

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



**“INVESTIGACIÓN TÉCNICA DEL AÑIL COMO COLORANTE DE CONCRETO Y SU
APLICACIÓN EN BLOQUES, ADOQUINES Y PAVIMENTOS DE CONCRETO CON
BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO”**

PRESENTADO POR
VILLATORO DUEÑAS, BENJAMÍN ERNESTO
VILLATORO TORRES, ELMER ALIRIO
ZAVALA FLORES, ROMÁN

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN MIGUEL, ABRIL DE 2005



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**“INVESTIGACIÓN TÉCNICA DEL AÑIL COMO COLORANTE DE CONCRETO Y SU
APLICACIÓN EN BLOQUES, ADOQUINES Y PAVIMENTOS DE CONCRETO CON
BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO”**

PRESENTADO POR
VILLATORO DUEÑAS, BENJAMÍN ERNESTO
VILLATORO TORRES, ELMER ALIRIO
ZAVALA FLORES, ROMÁN

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

COORDINADOR DE PROYECTOS DE GRADUACIÓN
ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS

DOCENTE DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
ARQ. SANDRA URRUTIA DE ORELLANA

REPRESENTANTE UNIDAD DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CEMENTO DE EL SALVADOR.

CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN MIGUEL, ABRIL DE 2005.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA:

Dra. María Isabel Rodríguez

VICERRECTOR ACADÉMICO:

Ing. Joaquín Orlando Machuca Gómez

SECRETARIA GENERAL:

Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO INTERINO:

Ing. Juan Francisco Mármol Canjura

SECRETARIA:

Licda. Lourdes Elizabeth Prudencio Coreas

JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

Ing. Oscar Reynaldo Lazo Larín

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE DIRECTOR:

ARQ. SANDRA URRUTIA DE ORELLANA

REPRESENTANTE UNIDAD DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CEMENTO DE EL SALVADOR

COORDINADOR DE PROYECTOS DE GRADUACIÓN:

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS

RECONOCIMIENTOS.

Por el momento, la culminación de una de nuestras metas en la vida ha llegado; y existe un camino por seguir pero que con la ayuda de ese Majestuoso Ser que nos ha permitido llegar hasta aquí, estaremos confiados. ! Gracias Rey de Reyes y Señor de Señores.¡

Agradecemos especialmente a nuestra Alma Mater la **Universidad de El Salvador - Facultad Multidisciplinaria Oriental** por haber permitido nuestra formación profesional en el ámbito de la Ingeniería Civil.

Les estamos muy agradecidos también:

A todo el **Personal Docente del Departamento de Ingeniería y Arquitectura**; por ser ellos los actores principales encargados de nuestra formación.

A la **Unidad de Pavimentos de Concreto de Cemento de El Salvador (CESSA)**:

Ing. Mario Alejandro Avelar, Ing. Carlos Arévalo, Ing. Adalberto Henríquez y Arq. Sandra de Orellana; por sus colaboraciones de asesoría y el haber compartido con nosotros su gran experiencia, sin más interés alguno que contribuir al fomento de la investigación en nuestro querido país.

A la **Concretera Salvadoreña** y su **Departamento de Control de Calidad** por demostrarnos que el conocimiento está para descubrirlo y con esfuerzo y dedicación logramos desarrollarlo. Agradecemos especialmente a: Ing. Cabrera, Ing. Guillermo Flores, Ing. Salvador, a Isaías, Héctor, Elías y Don Robert.

A nuestros **Compañeros de Estudio** por hacernos sentir en fraternidad, hermandad y por haber compartido experiencias muy bonitas que sin lugar a dudas quedaron guardadas en nuestros corazones.

Al **Ing. Rafael Alejandro González del ISCYC** por todo el tiempo y dedicación que nos dedico para la investigación.

A la **Lic. Rhina Toledo** y al **Lic. Castillo**, ambos de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad por habernos ayudado con sus con las instalaciones del laboratorio y habernos orientado durante todos los análisis químicos de nuestra investigación.

A la Ingeniero **Lesly Mendoza** de la Universidad de El Salvador por habernos proporcionado tan valiosa información sobre concreto y al Ing. Landaverde por habernos orientado.

Por ultimo queremos agradecer a las personas que son parte de las primeras en nuestras vidas y a las cuales les debemos y dedicamos este triunfo: “**Nuestras Familias**” gracias por su apoyo incondicional ante todos los desafíos y acontecimientos por los cuales hemos pasado.

Porque la Sabiduría es heredada de Dios, búsquele y se gozará de ella.....

HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA

DEDICATORIA

Es para mí un placer, el poder dedicar este trabajo de graduación a una mujer que durante todos mis años de existencia me ha enseñado que en el camino de la vida la mejor y única dirección esta en la orientación de nuestro creador, que nos instruye, dirige y mas que todo nos brinda su hermosa sabiduría al igual que hizo con el Rey Salomón. Mamá, gracias por todo ese amor y dedicación para sus hijos, gracias por demostrarnos y ejemplificarnos la razón de vivir en santidad, humildad y lucha continua, en fin gracias por ser **Carmen Flores Romero.....**mi madre, la mejor de las madres.

Agradezco muy infinitamente a mi padre, **Román Zavala Alfaro** por estar siempre pendiente de mí y por estar a mi lado en momentos difíciles que he tenido que atravesar y en los cuales ha sabido aconsejarme, Papá este triunfo es tuyo.

Muchas gracias **Universidad de El Salvador** por haber permitido mi desarrollo y formación académica profesional; gracias **Unidad de Pavimentos de CESSA** que sin ustedes no hubiéramos hecho este trabajo; gracias a **Concretera Salvadoreña**, que sin conocernos nos abrieron sus puertas, nos brindaron su confianza y con mucha amabilidad nos transmitieron sus conocimientos.

Gracias a mis compañeros de tesis **Alirio y Benjamín**, pues juntos hemos alcanzado esta meta, gracias por soportarme hermanos.

Gracias a ti, Mi Amor, **Melissa**; por haberme apoyado y animado en esos momentos de angustia y desilusión en los cuales me levantaste los ánimos y me brindaste tu ayuda incondicionalmente.

Doña **Mirna**, se que esta en el paraíso y desde ahí ha observado el triunfo de su hijo por lo que estoy seguro compartimos la alegría. Vos también, mi amigo y compañero **Jansen**, que aunque ya no estas en este mundo te considero un amigo de verdad.

Gracias a todas la personas que directa e indirectamente colaboraron en el desarrollo de este trabajo de graduación y a los futuros lectores.....

Román Zavala

DEDICATORIA

Agradezco y dedico de todo corazón mi trabajo a todas las personas que me apoyaron para llevar a feliz término la coronación de mi carrera, y especialmente a:

Dios todo poderoso por iluminarme y guiarme siempre aun en los momentos de angustia

A mis padres **Benjamín Villatoro** y **Maria Teresa Dueñas** ya que ellos siempre estuvieron conmigo apoyándome en todo momento

A mis hermanos **Mirna Isabel** y **José Manuel** por ayudarme y apoyarme dándome ánimos para seguir adelante

A mi **tía Rosy** que siempre ha sido una madre para mi, a ella también le dedico mi triunfo.

A la **tía Aracely de López** que aunque no este cerca de mi, sé que su corazón sus ánimos y entusiasmo siempre van conmigo.

A mi **tía Irma**, por siempre impulsarme a seguir adelante en mi carrera y no desfallecer ante nada.

A la señora **Ana Paula Márquez** por haber confiado en nosotros y habernos dado techo donde vivir durante toda nuestra estadía en la capital

A mi **novia Meybelin** por haberme ayudado con su computadora y haberme comprendido cuando era necesario.

A **Claudia Castro**, por haberme ayudado con los recursos didácticos, el Internet y computación cuando lo necesite en mi investigación.

A mis dos compañeros **Alirio y Román** por haber permanecido juntos hasta el final pese a los problemas y discusiones que se dieron entre nosotros mismos

A todos ellos **Muchisimas gracias**

Benjamín Ernesto Villatoro Dueñas

DEDICATORIA

Agradezco:

A Dios Todopoderoso y a la Santísima Virgen María por iluminar mi mente, brindarme salud y la fortaleza necesaria para sobrellevar los obstáculos presentados a lo largo de mi carrera.

A MIS PADRES: Lucio Villatoro Contreras y a Mirna Elizabeth Torres De Villatoro (De grata recordación), a quienes dedico el triunfo alcanzado. Gracias por su sacrificio, amor y cuidado; lo que soy se los debo ustedes.

A MIS HERMANOS: Raúl Alberto, Hugo Enrique y Edgar Gustavo Villatoro Torres gracias por el apoyo moral y espiritual. Este triunfo les pertenece también.

A MI FAMILIA: A mi Abuela Fidelina Torres A mis tíos Rudis Balmore, Celia Rosibel, Hernán Del Carmen, Noel Alcides y Elías Amilcar Villatoro Torres a mis primos Héctor Arnoldo y Mirna Rosibel Romero Villatoro a mis ahijadas Flor Arely y Maria Fidelina Romero Villatoro y a mis compañeros de tesis Román y Benjamín y a todas las demás personas que de alguna u otra manera, han contribuido para que culmine este trabajo, **gracias a todos.**

Elmer Alirio Villatoro Torres

INDICE

CAPITULO I	17
GENERALIDADES	17
1.1 INTRODUCCIÓN	18
1.2 OBJETIVOS.	20
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	20
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	20
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	23
1.4.1 <i>ALCANCES</i>	23
1.4.1.1 Alcances de la aplicación en bloques, adoquines y pavimentos de concreto con baja intensidad de tráfico.	25
1.4.2 <i>LIMITANTES</i>	26
1.5 SUPUESTOS E HIPÓTESIS	27
1.5.1 <i>Supuestos</i>	27
1.5.2 <i>Hipótesis</i>	28
1.6 TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
1.7 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	29
1.7.1 <i>Etapa Técnico-Investigativa</i>	30
1.7.2 <i>Etapa Técnico-Experimental Del Colorante Añil Como Pigmento De Concreto</i>	30
1.7.2.1-Diseño Experimental	30
1.7.2.2-Normativa Aplicable.....	31
1.7.2.3-Materiales A Utilizar	31
1.7.2.4-Estabilidad Del Pigmento Y Los Efectos En El Concreto.....	32
1.7.2.5 Análisis e Interpretación de Resultados.....	33
1.7.3 <i>Aplicación Experimental</i>	33
1.7.3.1-Metodología Experimental de la Aplicación del Pigmento en Concreto para la Fabricación de Bloques.....	33
1.7.3.2-Metodología experimental para la aplicación del pigmento en concreto para la fabricación de adoquines.....	35
1.7.3.3 Metodología para la investigación de pavimentos de concreto pigmentados con añil	36
1.7.4 <i>Etapa analítica de interpretación y presentación de los resultados en la investigación</i>	37
CAPITULO II.....	38
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	38
2.1 INTRODUCCIÓN.....	39
2.2 CONCRETO.....	40
2.2.1 <i>Generalidades sobre concreto</i>	40

2.2.2 Tipos de concretos.	42
2.2.3 Pruebas para el concreto fresco.	44
2.2.3.1 Muestreo de Concreto Fresco.	44
2.2.3.2 Consistencia.	45
2.2.3.3 Medición de la temperatura del concreto.	45
2.2.3.4 Peso Volumétrico y Rendimiento.	46
2.2.3.5 Contenido de Aire de la mezcla.	47
2.2.3.6 Tiempo de Fraguado.	48
2.2.4 Propiedades del Concreto Endurecido.	52
2.2.4.1 Resistencia.	53
2.2.4.2 Durabilidad.	54
2.2.5 Diseño de mezclas de concreto de peso normal según ACI 211.1.	56
2.2.5.1 Generalidades:	56
2.2.5.2 Procedimiento:	57
2.3 CONCRETO DE COLOR.	64
2.3.1 Coloración de Concreto con Cemento Blanco y de Color.	67
2.3.2 Coloración de Concreto con Pigmentos en polvo, de uso integral.	71
2.3.2.1 Composición Química de los Pigmentos.	71
2.3.2.2 Clases de Pigmento Integral.	72
2.3.2.3 Características Físicas de los Pigmentos.	74
2.3.2.4 Estabilidad de los pigmentos.	77
2.3.2.5 Porcentaje de Pigmento en la mezcla.	78
2.3.2.6 Requerimientos normalizados.	78
2.3.2.7 Pigmentos en polvo para concreto en El Salvador.	80
2.3.2.8 Estudio de los efectos estéticos y las modificaciones del estado fresco y endurecido del concreto debido al uso de pigmentos integrales, realizado por Bayer.	81
2.3.3 Colorantes Químicos para Concreto.	87
2.4 COLORACIÓN DE BLOQUES Y ADOQUINES DE CONCRETO CON PIGMENTO INTEGRAL.	89
2.5 COLORACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.	92
2.5.1 Técnica Integral.	92
2.5.2 Técnica Bicapa.	93
2.5.3 Tratamiento en Seco.	94
2.6 ANTECEDENTES DE USO DEL AÑIL Y SU REACTIVACIÓN DE COSECHA EN EL SALVADOR.	96
2.6.1 Historia.	96
2.6.2 Usos del Añil a través de la Historia.	97
2.6.3 Reactivación de la cosecha de añil en El Salvador.	99

CAPITULO III	105
---------------------------	------------

PROPIEDADES FÍSICAS, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS PRELIMINARES AL PIGMENTO SEGÚN MÉTODOS DE PRUEBA DE LA ESPECIFICACIÓN ASTM C-979-99 “ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR DE PIGMENTOS PARA CONCRETO CON COLOR INTEGRAL”	105
3.1 INTRODUCCIÓN	106
3.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AÑIL A UTILIZAR EN LOS EXPERIMENTOS.	107
3.2.1 Información general del producto.	107
3.2.2 Propiedades físicas del añil.	109
3.2.2.1 Determinación de la Densidad.	110
3.2.2.2 Resumen de las propiedades físicas significativas del añil que no fueron determinadas en esta Investigación.	112
3.2.3 Composición Química del añil.....	114
3.2.3.1 Porcentaje de Indigotina.	115
3.2.3.2 Reacción Química para producir Indigotina ³	116
3.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD DEL PIGMENTO EN AGUA.....	116
3.4 ANÁLISIS DE HUMECTABILIDAD EN AGUA DEL PIGMENTO.	119
3.5 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL PIGMENTO A LOS ÁLCALIS.	120
3.6 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE SULFATOS (SO ₃) PRESENTES EN EL PIGMENTO.	123
3.7 AJUSTE DE LA FINURA DEL PIGMENTO.	128
3.8 RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.	131
CAPITULO IV	132
ENSAYO DE ESTABILIDAD DE CURADO ATMOSFÉRICO Y RESISTENCIA A LA LUZ DEL PIGMENTO, POR MEDIO DE LA NORMA ASTM C – 979 – 99 Y ANEXO A1 DE LA MISMA.	132
4.0 ESTABILIDAD DE CURADO ATMOSFÉRICO Y RESISTENCIA A LA LUZ DEL PIGMENTO AÑIL.	133
4.1 INTRODUCCIÓN	133
4.2 METODOLOGÍA PARA LA PREPARACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA DE MORTERO (ANEXO A1 DE NORMA ASTM C – 979 - 99)	135
4.2.1 Aparatos:	135
4.2.2 Materiales:.....	135
4.2.3 Formulación:	135
4.2.4 Procedimiento:	136
4.3 INFORMACIÓN TÉCNICA GENERAL DE LOS MATERIALES COMPONENTES.....	138
4.4 CALCULO DE CANTIDADES DE MATERIALES PARA ESPECIMENES DE MORTERO EN LABORATORIO.....	140
4.4.1 Cantidades necesarias para la elaboración de un espécimen.	140
4.5 ETAPA DE FABRICACIÓN, CURADO Y EXPOSICIÓN DE LOS ESPECIMENES.	142

