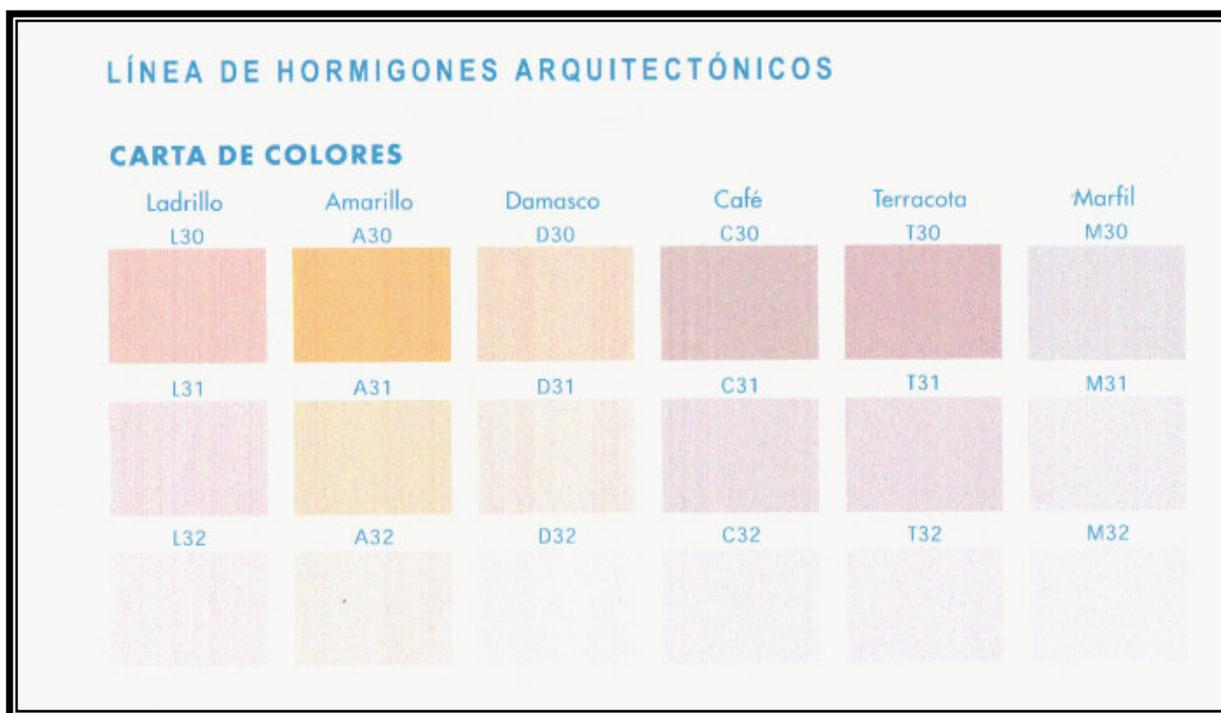
En el caso de utilizar un 6% de pigmento por cantidad de cemento, el costo aumento en un 22%, lo que en costo es un \$ 479.021 en promedio.

ANEXO A

Como ya se dijo anteriormente, en Chile cada día está siendo más utilizado el uso del hormigón coloreado, por lo tanto la empresa Premix que es una de las empresas chilenas de hormigón prefabricado, lo cual, a contar del año 2004 amplió su rango de productos, ofreciendo hormigón prefabricado con pigmento de color.

Por el momento solo ofrecen estos productos en la ciudad de Santiago, lo cual el valor por metro m3 de estos dependen de algunos factores como: ubicación de la obra, color del pigmento, resistencia, cantidad, etc. Por lo tanto los precios se analizan en obra, pero el costo aproximado de hormigón con pigmento por m3, varía entre 3,8 – 5 U.F.

A continuación se muestra la carta de colores que ofrece la empresa Premix.



CONCLUSION

- El estudio revela, que los hormigones coloreados fabricados con materiales chilenos, presentan un comportamiento similar a otros hormigones ensayados en otros países, es decir, no disminuyen mayormente la resistencia a la compresión. Esto permite afirmar que los hormigones realizados, no presentan variaciones de las que pueda desprenderse que exista un riesgo por su utilización, ya que dichos resultados revelan una baja incidencia de la adición de pigmento en la resistencia, ajustándose dichos valores a los márgenes establecidos por las normas.
- Con respecto a los resultados mostrados en los ensayos, se puede concluir que la adición de pigmento en los hormigones con un 4% hubo un promedio en la resistencia de 2.7% lo que produce una disminución aproximada de 6.75 kg/cm², lo que se traduce en que la resistencia a la compresión puede llegar a 243 kg/cm², con respecto a la resistencia de un H-25.