4.5.1 Dosificación de Bachadas para la hechura de especímenes.	142
4.5.1.1 Bachada 1	142
4.5.1.2 Bachada 2	142
4.5.1.3 Bachada 3	142
4.5.2 Elaboración de especímenes de control (sin pigmento).	145
4.5.4 Elaboración de especímenes pigmentados con un 0.5% del peso del cemento:	146
4.5.5 Elaboración de especímenes pigmentados con un 6 % del peso del cemento:	146
4.5.6 Curado y exposición de los especímenes de mortero.....	148
4.5.6.1 Estabilidad de curado Atmosférico.....	149
4.5.6.2 Resistencia a la Luz.....	149
4.6 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ESPECÍMENES DE MORTERO PIGMENTADOS.....	150
4.6.1 Estabilidad de curado atmosférico:.....	150
4.6.1.1 Comparación de especímenes de control.....	150
4.6.1.2 Comparación de especímenes al 0.5% de pigmento con relación al peso del cemento.....	151
4.6.1.3 Comparación de especímenes al 6% de pigmento con relación al peso del cemento.....	152
4.6.2 Ensayo de Resistencia a la luz de especímenes de mortero pigmentados.....	154

CAPITULO V..... 156

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LOS EFECTOS EN EL CONCRETO PIGMENTADO CON AÑIL, ENSAYOS Y PRUEBAS DE LABORATORIO APLICADAS AL CONCRETO	156
5.1 INTRODUCCIÓN.....	157
5.2 DISEÑO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO PARA PAVIMENTO MR = 37 KG/CM ² USANDO CEMENTO PÓRTLAND BLANCO.....	157
5.2.1 Revenimiento:	158
5.2.2 Tamaño máximo del agregado	158
5.2.3 Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire.....	158
5.2.4 Selección de la relación w/c:	159
5.2.5 Contenido de cemento:	159
5.2.6 Estimación del contenido de agregado grueso.....	159
5.2.7 Estimación del contenido de agregado fino.....	160
5.3 DISEÑO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO PARA PAVIMENTO MR = 37 KG/CM ² USANDO CEMENTO PÓRTLAND CESSAPAV.....	161
5.4 ENSAYOS REQUERIDOS PARA PRUEBAS EN EL CONCRETO.....	161
5.4.1 Especificación Estándar de Pigmentos para Concreto Coloreado Integralmente ASTM C – 979 – 99, (Norma de base)	163

5.4.2 Método de Ensayo Estándar para Densidad (Peso Unitario), Volumen y Contenido de Aire (Método Gravimétrico) en una Mezcla de Concreto. ASTM C – 138 – 01.	163
5.4.3 Método de Ensayo Estándar para Temperatura del Concreto de Cemento Pórtland Recién Mezclado ASTM C –1064-01.	165
5.4.4 Método de Ensayo Estándar para Revenimiento del Concreto de Cemento Hidráulico ASTM C –143/C 143 – 00.....	166
5.4.5 Método de Ensayo Estándar para Contenido de Aire en una Mezcla de Concreto Fresco por el Método de Presión ASTM C – 231 – 97.	167
5.4.6 Practica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo ASTM C – 192/C 192M -02.....	169
5.4.7 Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando una Viga Simple Cargado en el Tercio Medio del Claro ASTM C – 78 – 02.	171
5.4.8 Método de Ensayo Estándar para el Tiempo de Fraguado de las Mezclas de concreto por resistencia a la penetración, ASTM C – 403/C 406M – 99.....	173
5.4.9 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO ASTM C – 39 – 86.	176
5.4.10 Método de Ensayo Estándar para Determinar el Contenido de Humedad de los Agregados para Concreto ASTM C – 566 – 97.....	178
5.5 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN TOMADA DE CADA BACHADA DE CONCRETO FABRICADA.	179
5.5.1 Formularios utilizados en fabricación de bachadas de concreto.....	182
5.5.2 Hojas de control para ensayos de resistencia a la flexión y compresión del concreto.....	184
5.6 RESULTADOS NUMÉRICOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS EN EL CONCRETO.....	184
5.6.1 Ensayo de Revenimiento (revenimiento obtenido).....	185
5.6.2 Ensayo de tiempo de fraguado del concreto.	186
5.6.3 Ensayo de resistencia a la compresión del concreto. (Prueba de los cilindros)	186
5.6.4 Ensayo de resistencia a la flexión del concreto.	187
5.6.5 Ensayo de contenido de aire del concreto.	188
5.6.6 Ensayo para determinar el peso volumétrico del concreto.....	188
5.6.7 Ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco.	189

CAPITULO VI 191

APLICACIÓN DEL PIGMENTO AÑIL EN BLOQUES ADOQUINES Y PAVIMENTOS DE CONCRETO CON BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO.....	191
6.1 INTRODUCCIÓN	192
6.2 APLICACIÓN DEL PIGMENTO AÑIL, EN BLOQUES DE CONCRETO.	193
6.3 APLICACIÓN DEL PIGMENTO AÑIL, EN ADOQUINES DE CONCRETO.	194

6.4 APLICACIÓN DEL PIGMENTO EN PAVIMENTOS DE CONCRETO DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO.	195
CAPITULO VII.....	196
ANÁLISIS ECONÓMICO DEL AÑIL EN COMPARACIÓN CON OTROS PIGMENTOS.	196
7.0 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL USO DE AÑIL EN EL CONCRETO.	197
7.1 INTRODUCCIÓN.	197
7.2 INFORMACIÓN TÉCNICA-ECONOMICA DEL AÑIL.....	198
7.3 COMPARACIÓN DE COSTOS.....	199
7.3.1 Comparación usando cemento gris	199
7.3.2 Comparación usando cemento blanco.....	199
7.4 ANÁLISIS DE COSTOS.	200
CAPITULO VIII	201
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	201
8.0 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	202
8.1 CAPITULO III ANÁLISIS PRELIMINAR DEL PIGMENTO. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PIGMENTO. ..	202
8.1.1 análisis de humectabilidad del pigmento en agua.	202
8.1.2 Resistencia a los álcalis.....	202
8.1.3 porcentaje de sulfatos SO ₃	203
8.1.4 solubilidad en agua.....	204
8.2 CAPITULO IV ESTABILIDAD DE CURADO ATMOSFÉRICO Y RESISTENCIA A LA LUZ DEL MORTERO.....	204
8.3 EFECTOS EN EL CONCRETO.....	205
CONCLUSIONES.....	210
CONCLUSIONES.....	211
RECOMENDACIONES	213
RECOMENDACIONES	214
FUENTES DE CONSULTA.....	215
FUENTES DE CONSULTA	216
Referencias en Internet:.....	216
Revistas:.....	216
Tesis y Libros:	217
Información proporcionada por empresa:	219

ANEXOS	220
<i>A.1 Normas y especificaciones de la ASTM.....</i>	<i>220</i>
<i>A.2 Información proporcionada por la Concretera Salvadoreña.....</i>	<i>220</i>
<i>A.3 Datos numéricos obtenidos durante los ensayos de laboratorio.....</i>	<i>220</i>
<i>A.4 Resultados de ensayos de resistencia a la flexión y compresión del concreto.</i>	<i>220</i>
<i>A.5 Representación Grafica de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio practicados al concreto.</i>	<i>220</i>
<i>A.6 Gráficos y datos estadísticos de los tiempos de fraguado del concreto</i>	<i>220</i>
<i>A.7 Hoja de análisis químico para determinar el porcentaje de Indigotina del añil.....</i>	<i>220</i>

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El uso del concreto en la industria de la construcción, ha evolucionado grandemente desde los años ochenta debido a los altos grados de confianza que ha generado este material en cuanto a resistencias de trabajo, manejabilidad y proveeduría de los materiales para su fabricación en nuestro país.

Para lograr concretos de diferentes colores se necesita la utilización de aditivos colorantes de diversa índole y características que dependerán del tipo de estructura o elemento en consideración, para construir así, con la calidad exigida de muy buenos acabados. También se pueden utilizar colorantes químicos en soluciones acidas que pueden colorear concreto de avanzada edad, óxidos de hierro en una gran variedad de colores, aditivos endurecedores de superficie, etc. En la mayoría de los casos se utilizan materiales en polvo superfino, capaces de modificar el color de concretos y morteros en los cuales se dispersan; se les llama también "Pigmentos".

En los últimos años ha aumentado la tendencia a utilizar las superficies de concreto a la vista como elemento de terminación, desarrollándose tratamientos y técnicas especiales para aplicar con el fin de conseguir un mejor efecto estético.

En nuestro país la técnica de colorear concreto por medio de pigmentos en polvo, que son agregados a la mezcla durante la hechura del concreto, es la utilizada en la fabricación de bloques y adoquines de color, al igual que los agregados de color; en los pavimentos también se utiliza pigmento en polvo, pero se tiene la opción de dispersarlo en la superficie del concreto ya colado, durante la etapa de fraguado.

Por otra parte, el uso de productos colorantes de origen natural, esta siendo muy bien vista y estudiada para ser normalizada en países europeos, por lo que sin duda los colorantes químicos para concreto tendrán que ser objeto de análisis en un futuro.

El Añil, por su gran valor cultural y el aporte que generó en el sector agrícola a la economía de El Salvador en el pasado, representa uno de los productos agrícolas que tienden a ser factibles para contribuir en mejorar y refortalecer la economía del país actualmente.

Precisamente, este trabajo trata del estudio de la investigación exploratoria, de viabilidad técnica del uso de añil como un colorante natural de concreto, aplicado especial y experimentalmente en bloques, adoquines y pavimentos de concreto con baja intensidad de tráfico.

Este estudio abarcara desde las técnicas mas empleadas en nuestro país para la coloración del concreto, el análisis experimental del añil como pigmento para concreto mediante la norma ASTM C-979 y la aplicación experimental del pigmento en la fabricación de bloques, adoquines y pavimentos de concreto. Además, se desarrollara un estudio sobre los costos económicos que incurriría el usar añil como colorante de concreto, pero de manera generalizada y no profundamente.

Antes de profundizar experimentalmente con los elementos en mención, se harán estudios preliminares en una mezcla de concreto normal.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 Objetivo General

- Investigar la viabilidad técnica del uso de añil como pigmento colorante para concreto y su posible aplicación en bloques, adoquines y pavimentos de concreto con baja intensidad de tráfico.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar una investigación técnica de propiedades físicas y reacciones químicas mediante ensayos de laboratorio practicados al añil en base a especificaciones ASTM C-979-99 (reaprobada en 1999), y determinar las posibles variaciones significativas, de las características físicas y mecánicas del concreto pigmentado con añil, en concordancia con la misma especificación.
- Analizar los resultados de la aplicación y comportamiento a la intemperie del colorante en un tiempo de 6 meses como máximo; aplicándolo a: bloques, adoquines y pavimentos de concreto con baja intensidad de tráfico, en caso de que resulte viable su uso en el concreto.
- Determinar una proyección económica generalizada de costos, que provocaría el uso de añil como pigmento para concreto en la industria de la construcción salvadoreña, y aplicado a los elementos en estudio; este objetivo se cumplirá siempre y cuando la viabilidad resultase positiva.
- De resultar viable técnicamente la coloración de concreto con añil, se elaborarían las especificaciones básicas necesarias de las propiedades físicas del colorante y su aplicación.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Siendo el concreto el material de construcción más empleado por muchos años, la Ingeniería se ha preocupado de la resistencia, la trabajabilidad y más recientemente, de su durabilidad, dejando a un lado los aspectos estéticos. Eso ha hecho que algunos profesionales de la construcción estigmaticen al concreto de grisáceo y lúgubre, tal vez como una manera de justificar el gasto de cuantiosos recursos en recubrirlo y colorearlo.

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

La relevancia e importancia de realizar este estudio para la determinación de la viabilidad técnica del añil como pigmento colorante de concreto, radica en el aprovechamiento de la oportunidad, en caso de ser positivamente viable, de acreditar un nuevo material colorante en la industria de la construcción, que cumpla con los estándares de las normas americanas ASTM y con la ventaja de ser un derivado natural. Por otra parte, también se contribuye a la búsqueda de un nuevo mercado para el añil, el cual repercutiría en los aumentos de las demandas del colorante no solo en nuestro país sino también en aquellos hacia donde se exporta.

El añil, con su inigualable color similar al azul, despertaría mucho el interés de diseñadores y arquitectos locales, pues sería una opción más dentro de la gama de colores a escoger para los acabados definitivos de los proyectos, y su aplicación pudiera estar en estructuras componentes de centros comerciales, muros perimetrales, aceras, estacionamientos y cualquier obra que relacione estética con durabilidad y resistencia. Precisamente este trabajo de investigación esta aplicado a elementos de concreto mas utilizados en nuestro medio, como son adoquines, bloques y los pavimentos rígidos de concreto con

baja intensidad de tráfico; debido a la confianza generada a través de las experiencias de su uso en cuanto a: disponibilidad de materiales, resistencias, vida útil, agilidad en los procesos constructivos, etc., por lo que relacionarlos estéticamente dentro de la disponibilidad arquitectónica es importante.

Es de significativo valor, mencionar que en nuestro país la utilización de concreto azul ó colores similares es bastante limitada, debido a la poca importación y suministro de pigmentos de óxido de cobalto, que es el que los produce. Igualmente con la utilización de productos químicos como las soluciones ácidas no se puede obtener este color.

De un resultado positivo de viabilidad técnica que tenga el uso de añil como pigmento para concreto, esta investigación aportara además un parámetro generalizado de los costos que tendría la coloración del concreto con añil destinado a la fabricación de bloques, adoquines y los pavimentos mencionados en los alcances. No se descarta el hecho de que se puedan obtener resultados que predigan una viabilidad técnica favorable de utilización del pigmento, pero con una factibilidad económica desfavorable.

Como ya se menciona, el color en las estructuras de concreto está y tiende en el futuro a tomar mucho auge por varios factores, entre ellos: económicos, estéticos, de resistencia, durabilidad, etc. Por lo tanto es parte de la ingeniería el buscar integrar también recursos naturales renovables dentro del amplio campo de aplicación del concreto coloreado y/o productos cementicios.

En cuanto al cultivo y procesamiento de añil en El Salvador, éste se encuentra en un proceso de reactivación agroindustrial por parte de organismos internacionales de cooperación como JICA (Agencia Internacional de Cooperación Japonesa), GTZ (Cooperación Técnica Alemana) y gremiales de agricultores de añil, como un refuerzo por el rescate cultural del añil y su historia en el país. Este reconocimiento del potencial económico comercial de añil ha surgido frente a la creciente tendencia mundial de consumir y utilizar materias primas y productos naturales.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 ALCANCES.

- ◇ Se analizara el colorante añil mediante ensayos de laboratorio que recomienda las especificaciones ASTM C-979-99 (reaprobadas en 1999); las cuales proporcionan los requisitos mínimos de los pigmentos para concreto con un color integral; por lo que queda fuera del alcance de este trabajo la aplicación de otras normas y estándares internacionales en relación a pigmentos colorantes.

- ◇ Lo referente a ensayos de los elementos componentes del concreto, como lo son ensayos al agua, a los agregados y al cemento, no serán realizados durante la etapa experimental, ya que el objetivo principal de la investigación es indagar sobre el añil, al ser usado éste como un pigmento colorante de concreto.

- ◇ En esta investigación se usará la técnica de coloración integral en el concreto, por medio de la aplicación de pigmento en polvo de color azul intenso, que es el color natural del añil. Cualquier otra técnica aplicable a la coloración de concreto queda excluida de los alcances de esta investigación. Además para la hechura del concreto se utilizara únicamente cemento fabricado en El Salvador, de tipo Pórtland marca CESSAPAV para pavimentos y CESSABLOCK en concreto para bloques y adoquines. La utilización de cemento blanco estará dispuesta para poder apreciar el color que se obtiene en el concreto cuando se usa un cemento con baja o ninguna cantidad de hierro en su composición.

- ◇ Se realizaran especímenes de prueba con pigmentación integral del concreto, donde se pueda determinar exclusivamente:
 - Variación del color según la relación agua/cemento.
 - Variación del color con el uso de cemento blanco.

- Influencia en la consistencia del concreto con la aplicación del pigmento.
- Resistencia a la flexión y compresión de los especímenes pigmentados.
- Relación entre el contenido de aire del concreto fresco y la cantidad de añil suministrada.

Los diseños de mezcla a utilizar serán los que más se aplican en nuestro medio en la construcción de elementos de concreto estructural, pavimentos de concreto, bloques y adoquines. No se realizarán ensayos a los agregados que se utilizarán en la fabricación de las muestras, pues estos se obtendrán de diseños con materiales ya conocidos y aplicados en el interés de esta investigación.

- ◊ Se pueden tener variaciones en las características mecánicas del concreto pigmentado, las cuales serán determinadas a través de ensayos de laboratorio que están al alcance de realizarse en El Salvador ¹ y normalizados según especificaciones ASTM, no se realizarán ensayos de retracción y agrietamiento de las muestras.
- ◊ La viabilidad técnica del uso de añil como colorante de concreto será determinada mediante el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio practicados a: el añil como colorante, las mezclas y la resistencia al intemperismo del colorante en un periodo de evaluación de 6 meses únicamente.
- ◊ Con un resultado positivo de viabilidad técnica, se determinará un parámetro de los costos que involucre pigmentar concreto con añil en nuestro país, aplicándolo en bloques, adoquines y pavimentos de baja intensidad de tráfico; también se elaborarían las especificaciones que recomendasen las características necesarias del pigmento, así como el proceso de aplicación del pigmento.

¹ Ver metodología de este estudio, sección. 1.7

1.4.1.1 Alcances de la aplicación en bloques, adoquines y pavimentos de concreto con baja intensidad de tráfico.

- ◇ Con resultados obtenidos de dosificación del pigmento, relación agua-cemento, tonalidad de colores, etc. se hará una fabricación experimental de dos tipos de bloques: Split Face y bloque normal de 15x20x40 cm. debido a que son los mas utilizados en nuestro país; las muestras serán analizadas únicamente bajo las especificaciones ASTM C-90-91; así también se experimentara con el mortero necesario para pegamento de las unidades de mampostería.

- ◇ Al igual que con los bloques de concreto, se fabricaran especimenes de prueba de adoquines de concreto pigmentado, los cuales serán analizados específicamente bajo las normas ASTM C-936-96. Los adoquines tipo tabasco tendrán la prioridad de fabricación como muestra.

- ◇ De encontrar un proyecto en construcción, adecuado para la aplicación del pigmento en pavimentos, se tratara como un tramo corto experimental, de lo contrario únicamente se analizaran resultados obtenidos en los ensayos de las mezclas y su resistencia a la intemperie.

1.4.2 LIMITANTES.

- ◊ No existe ningún tipo de experiencia conocida y que tenga objetivos similares a los de esta investigación, por lo tanto la disponibilidad de información en cuanto a coloración del concreto esta dirigida únicamente en el uso de pigmentos minerales, químicos, con agregados de color, etc.

- ◊ La resistencia a la luz del concreto coloreado, según la especificación ASTM C-979 debe ser medida con un aparato de tipo HE ó E descrito en la ASTM G-23; este aparato no se encuentra a la disposición en El Salvador por lo que la resistencia a la luz será comprobada únicamente exponiendo las muestras a la luz solar durante 500 horas como sugiere la norma y por medio de inspección visual.

- ◊ Esta investigación, por tratarse de un trabajo de graduación universitario, tiene un tiempo límite de realización según reglamentos de la Universidad; por lo que todos los monitoreos, evaluaciones y presentación de los resultados en los experimentos, serán los analizados durante un periodo de 6 meses como máximo.

- ◊ Debido a la escasez del pigmento, al precio del mismo y al tipo de aparato requerido, no se podrá llevar a cabo el ensayo en el cual se determinara el punto de saturación del pigmento, o dicho de otra manera, la cantidad a la cual por mas pigmento que se le agregue al concreto, éste ya no cambia su color o tonalidad.

1.5 SUPUESTOS E HIPÓTESIS

Dentro de todo estudio de índole investigativo, existen ciertas suposiciones que despiertan el interés de todo investigador. Las hipótesis y supuestos orientan la investigación hacia un horizonte que puede resultar verdadero o falso, en el cual, el resultado se sabrá hasta el final de la investigación, y del cual dependerán varias opciones como por ejemplo, si la investigación continua o se da por concluida.

Para nuestro caso los supuestos e hipótesis se mencionan a continuación:

1.5.1 Supuestos.

Así como los otros colorantes para concreto incurren en un mayor costo por metro cúbico del concreto, así también el añil puede ocasionar el mismo efecto, pero ¿Qué tanto podría variar el precio del concreto coloreado con añil respecto a los otros concretos coloreados con otros pigmentos?

La mayoría de pigmentos para concreto son de origen mineral, y no ocasionan perdidas notables en las características del concreto. ¿Ocasionará algún cambio diferente el pigmentar concreto con añil por ser éste un pigmento de tipo orgánico y natural?

1.5.2 Hipótesis.

- El añil proporcionara un nuevo elemento colorante capaz de producir coloraciones bastante intensas y notables utilizando una poca cantidad del mismo en la mezcla de concreto.

- Así como existen ciertos elementos de tipo natural que son utilizados en las mezclas para concreto o en la fabricación de cemento, y que no afectan ninguna de las propiedades requeridas del concreto, así también el añil no ocasionará ninguna anomalía al concreto que sea colorado con el mismo.

- El añil, así como los otros pigmentos colorantes, tendrá la facilidad de poder cambiar las tonalidades del color a medida se le vaya aumentando o disminuyendo la cantidad adicionada de añil; esto incluirá desde un celeste claro, hasta un azul oscuro.

1.6 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación a realizar en este trabajo, será de tipo experimental, con la fabricación de especímenes de concreto pigmentado con añil y la utilización de agregados y cementos de origen local.

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 las propiedades del concreto. Ello se logra a través de un programa experimental, el cual, parte con el diseño del experimento a realizar.

El diseño experimental tiene por objetivo determinar el efecto producido por la clase de cemento, pigmento, y porcentaje de aplicación de éste (variables independientes) en las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido (variables dependientes). Además, el diseño del experimento determina la cantidad de mezclas a realizar y el tipo de análisis estadístico con que se procesarán los resultados.

1.7 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El tipo de metodología que se utilizara en la realización de esta investigación será el método científico, con una pequeña varianza, en vista que en dicho método se hace uso de un levantamiento de información, donde se hace una recopilación de sucesos y antecedentes que dependiendo de su análisis se buscaran opciones de soluciones factibles o viables de los problemas presentados; para el caso de este trabajo, por ser de índole novedoso, no se cuenta con suficiente información histórica disponible del caso específico, ni un problema definido con importancia significativa, sin embargo de lo que se trata es de la búsqueda y aprovechamiento de la oportunidad en encontrar un

nuevo material disponible para su uso en la industria de la construcción, por tanto se abordaran temas que tengan relación con el objeto de estudio de este trabajo en la búsqueda de la viabilidad técnica de uso del añil como colorante de concreto.

Este proyecto se desarrollara en cuatro etapas, en las cuales se tratara de abordar los más significativos criterios de experimentación en concreto coloreado, así como el estudio de las posibles variaciones en las características del estado fresco y endurecido. Posteriormente se analizaran los resultados obtenidos en los experimentos para plantear posibles recomendaciones de uso del pigmento y su aplicación; además se hará el análisis de costo económico generalizado para comparar los costos del concreto pigmentado con añil.

1.7.1 Etapa Técnico-Investigativa.

Esta etapa incluirá la investigación de las técnicas y procesos actuales de coloración del concreto, así como de los materiales empleados para ello. Además se analizaran las propiedades físicas, las normativas aplicables a pigmentos y los ensayos de laboratorio requeridos;

1.7.2 Etapa Técnico-Experimental Del Colorante Añil Como Pigmento De Concreto.

1.7.2.1-Diseño Experimental.

Un diseño experimental es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en las respuestas de salida.

Para poder obtener una respuesta valida en la investigación, se llevaran a cabo una serie de experimentos y pruebas de laboratorio, que arrojaran valores que serán tabulados para poder comprender e interpretar el comportamiento de los elementos de concreto en estudio. Por las características particulares de este estudio, es el diseño factorial el que más se acomoda a este modelo. Por diseño factorial se entiende: "Aquel en el que se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores de cada ensayo completo o réplica del experimento".

El objetivo del desarrollo de esta serie de experimentos es medir el cambio en las variables de resistencia, densidad, color y otras mas, que presenta un concreto al ser pigmentado con añil. Para lo cual se tiene que contar con un número suficiente de especimenes fabricados, los cuales serán determinados previamente mediante el análisis estadístico.

1.7.2.2-Normativa Aplicable.

La normativa aplicable en esta etapa del estudio será la especificación ASTM C-979-99 reaprobadada y calificada en 1999, la cual rige las especificaciones que deben cumplir los pigmentos para color integral en el concreto.

El añil se analizara únicamente bajo esta especificación, pues de ser necesario será en esta etapa del proyecto donde se tratara de acomodar el pigmento en polvo a los requisitos que exige la norma. Además se le practicarán una serie de ensayos recomendados que puedan dar fe de: la resistencia del pigmento a los Álcalis, el porcentaje de solubilidad en agua, de la inercia química con el cemento, de la resistencia a la luz y de las características físicas y químicas del añil; ensayos siempre mencionados en la misma norma ASTM C 979-99.

1.7.2.3-Materiales A Utilizar.

Los materiales a utilizar durante toda esta investigación técnica experimental, serán los siguientes:

Añil en polvo, con un porcentaje de Indigotina de 44%.

Agregados de Origen Local, proporcionados por la Concretera Salvadoreña con características físicas documentadas y experimentados. Cemento producido en El Salvador de marca CESSABLOCK para bloques y adoquines, CESSAPAV para la fabricación de pavimentos, y cemento BLANCO para comparación de colores con los otros tipos de cementos mencionados.

1.7.2.4-Estabilidad Del Pigmento Y Los Efectos En El Concreto.

Posteriormente del análisis experimental que se le practicará al pigmento, y siempre dentro del cumplimiento de la norma ASTM C-979-99, está el experimentar y determinar los efectos secundarios que la adición del colorante provoca en las propiedades del concreto fresco y endurecido. Por ello, en esta etapa del proyecto se ensayará una mezcla pigmentada de concreto en particular, para pavimento, donde se realizaran pruebas de: revenimiento, contenido de aire, resistencia a la compresión y flexión, tiempo de fraguado, temperatura del concreto y peso volumétrico.

La comprobación de la estabilidad del pigmento al curado atmosférico, ósea a la intemperie, se realizara por medio de la fabricación de especímenes de mortero pigmentado, fabricados con cemento blanco, y con dimensiones de 2"X3"X9" las cuales serán monitoreadas y evaluadas por 500 horas de exposición. Así mismo la resistencia a la luz se determinara mediante la exposición de especímenes de mortero pigmentado, similares a los anteriores, hechos siempre con cemento blanco, y expuestos durante 500 horas a la luz solar.

Según la normativa de ASTM C-979-99, respecto a los colorantes para concreto, no puede utilizarse un porcentaje mayor al 10% del peso del cemento de pigmentos, debido a ello se utilizaran dosificaciones de 0%, 0.5%, 6% y 10% para la mezcla de concreto ensayada en esta etapa.

1.7.2.5 Análisis e Interpretación de Resultados.

Dentro de esta etapa del proyecto, y posteriormente a los resultados preliminares de los análisis del pigmento y los efectos en el concreto; se hará un análisis e interpretación de resultados que puedan determinar según lo observado en los experimentos: la necesidad de posibles tratamientos del añil para la utilización como pigmento, la finura necesaria del polvo, dosificaciones adecuadas en la mezcla, el porcentaje de adición para la saturación del color y los efectos secundarios significativos que estén al alcance de determinarse.

Esta interpretación de resultados no contara con el análisis de las exposiciones al intemperismo, pues este será uno de los principales objetos que sustenten la viabilidad de uso del añil como colorante del concreto, la cual se determinara en etapas posteriores donde si se analizara la resistencia al intemperismo y la luz con un tiempo mucho mayor de exposición de los especímenes.

A continuación se menciona la metodología que se seguirá en la experimentación de añil como colorante y su aplicación a mezclas de concreto para la fabricación de bloques, adoquines y pavimentos de concreto con baja intensidad de tráfico.

1.7.3 Aplicación Experimental.

1.7.3.1-Metodología Experimental de la Aplicación del Pigmento en Concreto para la Fabricación de Bloques.

Cuando se llegue a esta etapa de la investigación, se tendrá conocimiento de la dosificación adecuada de pigmento en polvo a utilizar durante el mezclado y con la cual se puedan lograr resultados aceptables de color aunque no se tenga comprobado la resistencia al intemperismo para ese momento. Se fabricaran un lote de especímenes suficientes para analizar las resistencias: de compresión, absorción e intemperismo.

Los bloques a fabricar de experimento, serán de medidas 15x20x40cm, los cuales, se someterán al mismo proceso de fabricación y curado que los bloques no pigmentados. La resistencia a la compresión será medida a los 7 y 28 días de fabricación; así mismo se determinara el porcentaje de absorción y la resistencia al intemperismo que será monitoreada por un periodo de 78 días.

La fabricación de los bloques experimentales se llevara a cabo en la fábrica de bloques SALTEX que cuenta con la maquinaria más actualizada de El Salvador para la fabricación de bloques y adoquines. Los materiales a utilizar serán todos de origen local; cemento Pórtland tipo I marca CESSABLOCK y los agregados serán los utilizados normalmente por dicha fábrica, por lo que todos los ensayos para determinar sus características físicas quedan fuera del alcance de este trabajo pues los materiales a utilizar están debidamente registrados y documentados para su uso. Como agregado grueso se utilizara chispa y no escoria, pues ésta contiene oxido ferroso (es de color rojiza) que podría afectar la tonalidad definitiva del color a obtener.

Al mismo tiempo se realizaran especimenes de morteros para pegamento de mampostería de bloque, donde se aplicara la cantidad necesaria de colorante al mortero para que tenga el mismo color de las unidades de bloque. Con la mezcla de mortero ya pigmentada, se fabricaran probetas en forma de cubos, cuyas aristas tendrán 5 cms en cada lado, y que serán sometidos a condiciones de curado para su adecuado desempeño y resistencia. Seguidamente se ensayaran a la compresión a 7 y 28 días de fabricación. Al igual que los bloques de concreto, también se expondrá el mortero a condiciones atmosféricas o de intemperismo para probar su resistencia.

1.7.3.2-Metodología experimental para la aplicación del pigmento en concreto para la fabricación de adoquines

Los adoquines son un tipo de prefabricados que se usan para pavimentos semirrígidos, que por la forma de construcción y materiales, resulta fácil y económica su aplicación en nuestro medio. Al igual que para los bloques de concreto, en esta etapa del proyecto ya se deberá contar con la información técnica necesaria para la aplicación del pigmento en la mezcla. Se fabricara un lote experimental en la misma fábrica que se harán los bloques, y el añil a utilizar será en polvo.

Los materiales a utilizar serán de características similares a los usados para la fabricación de bloques y también se utilizara agregado grueso de chispa o grava numero cero, con la cual se espera obtener adoquines de alta resistencia a la compresión.

El lote de adoquines pigmentados será expuesto a condiciones de curado igual y durante el mismo tiempo que es requerido por los adoquines de fabricación normal.

Como en los adoquines de concreto sólido, la propiedad mecánica que se requiere de él es su resistencia a la compresión, y sabiendo que el cemento alcanza su mayor resistencia a los 28 días, solo se probaran los adoquines a esa edad. Estos especímenes se cortaran en forma de cubo para ser ensayados, por lo que a la hora de su fabricación no importará la forma con que se hagan. Para el interés de este estudio se fabricaran adoquines tipo tabasco y serán analizados según las normas correspondientes².

En el caso de encontrarse algún proyecto de adoquinado disponible, se trataría de utilizar los adoquines de experimentación para monitorear el desempeño ante el tráfico vehicular o condiciones de trabajo y no únicamente analizar la resistencia al intemperismo.

² Ver normas de referencia en anexos .

1.7.3.3 Metodología para la investigación de pavimentos de concreto pigmentados con añil.

Para la investigación de pavimentos de concreto pigmentados con añil, deberán primero definirse las dosificaciones y porcentajes que serán necesarias para obtener una tonalidad definida del concreto y que no afecte las características mecánicas de éste. Esto se hará previamente en el estudio del colorante como pigmento del concreto.

En este caso se realizarán pruebas de compresión y flexión del concreto pigmentado, fabricando para ello cilindros y vigas. Los cilindros de concreto serán fabricados con mezclas de diseños comunes de un concreto para pavimento, y serán sometidos a condiciones de curado en el laboratorio al igual que las vigas de concreto. Se ensayará la compresión a 7 y 28 días según como especifican las normas de la ASTM al igual que las vigas para la determinación de la resistencia a la flexión. Se realizarán los debidos ensayos en estado fresco del concreto como revenimiento, contenido de aire, densidad, etc.