Cuando se utilizó un 6%, el promedio de la resistencia disminuyó en un 12.83%, que corresponde a 32.1 kg/cm² con respecto a un H-25, lo que produce que el hormigón con color disminuya su resistencia a 217.9 kg/cm² aproximadamente.

Se puede añadir además que en la fabricación de los hormigones no hubo adición de aditivos que ayudaran a una mayor resistencia.
- Tanto el cemento como los áridos influyen notablemente en la intensidad del color, mientras más gris sea el color del cemento, más oscuro y opaco será el resultado de la muestra con pigmento. Lo mismo sucede con el caso de los áridos, en que más oscuros sean, menos intenso será la tonalidad del hormigón.

- Cuando se aumento de la cantidad de pigmento en el hormigón, se pudo apreciar que la cantidad de agua que absorbió la masa fue mayor.
- También influye en las tonalidades finales de cada color, el tipo de moldaje, vibrado y desmoldante utilizado.
- Uno de sus ventajas es que se produce una coloración estable.
- Las estructuras no requieren de terminación de pinturas, ni morteros coloreados.
- Se produce una mayor rapidez de la obra, dado la eliminación de faenas de terminación.
- El hormigón con pigmento ha tenido un gran incremento dentro de la construcción, a modo de reducir los costos y mejorar o innovar la estética de una obra, es por esto que la empresa especialista en la venta de hormigón prefabricado, Premix, ha ampliado sus productos, con la venta de hormigón con pigmentos de color. A pesar de que solo se fabrica en Santiago, esto nos demuestra que el hormigón con color, esta cada día siendo más utilizado.
- Hay que tener muy en cuenta la calidad del pigmento, ya que esta afecta directamente sobre la calidad del hormigón y la duración del color. Por lo tanto es preferible usar aquellos pigmentos de buena calidad y que sean certificados por el fabricante.
- Por último se puede decir que la producción de hormigón con color requiere de experiencia. Un buen trabajo es el resultado de las acciones de un bien coordinado equipo conformado por el mandante, el arquitecto o ingeniero y el contratista. Mientras que el equipo de diseño del proyecto es el responsable de crear un diseño estético y de definir

claramente los requisitos técnicos, el contratista, por su parte, es el responsable de lograr el producto final.

BIBLIOGRAFÍA

- **Prof. José Manuel Pérez Luzardo. “Color y textura en el hormigón”.** Instituto técnico de materiales y construcciones. Cuadernos Intemac. Año 1991. 4ta. Edición. Pág. 37.
- **“Adoquines”.** Pág. 7.
www.ucn.cl/Facultadesinstitutos/laboratorios/adoquinm2.htm
- **“Aditivos”.** Pág. 20.
www.ucn/Facultadesinstitutos/laboratorio/miscelaneosT9.htm
- **Hugo Barrera V., Ing. Civil, Prof. Depto Ing. OO.CC. U. De Santiago de Chile, Alejandra Anabalon G., Ing. Civil en Obras Civiles y Samuel Gutiérrez H., Ing. Civil en Obras Civiles. Tesis: “Hormigones Decorativos”.** Pág. 140.
- **CIATH – Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón. Capítulo V. “Estudio de dosificaciones de hormigones blancos y de color con áridos blancos calcáreos y cemento blanco estructural.** Pág. 15.
www.gtwing.efn.uncor.edu/dep/estruct/ciath/doshocol.pdf
- www.aconcret.cl/bloqueshormigon.htm. Pág. 25.
- **“Hormigón color Premix “.** www.premix.cl. Pág. 5.
- **“Pigmentos inorgánicos” óxido de hierro.** Bayferrox. Catálogos Bayer Chemicals. Pág. 6.

- **“Hormigón – Requisitos generales”**. Norma Chilena Oficial. NCh 170. Pág. 54.
- **“Áridos para morteros y hormigones – Determinación del material fino menor a 0.080 mm”**. Norma Chilena Oficial NCh 1223. Pág. 4
- **“Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas”**. Norma Chilena Oficial NCh 1239. Pág. 7.
- **“Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría”**. Norma Chilena Oficial NCh 165. Pág. 19.
- **“Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales”**. Norma Chilena Oficial NCh 163. Pág. 22.
- **“Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente”**. Norma Chilena Oficial NCh 1113. Pág. 8.
- **“Determinación colorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones”**. Norma Chilena Oficial NCh 166. Pág. 3.
- **“El color en el concreto: belleza y durabilidad”**. Construcción y Tecnología, Nick Paris y Michael Chusid. Pág. 57.
- **Monograph CSI** (Construction Specifications Institute), 1974, “Cast-In Place Architectural Concrete”. Pág. 36.

- www.archprecast.org. Pág. 9.