Los agregados a utilizar en las mezclas de experimentación, no serán analizados físicamente, pues se buscarán aquellos de los cuales se tenga información o experiencias de uso, por lo que no está en los alcances de esta investigación el estudiarlos. (Como se menciona anteriormente)

En el caso de encontrarse algún tramo en construcción de pavimento con disponibilidad de experimento y las condiciones de baja intensidad de tráfico, se podrá construir un tramo de prueba mediante la técnica bicapa, donde se podrá ver el comportamiento del pigmento bajo condiciones atmosféricas y de trabajo (condiciones de funcionalidad).

1.7.4 Etapa analítica de interpretación y presentación de los resultados en la investigación.

En esta etapa del estudio será donde se determinara la viabilidad técnica del uso de añil como pigmento colorante para concreto, mediante el análisis general de los resultados en las experimentaciones del concreto pigmentado incluyendo la resistencia al intemperismo y la luz. Además, será en esta etapa en donde se comprobarán las hipótesis y supuestos planteados anteriormente.

Seguidamente, se continuara con la presentación generalizada de los costos económicos que involucraría el colorear concreto con añil. También en esta etapa entra la formulación de lo que serian posibles especificaciones para la buena aplicación del pigmento y sus características mínimas requeridas, en caso que sea factible técnicamente.

Para finalizar esta etapa y el trabajo de investigación se incluirán conclusiones generales de la investigación, conclusiones generales del estudio y las recomendaciones pertinentes; así también las recomendaciones para posibles estudios futuros o continuaciones de esta investigación.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 INTRODUCCIÓN.

El capítulo comprende la información generalizada sobre concreto y sus diversos tipos y componentes, las pruebas indispensables y básicas para el concreto en estado fresco, las principales características del concreto endurecido y el diseño simplificado de mezclas de concreto de peso normal según el método ACI 211.1.

Con referencia a los colorantes para concreto, este capítulo profundiza y presenta algunos de los métodos más utilizados en nuestro país para la coloración del concreto por diversos medios como los colorantes químicos, por medio de cemento blanco y por medio del uso de colorantes de óxidos de hierro en polvo que son adicionados a la mezcla de concreto durante su fabricación. En estos colorantes de uso integral en la mezcla de concreto, es donde se profundiza más, debido a que este estudio pretende simular al añil como un colorante integral para concreto; por lo tanto, además se presenta un estudio realizado por una compañía fabricante de pigmentos colorantes donde demuestran los efectos secundarios en el estado fresco del concreto. Como parte final de este capítulo, se presenta un tema referente a los usos que se le dan al añil en la actualidad, además se menciona la importancia de su reactivación en El Salvador por su significado para la economía salvadoreña.

2.2 CONCRETO.

Cuando en 1824 se desarrolla y patenta un cemento al que se le denomina Pórtland, comienza a extenderse en el mundo el uso de un nuevo material compuesto por una mezcla de gravas, arenas, cemento Pórtland y agua. Por lo tanto, el concreto puede ser definido como la mezcla de un material aglutinante (normalmente cemento Pórtland Hidráulico), un material de relleno (agregados), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un sólido compacto y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión y limitados esfuerzos de tensión, según el tipo de elemento en el que se esta utilizando.

2.2.1 Generalidades sobre concreto

El concreto se ha convertido actualmente en el material de construcción mas ampliamente utilizado en todo el mundo, debido a su extraordinaria versatilidad de formas geométricas que se pueden obtener; sus propiedades físicas y mecánicas como elemento estructural; y su diversificación de variables económicas; razones que lo hacen muy competente frente a construcciones de madera, mampostería y acero.

Este material, se produce a partir de un diseño de mezclas que consiste en la selección de los constituyentes disponibles y su dosificación en cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, una masa volumétrica con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiere las propiedades de resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen y apariencia adecuada.

Las propiedades requeridas del concreto fresco están gobernadas por el tipo de construcción y por las técnicas de colocación y de transporte, y las propiedades del concreto endurecido están especificadas por el diseñador de la estructura.

En general, cada tipo de construcción tiene requerimientos particulares que dependen de las condiciones climáticas, el sistema constructivo, del tiempo y costos de ejecución.

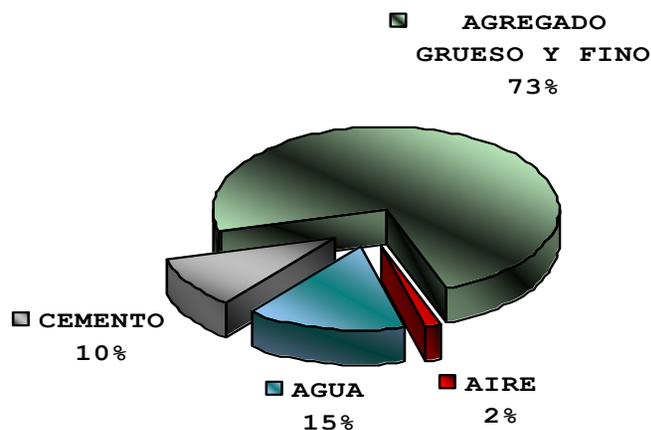


Fig 2. Proporciones de materiales comúnmente usados en la producción de concreto por volumen.

Con el objeto de tener una idea más cercana de los efectos, propiedades y funciones de éstos, dentro de la masa de concreto, a continuación se definen algunos de los términos de uso común, basadas en la ASTM C-125 (Standar Definition of Terms Relating to Concrete and Concrete Agregates) y en el informe del comité ACI 116 (A Glossary of Terms in the Field of Cement and Concrete Technology):

Agregado.

Es el material granular, como la arena, la grava y piedra triturada. El término **agregado grueso**, se refiere a las partículas de agregado mayores a 4.75 mm (malla N°4) y el **agregado fino**, se refiere a partículas menores de 4.75 mm pero mayores de 75µm(malla N°200).

Cemento.

Es un material finamente pulverizado, que no es en sí mismo conglomerante, sino que desarrolla la propiedad conglomerante como resultado de la hidratación (es decir, reacciones químicas entre minerales del cemento y el agua).

Aditivos.

Son materiales diferentes a los agregados, el cemento y el agua, que se agregan a las mezclas de concreto inmediatamente antes o durante el mezclado, su uso en el concreto es muy extenso por la diversidad de beneficios que se obtienen con su aplicación.

La modificación de los tiempos de fraguado, la reducción de agua, la inclusión de aire y la agregación de minerales como puzolana, son un ejemplo de los usos mas frecuentes de aditivos en el concreto.

En esta parte de aditivos entra en juego la acción de los colorantes, los cuales podrían ser agregados en polvo o líquido con la finalidad de producir concreto de colores distintos a los del cemento que se este utilizando.

Pasta.

La pasta dentro del concreto se refiere a la mezcla de cemento, agua aire (naturalmente atrapado o incorporado) y aditivos.

Durante el estado fresco del concreto, la pasta actúa como lubricante de los agregados, dándole fluidez a la mezcla permitiendo los efectos de compactación y colocación de una manera adecuada.

Cuando la mezcla endurece, la pasta de cemento al aglutinarse cierra los espacios que hay entre las partículas y reduce la permeabilidad del concreto, evitando el desplazamiento de agua en la masa endurecida. La pasta, en unión de los agregados contribuye a la resistencia mecánica a la compresión, lo cual es llamado interfase agregado pasta.

2.2.2 Tipos de concretos.

Debido a los diferentes pesos unitarios que el concreto pueda tener, en Estados Unidos y Latinoamérica se le clasifica en tres grandes categorías:

- **El concreto de peso normal;** es el que contiene agregados naturales y agregado de roca triturada, que por lo general su peso oscila entre los 2400 Kg/m³ y es el mas utilizado en la industria de la construcción.

- **El Concreto Ligero;** se utiliza cuando se desea reducir el peso unitario del concreto usando ciertos agregados naturales de densidades ó pesos volumétricos mas bajos. Esta definición se le da a un concreto con peso volumétrico menor a 1800 Kg/m^3 .

- **El Concreto Pesado;** es el que sobrepasa los 3200 Kg/m^3 y es utilizado en obras donde se requieren propiedades adicionales a las de un concreto de peso normal, siendo un ejemplo de ello la resistencia al almacenamiento de materiales radiactivos.

En Europa, la clasificación del concreto se hace de acuerdo a la resistencia, y también se divide en tres grandes grupos:

- Concreto de baja resistencia: son los concretos con una resistencia a la compresión menor que 204 Kg/Cm^2 .

- Concreto de resistencia media: son los concretos que presentan una resistencia de 204 a 408 Kg/Cm^2 a compresión.

- Concreto de Alta Resistencia: es un concreto con más de 408 Kg/Cm^2 de resistencia a la compresión.

En la actualidad existen muchos tipos de concreto más que los mencionados anteriormente, los cuales constan de más elementos agregados a la mezcla con el fin de obtener alguna característica especial de ese concreto, un ejemplo de ello es el concreto con fibra metálica que comienza a utilizarse en el país con el fin de mejorar la resistencia a la tensión de los concretos para pavimentos.

2.2.3 Pruebas para el concreto fresco.

El concreto, como cualquier material hecho de varios componentes, que tienden a formar un solo material homogéneo, debe tener un estricto control de calidad especialmente cuando es utilizado para la construcción de superestructuras, que durante toda su vida útil estarán sometidas a esfuerzos considerables e inesperados donde se debe preservar la seguridad ante un colapso.

El principal control de calidad que se le debe rendir al concreto esta en su fase de frescura, sin dejar la importancia de un buen diseño, correcta elección de los materiales, proceso constructivo y mantenimiento. Este control de calidad del estado fresco, está basado no en más que cumplir con requisitos y normas establecidas para tal estado.

A continuación se presentaran las principales pruebas para el control de calidad del concreto desarrolladas por la ASTM (American Society for Testing of Materials) de Estados Unidos.

2.2.3.1 Muestreo de Concreto Fresco.

Es de importancia mencionar la obtención de muestras verdaderamente representativas para las pruebas de control. Si el muestreo es representativo, se corre menos riesgo que el resultado de las pruebas pueda ser engañoso.

La especificación ASTM C-172 presenta el procedimiento para un buen muestreo del concreto fresco y su manejo durante la ejecución de las pruebas. Con excepción de la prueba rutinaria de revenimiento y contenido de aire, este método requiere que la muestra sea de por lo menos 20 litros, que se utilice dentro de los 15 minutos a su obtención y que se proteja durante este periodo de la luz directa del sol, del viento, así como otras fuentes de evaporación acelerada.

(Ver la especificación ASTM C-172 mas actualizada, en anexos)

2.2.3.2 Consistencia.

La prueba de revenimiento, esp. ASTM C-143, es el método de mayor aceptación que generalmente se utiliza para medir la consistencia del concreto.

El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (un molde de metal de forma cónica de 30 cm de altura con diámetro de 20 cm en la base y de 10 cm en la parte superior) y una barra de acero (de 15.9 mm de diámetro y 61 cm de largo) que tenga una punta de forma semiesférica. (Ver la especificación ASTM C-143 últimamente actualizada, en los anexos)

Un alto de revenimiento señala a un concreto húmedo o fluido. Esta prueba debe iniciarse dentro de los 5 minutos después de la obtención de la muestra y deberá completarse en 2.5 minutos, ya que el concreto pierde revenimiento con el tiempo.

Otras pruebas de consistencia son la prueba británica del factor de compactación, la prueba alemana de la mesa de flujo (DIN 1048) y el cono invertido de revenimiento para concretos fluidos y con fibras.



Fig 3. Prueba de revenimiento para medir consistencia del concreto fresco

2.2.3.3 Medición de la temperatura del concreto.

Debido a la importante influencia que la temperatura del concreto tiene sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido, la mayoría de especificaciones limitan a la temperatura del concreto fresco. Se pueden utilizar termómetros de vidrio o corazas. El

termómetro deberá tener una precisión de 0.50 °C (ver figura abajo) y deberá permanecer dentro de la muestra representativa un tiempo mínimo de 2 minutos.

Una porción de 7.5 cm. deberá rodear la porción sensitiva del termómetro. El procedimiento para la toma de la temperatura del concreto, tanto en campo como en laboratorio, esta descrito por la especificación ASTM C-1064. (Ver ésta especificación actualizada del 2003, en los anexos de este estudio)

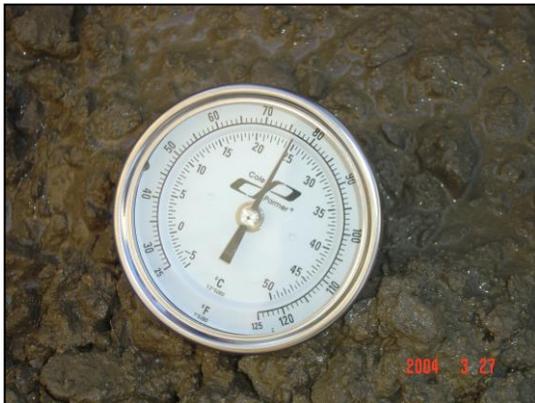


Fig 4. Medición de la temperatura de un concreto por medio de un Termómetro normalizado por la esp. ASTM C-1064.

Nota: este termómetro fue el utilizado en este estudio.

2.2.3.4 Peso Volumétrico y Rendimiento.

El peso volumétrico y rendimiento del concreto fresco se determinan de acuerdo con la ASTM C-138. Los resultados pueden ser suficientemente exactos para determinar la cantidad de concreto producida por mezcla. Esta prueba también da cierta indicación del contenido de aire si se conocen los pesos específicos de los ingredientes.

El tamaño del recipiente utilizado para determinar el peso volumétrico y el rendimiento varían según el tamaño del agregado; el recipiente de 14 litros se utiliza normalmente con agregados de hasta 51 mm (2"). Se debe tener cuidado de consolidar correctamente y enrazar la superficie de manera que el recipiente quede adecuadamente lleno. El peso volumétrico debe expresarse en Kilogramos por Metro cúbico. (Ver especificación ASTM C-138 en los anexos de este documento)



Fig 5. Peso del concreto en bascula digital de 0.05 Kg de precisión con un recipiente de 14 litros.

2.2.3.5 Contenido de Aire de la mezcla.

Se puede hacer uso de varias especificaciones para medir el contenido de aire del concreto fresco. Las especificaciones ASTM incluyen el método de presión C-231, el método volumétrico C-173 y el método gravimétrico C-138. En este estudio se ha utilizado el método descrito por la ASTM C-231.

El método de presión se basa en la ley de Boyle, en la cual relaciona la presión con el volumen. Algunos de los medidores (como el utilizado en este estudio) están calibrados para leer el contenido de aire directamente. Estos medidores de presión son usados ampliamente porque ni las proporciones de la mezcla ni los pesos específicos del material necesitan ser conocidos y se realiza la prueba en menor tiempo que otros métodos.



Fig 6. Aparato para la medición del contenido de aire de una mezcla de concreto, según la especificación ASTM C-231 "Método de Presión", también se puede apreciar la pipeta para la introducción de agua al recipiente. Este fue el aparato que se utilizará para la determinación del contenido de aire en la realización de este estudio.

2.2.3.6 Tiempo de Fraguado.

Para el productor, es necesario que el concreto llegue a la obra con el grado de manejabilidad deseado. Para el constructor es importante que el concreto pueda ser vibrado hasta cierto tiempo después de depositado en las formaletas y así remover los encofrados lo más rápido posible para utilizarlos en otros puntos de la obra. Para un fabricante puede ser deseable que el concreto fragüe rápido para usar más veces al día los moldes y poder mover los elementos prefabricados a los patios de almacenamiento en pocas horas después de vaciado el concreto. Prácticamente todo lo dicho anteriormente es parte de la importancia del conocimiento de los tiempos de fraguado de una mezcla en particular que se haya diseñado para un trabajo específico.

Las reacciones entre el cemento y el agua son la causa principal del fraguado del concreto aunque por varias razones, el tiempo de fraguado del concreto no coincide con el tiempo de fraguado del cemento con el que ha sido elaborado.

Los fenómenos de rigidización fraguado y endurecimiento son manifestaciones físicas de las reacciones progresivas de hidratación del cemento. Además los tiempos, inicial y final del fraguado del

cemento son los puntos definidos arbitrariamente por el método de prueba, que determinan el inicio de la solidificación de la pasta de cemento.

Igualmente, el fraguado del concreto es definido como el inicio de la solidificación de una mezcla de concreto fresco. Tanto el tiempo inicial como el final de una mezcla de concreto, son definidos arbitrariamente por un método de prueba como es el método de resistencia a la penetración **ASTM C 403 "Prueba para tiempo de fraguado de concreto mezclado por medio de la resistencia a la penetración"**, que se describe a continuación.

El tiempo inicial de fraguado y el tiempo final de fraguado, medidos por los métodos de resistencia a la penetración, no hacen una distinción específica entre las características físico-químicas de la pasta de cemento; son solamente puntos funcionales en el sentido de que el primero define el límite del manejo y el segundo define el comienzo del desarrollo de resistencia mecánica.

El **Fraguado Inicial** representa aproximadamente el tiempo en el que el concreto fresco no puede ya ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado; el **Fraguado Final** representa aproximadamente el tiempo después del cual la resistencia comienza a desarrollarse a velocidad significativa.

El conocimiento de los cambios en las características del concreto como se define por los tiempos de fraguados, puede ser de valor considerable, valor en la programación de las operaciones en la construcción con concreto, como se mencionó al principio de este tema. En forma breve, se puede decir que la prueba consiste en retirar la fracción de mortero del concreto, compactándolo en un recipiente estándar y midiendo la fuerza requerida para hacer que una aguja penetre 25 mm en el mortero.

Los tiempos de fraguado se determinan a partir de la curva de velocidad de solidificación obtenida del trazo lineal de los datos, con el tiempo transcurrido como la abscisa y la resistencia a la penetración como la ordenada.

Los fraguados inicial y final son definidos como los tiempos en los cuales la resistencia a la penetración es 3.5 Mpa y 27.6 Mpa, respectivamente.

Es de gran importancia mencionar, que estos puntos arbitrariamente elegidos no indican la resistencia del concreto; en realidad, a 3.5 Mpa de resistencia a la penetración, el concreto no tiene resistencia a la compresión, mientras que a 27.6 Mpa de resistencia a la penetración, la resistencia a la compresión puede ser solo de aproximadamente 0.70Mpa.

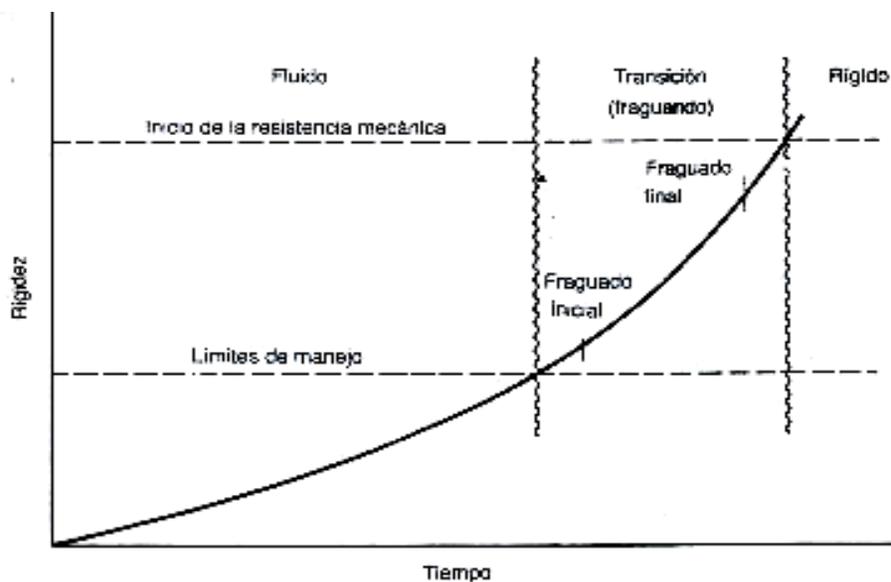


Fig 7. Avance del fraguado y endurecimiento en el concreto. (de S. Mindess y J. F. Young, Concrete 1981)

Los factores que controlan los tiempos de fraguados son la composición del cemento, la relación agua/cemento, la temperatura y los aditivos. Puesto que los fenómenos de fraguado y endurecimiento en una pasta de cemento hidratada son influidos por el llenado de espacios vacíos con los productos de la hidratación, la relación agua/cemento afectara obviamente los tiempos de fraguado. Por lo tanto, los datos de tiempo de fraguado en una pasta de cemento no coinciden con los tiempos de fraguado del concreto que contenga el mismo cemento, porque las relaciones agua/cemento en los dos casos son por lo regular diferentes. Generalmente cuanto mayor sea la relación agua/cemento mayor serán los tiempos de fraguados.

Los efectos de la composición del cemento, la temperatura y los aditivos retardantes en las velocidades típicas de fraguado obtenido por la prueba del ASTM C-403 se muestran en el grafico a continuación.

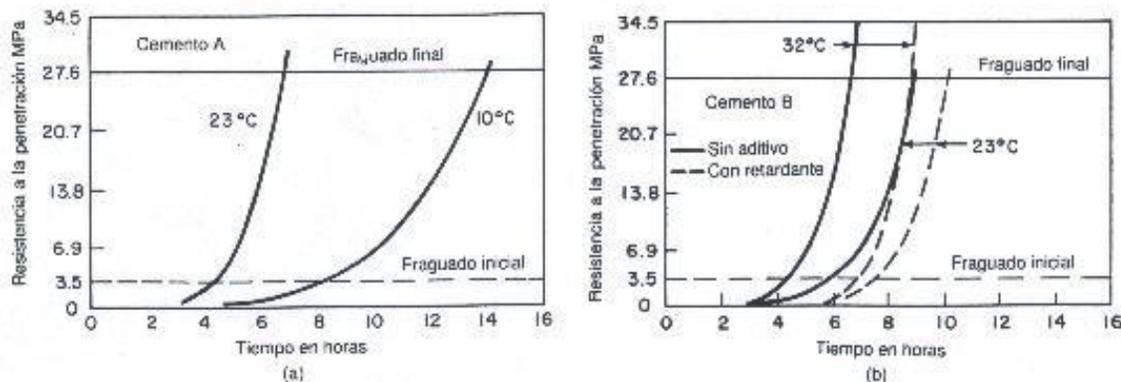


Fig 8. a) Efecto de la temperatura en los tiempos inicial y final de fraguado del concreto (ASTM C-403), b) Efecto de un aditivo retardante en los tiempos de fraguado del concreto (ASTM C-403).

Cuando una mezcla de concreto ha sido elaborada con cemento A y almacenada a 10°C en lugar de 23°C, el tiempo inicial y final de fraguado se retardan aproximadamente en 4 y 7 horas respectivamente. Con el cemento B y un aditivo retardante del fraguado, el efecto retardante del aditivo resulto mayor a temperatura más alta.

A continuación se presenta el equipo utilizado para la determinación de los tiempos de fraguado de una mezcla de concreto, según los procedimientos descritos por la esp. ASTM C-403. (Ver especificación ASTM C-403 en los anexos de este documento)



Fig 9.1) Dispositivo para ensayo de tiempo de fraguado, 2) Agujas de punta plana con área de sección transversal circular, utilizadas para medir la resistencia a la penetración según ASTM C-403.

2.2.4 Propiedades del Concreto Endurecido.

Para la selección de los materiales, la ingeniería toma en cuenta la resistencia de los mismos ante las cargas aplicadas.

Dependiendo de cómo el esfuerzo actúa en el concreto, son distinguidos unos de otros, como por ejemplo tensión, compresión, flexión, cortante y torsión.

La resistencia a la compresión, es la razón mas adecuada de la teoría del esfuerzo de trabajo que se emplea para el diseño del concreto; y esta resistencia es una función del proceso de hidratación del cemento en forma lenta.

Entre las propiedades mas importantes de una mezcla de concreto endurecida están:

- a) Impermeabilidad.
- b) Durabilidad.
- c) Resistencias mecánicas: compresión, tensión, flexión, cortante, fatiga, impacto, abrasión y cavitación.
- d) Cambios volumétricos: contracción, expansión, deformación elástica, deformación plástica.
- e) Resistencia al fuego y a las radiaciones.
- f) Propiedades térmicas, acústicas y eléctricas.

Para el interés más representativo de este estudio, en seguida se tratara únicamente las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto endurecido:

2.2.4.1 Resistencia.

En los sólidos, existe una relación inversa fundamental entre la porosidad (la parte de huecos presente en el volumen) y la resistencia. Por lo tanto, en materiales de múltiples fases como el concreto, la porosidad de una estructura puede convertirse en un límite de la resistencia mecánica que se desarrolla inicial y continuamente.

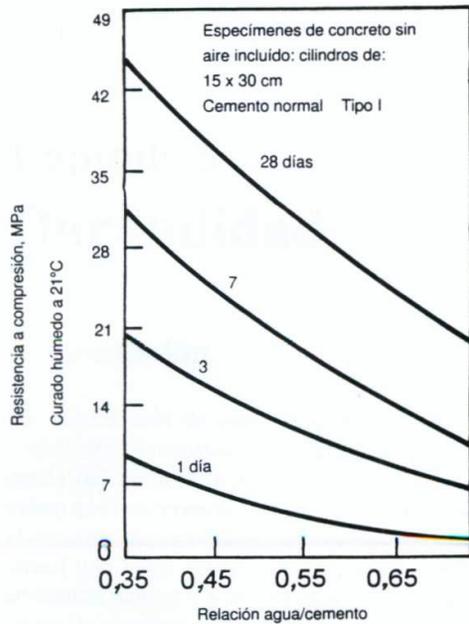
El concreto contiene espacios vacíos de varios tamaños y formas en la matriz, y microgrietas en la zona de transición entre la matriz y los agregados gruesos, por ello los modos de falla bajo esfuerzo son muy complejos y variables.

Bajo tensión uniaxial, se necesita mucho menos esfuerzo para el inicio y desarrollo de las grietas en la matriz. En compresión, el modo de falla es menos frágil porque se necesita energía considerablemente mayor para formar y para expandir las grietas en la matriz.

Además, la resistencia del concreto en estado endurecido, depende no solamente del tipo de esfuerzo, sino también de una combinación de varios factores que influyen en la porosidad de los distintos materiales componentes. Estos factores incluyen *las propiedades y las proporciones de los materiales, el grado de compactación y las condiciones de curado.*

Desde el punto de vista de la resistencia, la relación existente entre la relación agua/cemento y la porosidad, es indudablemente el factor mas importante, porque independiente de otros factores afecta la porosidad de ambos, la matriz de la pasta de cemento y de la zona de transición entre la matriz y el agregado grueso.

Aunque la respuesta real del concreto al esfuerzo aplicado es un resultado de complejas interacciones entre varios factores, para



entenderlos, la resistencia a la compresión se analiza separadamente bajo tres categorías:

Características y proporciones de los materiales, Condiciones de curado y los parámetros de prueba.

Fig 10. Influencia de la relación agua/cemento y de la edad de curado húmedo en la resistencia del concreto. (Tomado de: *Design and Control of Concrete Mixtures*, 13° Ed, PCA, Stokie, III, 1988)

2.2.4.2 Durabilidad.

Mientras que el concreto correctamente constituido, colocado y curado, ofrece una larga vida de servicio ante la mayoría de los ambientes naturales e industriales, ocurren fallas prematuras en las estructuras del concreto que representan valiosas lecciones para controlar los factores responsables de la falta de durabilidad.

Según el comité ACI 201, se define la durabilidad del concreto como la capacidad para resistir a la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro; es decir el concreto durable retendrá su forma original, su calidad y su servicio, cuando se exponga a su medio ambiente.

El agua es el agente principal tanto de la creación como de la destrucción de muchos materiales naturales, también sucede que es el centro de la mayoría de los problemas de la durabilidad del concreto. A diferencia de las rocas y de los minerales, el concreto es un material básico (ya que los compuestos de alcalinos de calcio constituyen los productos de hidratación de la pasta de cemento Pórtland); por lo tanto, se espera que las aguas acidas sean particularmente dañinas para el concreto. Pero el concreto no es un material vulnerable solamente a los procesos de deterioro físico y químico asociados con el agua.

La expansión del concreto puede tener lugar al principio sin daño alguno, pero el aumento de los esfuerzos internos finalmente se manifiesta por el cierre de las juntas de expansión, deformación y desplazamientos en diferentes partes de la estructura, agrietamiento y descascaramiento. Los cuatro fenómenos asociados con las reacciones químicas expansivas que podrían provocar la no durabilidad del concreto son: ataque de sulfatos, ataque álcali-agregado, hidratación retardada del CaO y el MgO libres y corrosión del acero en el concreto.

2.2.5 Diseño de mezclas de concreto de peso normal según ACI 211.1

Para poder diseñar mezclas de concreto de peso normal, en este trabajo se sigue el procedimiento descrito por el reglamento de la American Concrete Institute 211.1 el cual se detalla a continuación.

2.2.5.1 Generalidades:

La estimación del peso de la mezcla para concreto requerido, implica una secuencia de pasos lógicos y directos, que de hecho, ajustan las características de los materiales disponibles a una mezcla adecuada para un trabajo requerido.

El ACI proporciona nueve pasos necesarios para diseñar una mezcla de concreto y poder al mismo tiempo realizar las pruebas de laboratorio requeridas para verificar las mezclas diseñadas.

El concreto se diseña, según el peso, en kilogramos por metro cúbico de concreto fresco. Cada uno de los factores que se ven involucrados en la mezcla tienen relación entre si, ya que al momento de hacer los ensayos en el laboratorio, existen varios factores que pueden afectar de alguna u otro forma cualquiera de las características esperadas del concreto; es por eso que cuando se hace un diseño de mezcla para un concreto con unas características determinadas, no se puede asegurar que ese diseño será el óptimo, y que siempre producirá los mismos resultados en cualquier lugar o situación específica.

Lo anterior significa que un diseño de mezcla no es una camisa de fuerza que hay que seguirla al pie de la letra y no debe alterarse en absoluto, ya que usando el mismo diseño de mezcla y aun bajo condiciones similares de humedad y temperatura, siempre se producen resultados que varían de una bachada con respecto a otra.

Lo dicho no significa que el diseño este malo, sino que siempre es necesario hacer pequeños ajustes a la mezcla para obtener las características que se requieren del concreto.

2.2.5.2 Procedimiento:

Primer paso: Elección del revenimiento.

Cuando no se especifica el revenimiento, se puede seleccionar un valor apropiado para la obra según la tabla 6.3.1 del ACI 211.1 que se muestra en los anexos. En dicha tabla se proporcionan un rango de valores sugeridos según sea el uso del concreto y tipo de obra que se vaya a realizar.

Segundo paso: Elección del tamaño máximo nominal del agregado.

Se debe buscar el tamaño máximo nominal de los agregados que pueda ajustarse a las necesidades de la obra, y que no afecte en ningún caso las propiedades buscadas en la estructura. Cuando un agregado de tamaño mayor está bien graduado, se obtiene la ventaja que se generan menos huecos, lo que contribuye a disminuir la cantidad de mortero requerido por volumen unitario de concreto.

Las restricciones del tamaño máximo nominal del agregado indican que éste en ningún caso debe:

- Ser mayor de $1/5$ de la menor dimensión de los lados del encofrado.
- Ser mayor de $1/3$ del espesor de la losa
- Ser mayor de $3/4$ del espacio libre mínimo entre varillas individuales de refuerzo, paquetes de varilla o torones de pretensado.

Se debe tener especial cuidado al momento de la elección del tamaño máximo nominal del agregado, ya que una mala elección puede producir una segregación excesiva en el concreto ocasionando consecuentemente, una estructura defectuosa.

Tercer paso: Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire.

La cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, así como de la cantidad de aire incluido, y el uso de aditivos químicos. No afecta significativamente el contenido del cemento o materiales cementantes dentro de sus niveles normales de empleo (bajo circunstancias favorables el uso de algunos aditivos minerales finamente divididos pueden reducir un poco los requerimientos de agua).

En la Tabla 6.3.3 del reglamento del ACI 211.1 (ver Anexos) aparecen valores estimados del agua de mezclado que se requiere para concretos hechos con diversos tamaños máximos de agregado, con y sin aire incluido. Según sea la textura y forma del agregado, los requerimientos de agua de mezclado pueden estar ligeramente por encima o por debajo de los valores tabulados, pero son lo suficientemente aproximados para un primer cálculo. Estas diferencias en el requerimiento de agua no se reflejan necesariamente en la resistencia, ya que pueden estar implicados otros factores de compensación.

Se presentan además, en el reglamento en cuestión, referencias de adición de aditivos químicos, para cuando el concreto sea expuesto a condiciones de exposición ligera moderada o severa; si ese fuera el caso, siempre en la misma tabla 6.3.3 del ACI se presentan los valores correspondientes de agua de mezclado y aire atrapado para cada uno de los casos o condiciones especiales mencionadas anteriormente.

Para nuestro caso el concreto será un concreto de peso normal, sin aditivos ni aire incluido y sin exposición alguna.

Cuarto paso: selección de la relación agua cemento.

La relación agua/cemento requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad. Debido a que diferentes agregados, cementos y materiales cementantes producen generalmente resistencias diferentes empleando la misma relación agua/cemento, es muy deseable establecer una relación entre la resistencia y la relación agua/cemento para los materiales, que de hecho se van a emplear. En ausencia de estos datos, se pueden tomar los datos mostrados en la Tabla 6.3.4 del ACI 211.1 (a) (que se muestra en los anexos). Estos valores aproximados y relativamente conservadores se usan para concretos que contengan cemento Pórtland Tipo 1. Con materiales comunes, las relaciones tabuladas de agua/cemento deben producir las resistencias indicadas, con base en pruebas a los 28 días de muestras curadas en condiciones normales de laboratorio. La resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos. Para condiciones de exposición severas la relación agua/cemento se debe mantener baja, aun cuando los requerimientos de resistencia puedan cumplirse con valores mayores. En la Tabla 6.3.4 (b) siempre del ACI 211.1 (que se muestra en los anexos) aparecen los valores límite.

Cuando en el concreto se adiciona puzolanas naturales u otros elementos finamente molidos, se debe considerar una relación agua/cemento más puzolana.

Quinto paso: Cálculo del contenido de cemento

La cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en el tercero y cuarto paso. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado, dividido entre la relación agua cemento ya calculadas anteriormente.

Sexto paso: Estimación del contenido de agregado grueso.

Para poder obtener la cantidad de agregado grueso necesaria por volumen unitario de concreto se debe multiplicar el factor obtenido de la tabla 6.3.6 del ACI 211.1 por el peso volumétrico seco varillado del agregado, en términos resumidos. Para poder obtener este factor se debe utilizar el tamaño máximo nominal de agregado (ya calculado anteriormente), y el modulo de finura de la arena que será utilizada. El contenido de agregado grueso puede llegar a afectar la trabajabilidad, y aun más si el tipo de concreto será depositado con bomba. Por eso debe tenerse cuidado con la proporción de agregado grueso escogido.

Séptimo paso: Estimación del contenido de agregado fino.

A estas alturas, ya se tiene el peso de todos los componentes del concreto excepto el agregado fino (arena). El agregado fino puede determinarse por diferencia, y existen dos métodos con los cuales se puede calcular la cantidad de agregado fino necesaria para fabricar un metro cúbico de concreto con características específicas.

El primer método se basa en el peso del concreto, y por consiguiente, si se conoce el peso del concreto y el peso de los demás componentes excepto la arena, por diferencia puede calcularse este peso necesario de agregado fino.

A menudo se conoce bastante el peso volumétrico del concreto por experiencia, pero en caso de no conocerse, el ACI proporciona la tabla 6.3.7.1 donde se muestra la primera estimación del peso del concreto. Cuando se desee un valor más exacto del peso del concreto por metro cúbico se puede emplear la siguiente expresión.

$$U = 10.0 G_a (100 - A) + C (1 - G_a/G_c) - W (G_a - 1)$$

Donde:

U = peso del concreto fresco por metro cúbico, Kg
Ga = promedio pesado del peso específico de la combinación de agregado fino y grueso, a granel, SSD.
Gc = Peso específico del cemento (generalmente 3.15)
W = Requerimiento de agua de mezclado, Kg/mt³
C = Requerimiento de cemento en Kg/mt³

El segundo método es más exacto, ya que se basa en el volumen que todos los materiales ocupan en el volumen unitario de concreto. Por tanto el proceso consiste en restar al volumen unitario de concreto el volumen ocupado por cada uno de los materiales que ya se tienen (en este caso el cemento, la grava, el agua y el aire), quedando de la diferencia, el volumen de arena necesario.

Octavo paso: ajustes por humedad del agregado.

Las cantidades de agregado que realmente se deben pesar para el concreto deben considerar la humedad del agregado. Los agregados están generalmente húmedos y sus pesos secos se deben incrementar con el porcentaje de agua, tanto absorbida como superficial, que contienen. El agua de mezclado que se añade a la mezcla propuesta se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

Pero también puede darse el caso que utilicen agregados que estén completamente secos al momento de fabricar el concreto.

Si la absorción (normalmente medida después de saturar los agregados con agua un día) es mayor en aproximadamente uno por ciento y la estructura porosa propia de las partículas del agregado es tal que una fracción significativa de la absorción ocurre durante el tiempo anterior al fraguado inicial, puede haber un aumento notable en la velocidad de pérdida de revenimiento, debida a una disminución efectiva del agua de mezclado. También la relación agua/cemento efectiva se puede reducir por el agua absorbida por el agregado antes

del fraguado; esto, por supuesto, considerando que las partículas de cemento se introducen dentro de los poros del agregado.

Mezclas de prueba

Los procedimientos para mezclas de prueba de laboratorio por medio de la ASTM C 192, permiten el cargado en laboratorio de agregados secados al aire si su absorción es menor del 1.6 por ciento, como tolerancia por la cantidad de agua que puede absorber el cemento antes de fraguar. En la ASTM C 192 se sugiere que se puede suponer que la cantidad absorbida es el 60 por ciento de la diferencia entre la cantidad real de agua en los poros del agregado en su estado seco al aire y su absorción nominal a 24 horas determinada de acuerdo con ASTM C 127 ó C 128.

Noveno paso: ajustes en las mezclas de prueba.

Las proporciones calculadas de la mezcla se deben verificar mediante mezclas de prueba, preparadas y probadas según la ASTM C - 192. Los ajustes a los que se refiere incluyen el usar solo el agua necesaria para producir el revenimiento deseado, independientemente de la cantidad supuesta al dosificar los componentes de la prueba. Con los ajustes se debe lograr evitar la segregación así como otros desperfectos en las superficies de concreto.

Con respecto al ajuste del agua de mezclado, la cantidad estimada de agua de mezclado para producir el mismo revenimiento que el de la mezcla de prueba, sería igual a la cantidad neta de agua de mezclado empleada, dividida por el rendimiento de la mezcla de prueba en m³. Si el revenimiento de la mezcla de prueba no es el correcto, increméntese o redúzcase nuevamente el contenido estimado de agua en 2 kg por metro cúbico de concreto por cada centímetro de incremento o reducción del revenimiento.

Con respecto al peso unitario del concreto fresco, si éste es menor al estimado en el diseño, se deben hacer las modificaciones adecuadas

en el contenido de aire, ya que cuanto mas aire contiene una mezcla, su peso disminuye. Por tanto, habrá que corregir el aire incluido en el concreto (si este fuera el caso).

Y finalmente, para calcular los nuevos pesos de la mezcla, se iniciara el proceso desde el cuarto paso; si es necesario, se modificará el volumen de agregado grueso de la Tabla 6.3.6, para obtener una trabajabilidad adecuada.

2.3 CONCRETO DE COLOR.

Los colores en las infraestructuras están por doquier, en adoquines, piedras, losetas, bancas para parques, jardines, paredes, tejas y muros subterráneos; además a manera de grafitos.

El creciente uso de color tanto en la matriz de cemento como en el agregado expuesto ha hecho posible producir patrón con diseños atractivos y efectos especiales en las superficies del concreto colado en obra y los precolados.

Los cementos, los agentes colorantes, la arena, los agregados, los acabados superficiales y hasta las sombras de los relieves han influido en la apariencia final del concreto.

Tres han sido las formas de conseguir superficies de concreto visto coloreadas: pintando la superficie endurecida a los 28 días con ácidos, incorporando agentes colorantes a la mezcla en estado fresco que extienden el color a toda la masa de concreto; y mediante la fabricación de concreto con agregados de diverso color. La segunda de ellas es la que mas ha conseguido en principio una situación de color muy duradera, con un bajo costo de mantenimiento, siempre que la elección del agente colorante, relación agua/cemento, color y granulometría de los áridos sean los adecuados.

Este estudio comprende y se enmarca, en esta segunda forma de colorear, o sea a través de la incorporación del colorante en la mezcla, pues el pigmento de añil se obtiene en polvo, como resultado del proceso de extracción.

Respecto a este uso de colorante en la matriz del cemento, se han creado muchas formas de colorear el concreto, pero decidir sobre cual sea la mejor para un trabajo determinado, ha sido siempre una situación que lleva a la investigación y realización de pruebas previamente a la construcción de los elementos donde se aplicara.

Unos de los procesos o técnicas más conocidas de coloración del concreto fresco, debido a experiencias en años anteriores y con resultados satisfactorios son las que utilizan los materiales que se mencionan a continuación³:

- Cementos blancos y coloreados.
- Aditivos Colorantes.
- Pigmentos de óxido mineral.
- Colorantes químicos.
- Polvos colorantes con endurecedores.

En los sistemas de color integral, la matriz de concreto acondicionada con color puede producir resultados que son al menos tan aceptables como cuando se utilizan agregados exóticos y caros. En el concreto a la vista, ha jugado un papel importante la "piel", que es la cara expuesta al ambiente, y la responsable de la resistencia a la intemperie y del color del concreto a la vista. La piel esta formada por el cemento y los finos del agregado. Al agregar pigmento, éste pasa a formar parte de los finos de la mezcla, de los cuales dependerá el color de la superficie del concreto.

Los pigmentos usados para colorear el concreto han sido materiales que se han caracterizado por ser solubles, 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 además de quedar embebidos, con los finos del cemento cuando endurezca el concreto.

De manera general y como complemento a las características que se enuncian de los pigmentos, a éstos se les ha pedido 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 y muy importante es el costo económico.

³ Dadney, Charles M. "Cinco Formas de Colorear Concreto", publicado en la revista Concrete Construction, Vol. 27, num., 1

En algunos países, el uso del concreto 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 estas regulaciones 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-979-99** "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 concreto íntegramente coloreados.
- **DIN 53 237** "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.
- **GUÍA ACI 212**. Destinada al empleo de aditivos en el concreto, insta a la realización de ensayos de laboratorio sobre las propiedades del concreto aditivado. Advierte acerca de la posibilidad de modificación de propiedades con el empleo de aditivos minerales finamente divididos. Dedicó un pequeño apartado, el 7.5, a los aditivos colorantes, indicando los adecuados según el color deseado y señalando los requisitos exigibles a éstos. Las dosificaciones menores a 6% de peso en cemento no alteran las propiedades del concreto. 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.

Es importante destacar que estas normativas son aplicables a concretos fabricados con cementos Pórtland y para los productos de cemento Pórtland, sin embargo no se podría deducir de esto que los pigmentos especificados en dichas normativas no podrían ser utilizados satisfactoriamente con cementos que no sean Pórtland. El mismo comentario es aplicable a los pigmentos no cubiertos por esas normas.

2.3.1 Coloración de Concreto con Cemento Blanco y de Color.

Concreto a base de Cemento Blanco.

La cualidad principal del material "concreto", es su resistencia, pero un diseño arquitectónico le exige a un material macizo, mucho más que simple facilidad para su manejo en obra o ciertas cualidades mecánicas.

La arquitectura es un arte de síntesis que tiende a un lenguaje más expresivo y más legible. El deseo de utilizar un mismo material para la estructura, las formas que la envuelven y la fachada, que, bajo la luz le da vida, pertenecen a la evolución más auténtica de la arquitectura y la ingeniería civil, como muestra la siguiente figura.

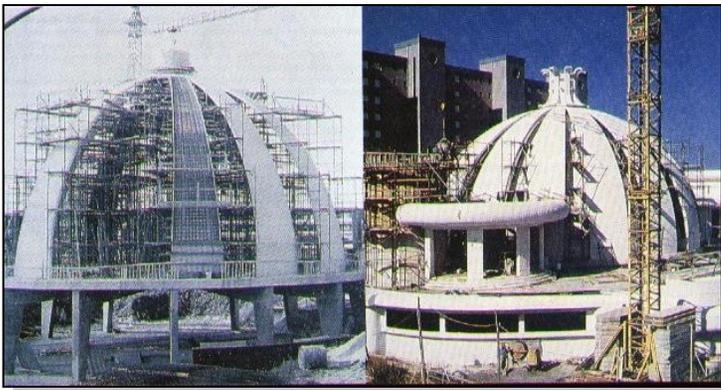


Fig 11. Proceso constructivo de una capilla, construida con concreto blanco, mediante el uso de cemento blanco.

Las primeras grandes realizaciones en lograr esta síntesis han sido las obras de ingeniería civil: Puentes, presas, etc. Pero el concreto de cemento blanco ha ofrecido a este respecto nuevas y extraordinarias posibilidades. Además de su capacidad de responder a las exigencias más audaces de resistencia, y de su facilidad para adaptarse a los volúmenes más complejos y originales, posee una gama infinita de superficies, de la más lisa a la más rugosa, de la más neutra a la más intensa, de la más refinada a la más tosca o rugosa. El concreto blanco es un concreto elaborado total o parcialmente a base de cemento blanco, que se caracteriza por ser un cemento Pórtland de composición particular de color blanco puro, exenta de óxidos metálicos. La coloración del concreto obtenida finalmente depende adicionalmente de los agregados (arenas, gravas) y de los aditivos (pigmentos, etc.) que se utilicen.

Los componentes del concreto blanco⁴

- ▶ **Cemento:** El cemento empleado total o parcialmente ha sido un cemento Pórtland "blanco" de acuerdo a las especificaciones de la norma A.S.T.M C-150.
- ▶ **Agregados:** Siempre deben estar perfectamente limpios y corresponder a las especificaciones de las normas. Su granulometría se determina en función de las cualidades y el aspecto deseado.
- ▶ **Agua:** Se ha recomendado asegurarse de que el agua para la mezcla no contenga partículas ferruginosas en suspensión y que no esté contaminada.
- ▶ **Aditivos:** Siempre se ha recomendado emplear solamente productos reconocidos, de que no tengan ningún efecto sobre el color o el aspecto final del concreto, diferente al deseado. Estos aditivos pueden ser retardantes, plastificantes, incorporadores de aire, etc.

⁴ Según "Especificaciones Técnicas para los Concretos a la vista de Cemento Blanco", revista publicada por el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.

Características del Concreto Blanco.

Las características de los concretos de cemento Pórtland blanco son equivalentes a las que se obtienen con los mejores cementos Pórtland de color gris. A continuación se mencionan brevemente las principales características de los concretos de cemento blanco.

Mecánicas: Los cementos blancos que cumplan las normas, permiten obtener concretos que resistan esfuerzos a:

Compresión, de más de 50 MPa, (510 kgf/cm²) a los 28 días.

Flexión, de más de 6 MPa, (61,2 kgf/cm²) a los 28 días.

El módulo de elasticidad instantánea es alto, alrededor de 45.000 MPa (458.900 kgf/cm²).

Acústicas: Los ruidos se dividen por lo general en: ruidos de impactos (de transmisión por la masa) y ruidos aéreos (de transmisión por el aire). El concreto por su densidad (2,30 a 2,40 t/m³) se comporta muy bien ante los ruidos aéreos: El aislamiento acústico de una pared o de una losa simple es mayor cuanto más pesada sea.

Térmicas: El concreto, debido al agua de mezcla, a su punto de fusión elevado y a su calentamiento lento, conserva buena parte de su resistencia a altas temperaturas. Un edificio en concreto se clasifica generalmente como una construcción incombustible, lo que lo hace singular en materia de seguridad.

El conjunto de cualidades y características de los concretos a base de cemento blanco permite que se emplee:

- En toda clase de construcciones: Viviendas, edificios, obras de ingeniería civil, etc.
- En toda clase de concretos: Reforzados, pretensados, vaciados en obra o prefabricados.
- Con toda clase de técnicas de ejecución y de tratamientos.

Para El Salvador la empresa Cemento de El Salvador (CESSA), exporta cemento blanco Pórtland tipo I bajo la norma ASTM C-150 desde Colombia, fabricado con cantidades mínimas de hierro y óxidos de manganeso, de gran calidad, pero los constructores y diseñadores no están muy familiarizados con el uso de concreto blanco debido a su acostumbramiento y confianza en el uso de cemento gris; la utilización del cemento blanco esta únicamente en su mayoría destinado a obras de albañilería como: pegamentos de cerámica, azulejos, revestimiento de porcelana, etc.; y últimamente en la fabricación de bloques de concreto arquitectónicos con adiciones de pigmentos.

Con respecto a los costos económicos de construir con cemento blanco, se tienen mayores inversiones en comparación a la construcción con cemento gris, pues el cemento blanco en nuestro país cuesta un 82% más que el cemento gris, no se pone en duda que éstos mayores costos se ven reflejados en la calidad y tipo de acabados que se obtiene con la utilización de cemento blanco.

También cabe mencionar que la creciente exigencia de gustos en la estética arquitectónica de las construcciones, acompañada de las seguridades estructurales, es cada vez más notable en El Salvador; por lo que no se descarta la posibilidad que el uso de concreto blanco masivo, represente una solución factible tanto económica como técnicamente en los acabados finales de los proyectos.

Concreto a base de Cementos Coloreados.

Como un segundo tipo de cemento Pórtland normal, pero de color, se encuentran los cementos coloreados intencionalmente para ser vendidos como un cemento coloreado especial.

Este cemento se puede encontrar en varios tonos de color opaco y algunos son muy brillantes, aunque por lo general pierden alguna intensidad con el tiempo. Excelentes resultados se pueden obtener al

combinar cementos coloreados con aditivos colorantes. Esto resulta más caro, pero algunas veces el color deseado no puede obtenerse de otra manera.

En nuestro país no se fabrica ni se encuentran a disposición cementos coloreados de ninguna clase, únicamente están disponibles en México, país que los fábrica, pero tienen un alto costo en comparación al cemento Pórtland gris normal por lo tanto no se ha recomendado mucho su uso.

2.3.2 Coloración de Concreto con Pigmentos en polvo, de uso integral.

Los pigmentos son finas partículas de polvo, químicamente inertes, insolubles en agua y que dotan de color al material al cual se añaden. Los usados para colorear el concreto, como ya se menciono 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.

2.3.2.1 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 del concreto, por lo que en su sustitución se utiliza la Pthalocianina con óxidos de cobre. En la tabla siguiente se presenta el color del pigmento y su composición química.

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	-	Lepidocroquita
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	-

Tabla. Composición Química de los pigmentos

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 da las primeras directrices en cuanto a que la composición química de los pigmentos no debería afectar las propiedades del concreto.

2.3.2.2 Clases de Pigmento Integral.

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 ocres. 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 que proceden 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 ocres como combinación de los dos anteriores, el dióxido de titanio para el color blanco y los óxidos naturales de cromo para la obtención del color verde.

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

Los pigmentos sintéticos son principalmente óxidos de hierro, cromo, cobalto y titanio.

Se debe escoger óxidos técnicamente puros, sin aditivos ni constituyentes secundarios. Asimismo, 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.

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 algunos países, a concretos coloreados con pigmentos sintéticos han comprobado que la adición de estos no influye negativamente en las propiedades del concreto, provocando en algunos casos, disminuciones en el asentamiento del cono (revenimiento) y en ningún caso disminuyen la resistencia del concreto. Por otra parte, estudios realizados en Chile revelan que la adición de pigmentos a morteros provoca una notable disminución de la resistencia mecánica de éstos⁵.

2.3.2.3 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 absorción de agua.

⁵ Según “Estudio Teórico-Experimental de la Técnica de Hormigones Colorados con Pigmentos Chilenos”, Barrera V. Hugo, OO. CC.U de Santiago de Chile, Ing. Civil en Obras Civiles, Chile, 1999

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

Las partículas de los pigmentos de alta calidad 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 cm²/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).

Esta finura es difícil de obtener a partir de la trituration 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.

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 partícula óptimo para conseguir un máximo de difracción de luz es inferior en los pigmentos de color que en los pigmentos blancos.

En la tabla siguiente se presentan el tamaño medio de las partículas de acuerdo a su color.

Color del pigmento	Tamaño medio de las partículas (μ)
Rojo	0,09 a 0,7
Negro	0,15 a 0,6
Amarillo	0,1x0,8 a 0,2x0,8
Verde	0,3 a 0,35
Blanco	0,3 a 0,5

Tabla: tamaño de las partículas de acuerdo a su color

Si bien los rangos de tamaño de partículas dan una noción básica acerca de dicha característica, es importante tener en cuenta, para no obtener colores indeseados, que dicha característica 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 expresa la cantidad de agua fijada por 100 gramos de pigmento. Se determina por el mismo procedimiento utilizado para la absorción de aceite que se establece en la norma ASTM D 281 31; basta solamente sustituir el aceite de linaza utilizado en estas normas por agua. En la tabla siguiente se presenta los porcentajes de absorción de agua para algunos colores de pigmento.

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

Tabla: absorción de agua de los pigmentos minerales

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

2.3.2.4 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 incidencias 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 períodos 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 removidos por que no se lavaron las muestras durante el tiempo de exposición. Sin embargo, se aprecia que el lavado recupera en alta medida la coloración original.

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 el cemento y los óxidos de hierro. Un estudio específico a concretos 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 concretos 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.

2.3.2.5 Porcentaje de Pigmento en la mezcla.

El pigmento se agrega en un porcentaje del peso seco del cemento. Mientras mayor es la cantidad de pigmento que se agregue a la mezcla, mayor es la intensidad del color del concreto. 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%.

2.3.2.6 Requerimientos normalizados.

La norma sobre pigmentos para la coloración integral del concreto ASTM-C979-99, especifica los requerimientos que deben cumplir los pigmentos y los métodos de ensayo correspondientes. También prescribe la incorporación de un máximo del 10% en peso del cemento. Las condiciones especificadas son las siguientes:

Humectabilidad en agua: El pigmento deberá ser humectable en agua.

Resistencia a los álcalis: El pigmento tratado con hidróxido de sodio no deberá mostrar ningún cambio significativo de color.

Sulfatos totales: Calculados como SO_3 , los sulfatos no deben exceder del 5.0% en peso de la muestra original del pigmento.

Solubilidad en agua: La materia total soluble en agua no debe exceder en 2.0% en peso de la muestra original del pigmento.

Estabilidad de curado atmosférico: La magnitud de las diferencias de color entre especímenes de concretos coloreados y curados en aire seco y aquellos curados a relativamente altas humedades, no deberán ser más grande que la magnitud de la diferencia de color entre dos especímenes no pigmentados y curados bajo las mismas condiciones.

Resistencia a la luz: La porción expuesta a la luz solar de los especímenes no deben mostrar diferencias significativas de color de las porciones no expuestas. Un pigmento que falla este ensayo no debe considerarse resistente a la luz. Sin embargo, un pigmento que cumple esta prueba puede deslucirse cuando sea expuesto a condiciones de intemperismo.

Efecto sobre la resistencia: El concreto pigmentado, al dosaje máximo prescrito, tendrá una resistencia a la compresión a los 28 días no menor que el 90% y una relación agua/cemento no mayor que 110% de la mezcla de control ensayada.

Acción sobre el fraguado: Cuando se añade el pigmento a una mezcla de concreto según el dosaje máximo prescrito no debe acelerar el fraguado inicial ni final por más de una hora, ni retardar la fragua inicial o final por más de 1.5 horas, en comparación a las mezclas de control.

2.3.2.7 Pigmentos en polvo para concreto en El Salvador.

En El Salvador, la técnica de emplear pigmentos en polvo de óxido mineral, es la más utilizada desde 1995 para la coloración de concreto en la fabricación de Bloques, Adoquines, Baldosas y Elementos Prefabricados; éstos pigmentos son importados de países como Alemania, Bélgica, Brasil, Estados Unidos y México.

Por su precio, calidad y suministro han tenido mucha aceptación en la Industria de la Construcción de nuestro país, aunque se hacen por pedidos especiales a los importadores cuando se requieren cantidades mayores. Actualmente, solo una de las más grandes empresas fabricadora de bloques y adoquines de concreto en El Salvador, consume un promedio de cuatro toneladas métricas de estos pigmentos por mes⁶. También a eso se le suma el consumo de pigmentos en la construcción de pavimentos y elementos prefabricados.

En cuanto a precios, éstos varían dependiendo del color que se desee, pero por lo general está costando alrededor de \$2.40 el kilogramo de pigmentos en colores como: el rojo, café, amarillo y negro; los colores: verde, negro carbón y azul están costando un promedio de \$3.70 por kilo, pero actualmente no tienen suministro. También los precios varían dependiendo de la marca de los pigmentos y de su procedencia, siendo los de más alto costo los importados de Alemania y los de menor costo son importados de México y Brasil.

⁶ Información obtenida de Fabrica de Bloques y Adoquines Saltex de El Salvador

2.3.2.8 Estudio de los efectos estéticos y las modificaciones del estado fresco y endurecido del concreto debido al uso de pigmentos integrales, realizado por Bayer.

Bayer, es una corporación mexicana fabricante de pigmentos de óxido de hierro para concreto, en la actualidad se ha distinguido por sus productos e investigaciones de alta calidad en el ámbito de los colorantes para productos cementicios.

El estudio que se presentara a continuación es parte de una publicación sobre el uso de los colorantes Bayferrox, que es la patente de los colorantes integrales de Bayer para el concreto.

El objetivo de presentar el estudio de Bayer, es sin lugar a dudas para que el lector de este trabajo también conozca los efectos producidos en el concreto por el uso de diferentes porcentajes de óxidos de hierro, como aditivos colorantes en la mezcla.

Es de importante aclaración, de que con esta presentación del estudio de la Bayer no se quiere hacer creer que el añil como un colorante integral del concreto se comportara de igual forma. Todo lo contrario, en este trabajo se plantea la idea, de cómo el concreto se ve afectado y la posibilidad técnica sobre su uso.

1) Poder colorante de los pigmentos

Existe variedad de pigmentos y entre ellos hay diferencias. Por ejemplo: Es posible que dos pigmentos rojos de óxido de hierro en polvo apenas se diferencien en su aspecto y con todo el primero de ellos puede tener el doble de rendimiento que el segundo. Para colorear el concreto lo decisivo es el poder colorante. Este, a su vez depende no sólo de la pureza del pigmento, es decir, del porcentaje de sustancia colorante que contiene dicho pigmento, sino también de su finura o granulometría no siempre un pigmento rojo que, en polvo, da un "rojo intenso", luego será también de mucho poder colorante. Una información fidedigna al respecto sólo se consigue después de un ensayo de laboratorio, mezclando una cantidad fija de pigmento con otra cantidad determinada de sulfato de bario o de cemento, o bien realizando una mezcla basada en las proporciones reales.

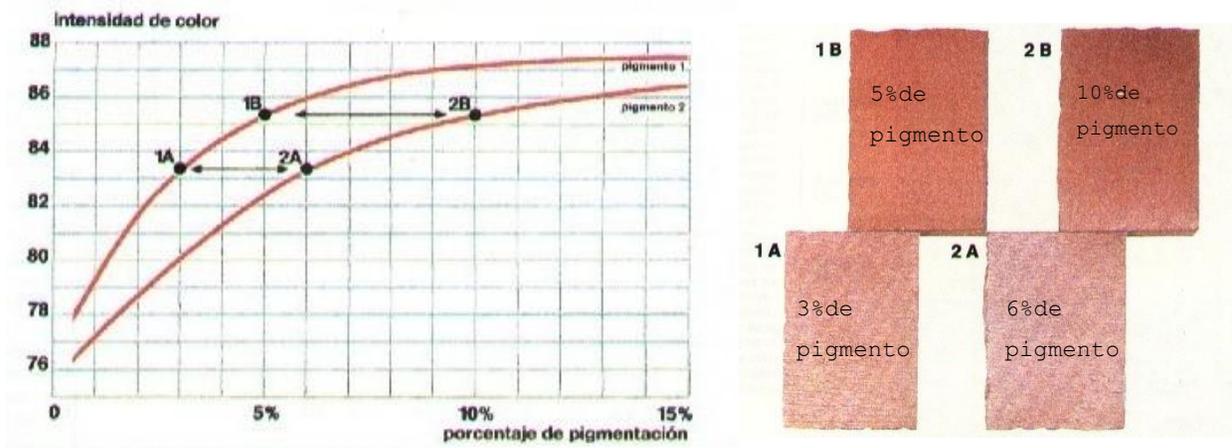


Fig 12. Comparación de dos pigmentos con el mismo color, pero distinto poder colorante.

En la gráfica se ha comparado dos pigmentos de óxido de hierro, uno de los cuales tiene un poder colorante doble que el segundo, presentando la intensidad de color del concreto coloreado con ellos en función del porcentaje de pigmentación. Se consiguen curvas típicas hasta la saturación. Con el pigmento 1, de mayor poder colorante, la saturación se alcanza con aprox. un **5-6%** de pigmentación (porcentaje referido a la cantidad de cemento que entra en el concreto). No ocurre lo mismo con el pigmento 2, que posee menor poder colorante: hay que situarse en el **10-12%** de pigmentación para que no se den diferencias apreciables en la intensidad de la coloración.

El porcentaje de pigmentación necesario para llegar a un grado determinado de intensidad de color, es lo que nos indica en ambos casos *el poder colorante del pigmento*.

Lo que se consigue con un 3% del pigmento 1, requiere el uso de un 6% del pigmento 2, y el efecto de un 5% del pigmento 1 no se consigue con menos del 10% del pigmento 2. Las plaquitas originales que muestra la figura lo confirman. El pigmento más barato no siempre resulta ser el más económico.

2) Porcentaje de pigmentación y efecto cromático.

Cuando se preparan mezclas de concreto con cantidades crecientes de pigmento, se observa que la intensidad del color aumenta inicialmente de forma lineal. Lo podemos ver claramente en los distintos pigmentos que presenta la fotografía abajo adjunta y también en la gráfica que reproduce los valores correspondientes a la intensidad de color de estos mismos pigmentos. Al aumentar el porcentaje de pigmentación la intensidad de color tiende a la saturación.

La fijación del porcentaje de pigmentación, por encima del cual ya no se consiguen intensificaciones cromáticas por más que se continúe adicionando pigmento, es un poco arbitraria, pero para los pigmentos más utilizados, que son los óxidos de hierro sintéticos, el valor de saturación se sitúa aprox. entre el 5 y el 8% (referido a la cantidad de cemento). Para no incrementar en exceso la cantidad de finos del concreto se emplearán, si es posible, pigmentos de más poder colorante, con los cuales es posible llegar al máximo rendimiento cromático adicionando un mínimo de sustancia pigmentaria. Una cantidad de finos excesivamente grande, introducida en el concreto en forma de pigmentos de poco poder colorante, podría acarrear problemas de resistencia en el concreto.

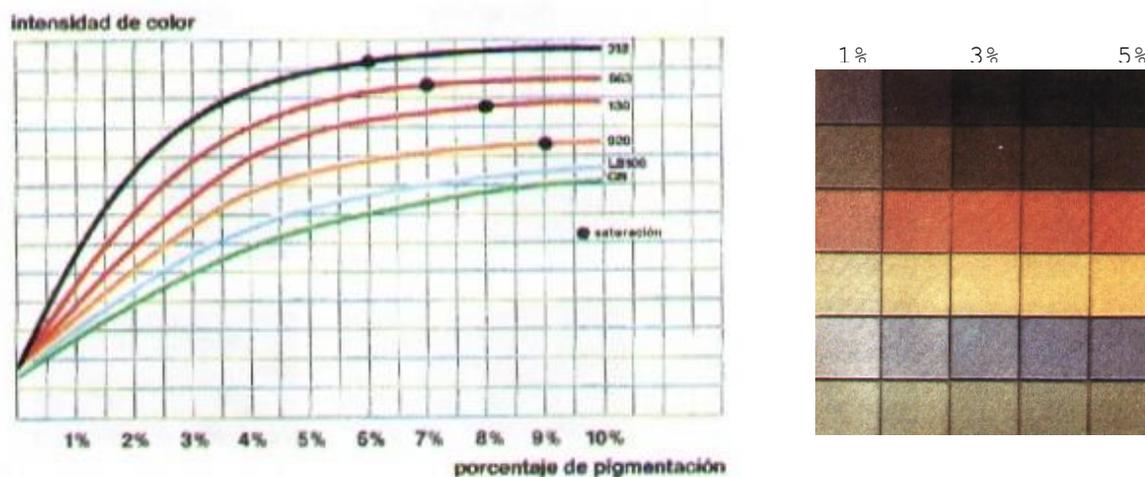


Fig 13. La intensidad del color aumenta en forma lineal hasta el punto de saturación; los colores claros requieren mayor dosificación hasta su punto de saturación.

3) El color natural del cemento y el efecto cromático

El concreto preparado con el cemento Pórtland gris normal nunca tendrá un colorido tan brillante como el que se prepare con cemento blanco.

No obstante, el aumento de pureza cromática que se consigue con el cemento blanco dependerá del pigmento que está en juego.

Si hablamos del color negro, entonces prácticamente no hay diferencias entre el concreto preparado con cemento blanco o con gris. La que hay en un pardo oscuro o en un rojo es también escasa, mientras que la que se aprecia en los colores amarillo y azul tiene mucha diferencia.

Cuanto más clara es la coloración, tanto mayor será la necesidad de usar cemento blanco para conseguir tonos puros.

Como era de esperar, el concreto compactado por prensado a partir de la relación baja de agua/cemento presentaba una coloración más apagada, menos brillante.



Fig 14. Diferencia de tonalidades en el concreto coloreado, debido al tipo de cemento utilizado y al método de compactación; en concretos prensados el color tiende a ser mas oscuro por la relación agua/cemento mas baja.

4) Pigmentación y consistencia del concreto.

La finura de los pigmentos no se define como el índice Blaine, utilizado para la finura del cemento, pero como idea aproximada se puede decir que el índice Blaine de un pigmento puede ser entre 10 y 20 veces superior al índice Blaine del cemento. Estamos hablando de los pigmentos apropiados para la pigmentación del cemento.

En las figuras al final de esta página, se reproducen tortas de concreto utilizadas para la determinación de las dimensiones (de extensión). Según el ensayo, no influyen apenas en la consistencia del concreto un 10% de Bayferrox 318 o de Bayferrox 130, pero no ocurre lo mismo con el Bayferrox 920 (estos son marcas de pigmentos). A pesar de ser de mayor finura que el óxido de hierro rojo o negro, su estructura en cambio es acicular (en forma de aguja). Así que es capaz de absorber en su superficie más cantidad de agua, que dejará de estar disponible a efectos del fraguado. El resultado es una reducción efectiva de la relación agua/cemento.

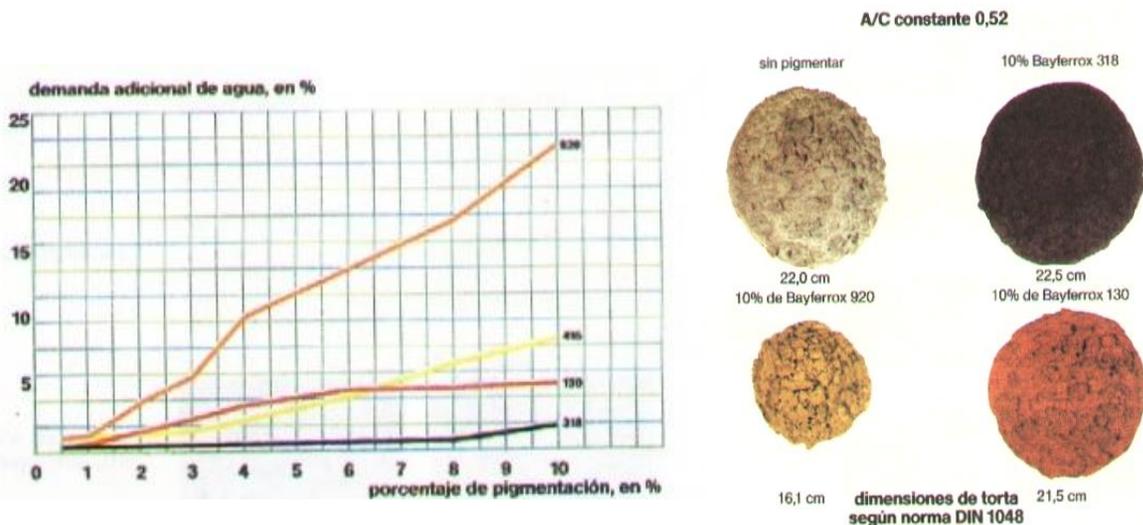


Fig 15. El gráfico muestra la demanda adicional de agua que requiere el uso de un 10% de óxido de hierro amarillo, mientras que en los colores rojo y negro la demanda adicional de agua es insignificante.

6) Pigmentación y Resistencia del Concreto.

Cuanto menor es la relación agua/cemento tanto mayor será la resistencia del concreto, siempre que no se trabaje precisamente en un concreto completamente seco. Si mantenemos constante la relación A/C (0,43) y aumentamos las cantidades de Pigmento, entonces los pigmentos absorben una cierta cantidad de agua, que ya no estará disponible para el fraguado del concreto: La relación A/C efectiva será menor y la resistencia mayor. Por el contrario, para conservar la misma consistencia, cuando aumentamos la pigmentación es necesario adicionar más agua. El óxido de hierro amarillo absorbe gran cantidad de agua. En consecuencia, estos pigmentos tienen mayor incidencia sobre la resistencia. Para los ensayos se ha tomado los pigmentos siguientes: Bayferrox 130, 318, 420, 920 y el óxido de cromo verde GN.

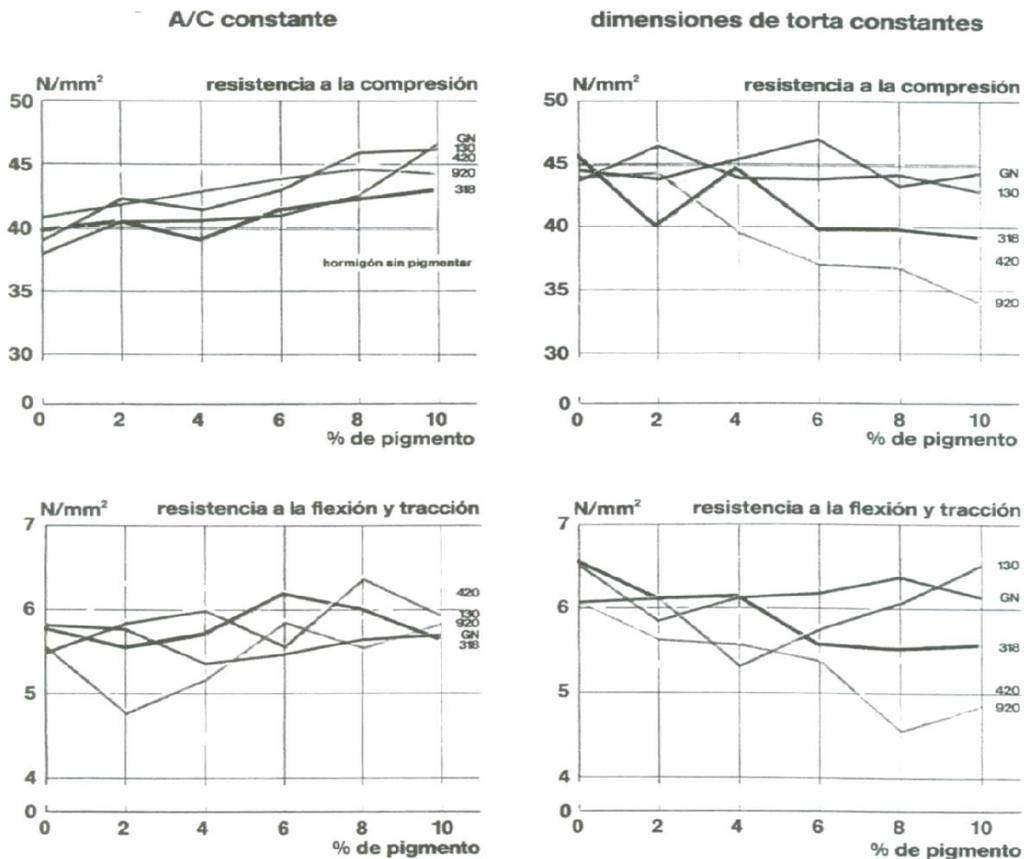


Fig 16. Gráficos de los efectos en las resistencias de compresión y flexión del concreto, provocadas por la adición de pigmentos a la mezcla.

2.3.3 Colorantes Químicos para Concreto.

Otro método diferente de colorear concreto es el de los colorantes químicos aplicados al concreto ya curado. Estos colorantes han sido aplicados especialmente en la mejoría de concretos moldeados que se usa en proyectos decorativos como por ejemplo en: restauraciones de templos religiosos, fuentes, elementos con agregado expuesto, pavimentos estampados, etc.

Los verdaderos colorantes químicos son soluciones acuosas de sales metálicas que penetran y reaccionan con el concreto para producir depósitos de color en los poros del concreto; además son insolubles y resistentes en cierto grado a la abrasión.

Estos colorantes son aplicables a concretos con por lo menos un mes edad, ya curados y que estén libres de cualquier materia extraña, la cual evitaría cualquier penetración necesaria y la reacción posterior de la solución colorante con el concreto.

Los colores logrados en el concreto por medio de éstos colorantes están limitados según el tipo de elementos químicos que se haya utilizado, normalmente se obtienen tonos: *negro, amarillo, verde, café y rojizo*. El color que se produce con este método no es un recubrimiento en la superficie, ya que penetra a una cierta profundidad, pero aunque no se astille, agriete o descascare, puede llegar a desgastarse en la medida que lo haga la superficie de concreto.

El colorear concreto con productos químicos, es una opción que ha estado a la disposición en El Salvador desde 1999 y en la actualidad únicamente dos empresas suministran y prestan servicio de coloración mediante ácidos al concreto ya curado. Estos ácidos son importados de Estados Unidos y en nuestro país cuesta alrededor de \$52.00 por galón. Según la tonalidad que se requiera del color, así será la cantidad de capas que se le rociaran a la superficie del concreto, por lo que no se tiene un rendimiento de cuanto ácido se ocupara para una

determinada superficie. También la finura o rugosidad de la superficie influye en la cantidad de ácido por unidad de área utilizada.

Este método para colorear concreto tiene varias ventajas, entre ellas destacan principalmente la aplicación a concretos no importando su edad, la posible combinación con otros métodos de coloración, la fácil aplicación a elementos horizontales y verticales por medio de aspersores o rociadores manuales, se puede simular materiales costosos como el mármol y también se tiene la posibilidad de hacer figuras y combinaciones de colores.

Para darle un acabado final al concreto coloreado con soluciones ácidas, es necesario la aplicación de un protector o sellador transparente que lo proteja de la exposición atmosférica; además se debe aplicar una cera para resaltar el brillo del elemento.

Las siguientes imágenes ilustran unas de las aplicaciones de soluciones ácidas en las superficies de concretos hechos normalmente de color gris⁷.

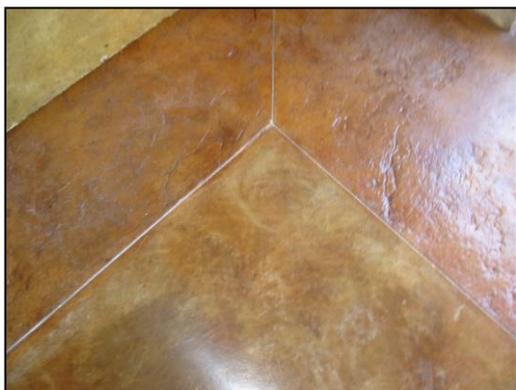


Fig 17. Aspecto marmoleado en Concreto (izquierda), y Combinación de Colores Mediante la aplicación de soluciones ácidas

⁷ Obtenidas de Ponencia de Constructora Funes, Segundo Foro de Vivienda “La vivienda de Interés Social en el Nuevo Milenio”, Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto, El Salvador, Agosto de 2003.

2.4 COLORACIÓN DE BLOQUES Y ADOQUINES DE CONCRETO CON PIGMENTO INTEGRAL.

La coloración del concreto en la fabricación de bloques y adoquines se realiza por medio de una técnica integral de coloración con pigmentos de óxidos minerales, en la cual se colorea toda la mezcla al momento de la fabricación, agregándole un porcentaje de pigmento entre el 4-8% con relación al peso del cemento utilizado según la dosificación de diseño.

Se encuentran a la disposición una gran gama de colores en bloques arquitectónicos, coloreados con pigmentos, entre los cuales los más populares son de color: adobe, café, amarillo, verde y rojizo, que además deben de cumplir con funciones estructurales de servicio; también se utiliza agregado grueso (escoria) en su mayoría de color rojo, que colorea la mezcla de manera natural sin la utilización de pigmentos. Esta última opción es la más común, para la fabricación industrializada de bloques a utilizar en la construcción de viviendas populares, escuelas, muros perimetrales, etc.

La utilización de pigmentos azules y verdes de tonalidad fuerte, para la coloración de bloques de concreto, está bien limitada en nuestro país debido al alto precio de estos colorantes producidos a base de óxidos de cobalto y cromo respectivamente; además existe muy poco suministro desde los países fabricantes.

Con respecto a los adoquines, éstos también se encuentran en una variedad de colores y formas con las cuales se pueden lograr bonitos coloridos y texturas de los pavimentos en: estacionamientos, jardines, aceras, zonas recreativas, caminos, etc. Los colores más comúnmente utilizados en adoquines son: los rojos, negros, gris que es el color natural del cemento, adobe y últimamente amarillo y celeste.

Tanto los bloques como los adoquines de concreto, al ser coloreados o no, deben someterse a pruebas de control de calidad en cuanto a: materiales utilizados, medidas y resistencias mecánicas e intemperismo. Los bloques de concreto son analizados mediante la norma ASTM C-90-99^a y los adoquines mediante la norma ASTM C-936-88, el poder colorante y duración de los pigmentos debe analizarse en base a la norma ASTM C-979.

El curado, de los bloques y adoquines de concreto coloreados integralmente, es básicamente el mismo utilizado para elementos que se fabrican en color gris normal; el color no se ve afectado por el tipo de curado que se le dé al concreto. En los bloques se acostumbra utilizar un aditivo que disminuye el sangramiento en los días posteriores al tiempo de curado.

Es notable el hecho, que en los adoquines, el efecto producido por la abrasión es significativo en la pérdida del color de la superficie, pues en la mayoría de casos el agregado queda expuesto a la intemperie, eliminándose los finos de la superficie, por lo tanto le modifica el color de su apariencia. Estos casos se dan más en adoquinados que soportan grandes tránsitos peatonales como en las aceras y calles de los mercados. En los bloques de color y con superficies rugosas, la exposición a la intemperie también provoca una cierta decoloración acompañada de la formación de una película lanosa de color oscuro, formada principalmente por la retención de agua en los poros de la superficie, por lo que se hace necesario proteger las caras expuestas de los bloques, con un sellador o impermeabilizante transparente. Así mismo, los pavimentos con adoquines de color necesitan de una capa impermeabilizante protectora que además les realza el color y la brillantes.

Para la coloración de estructuras hechas de bloques y adoquines de concreto, que han sido fabricados normalmente de color gris, se puede utilizar la técnica de coloración por colorantes químicos, que se expuso anteriormente, la única condición es que debe existir en la superficie hidróxidos de calcio para que reaccionen químicamente con

los ácidos, posteriormente y dependiendo de la rugosidad de la superficie, se lograra el color deseado.

En el caso de pavimentos, como se mencionó anteriormente, que se vean expuestos a una abrasión excesiva; no es recomendable el uso de colorantes con ácidos químicos, por el desgaste de la superficie y por lo tanto la perdida del color. Al utilizar éstos ácidos para colorear estructuras, ya sea estén a la intemperie o no, siempre será necesario la utilización de selladores impermeabilizantes de la superficie.

En El Salvador, la preferencia de los bloques de color, ha incrementado notablemente en los últimos años debido a la atractividad que se logra en los proyectos y la facilidad con que se logran los acabados en las paredes, evitándose el repello, afinado y pintura de las mismas. Los pavimentos con adoquines de concreto de diferentes colores, también esta siendo muy utilizado y tomado en cuenta en la formulación y construcción de los proyectos de infraestructura.

Las imágenes siguientes muestran algunos de los diferentes colores con que se producen bloques y diversas formas de adoquines, para su utilización en el país⁸.



Fig 18. Bloques y Adoquines de concreto de diversos colores, coloreados con pigmentos en polvo de uso integral.

⁸ Fotografías tomadas en *Fabrica de Bloques y Adoquines Saltex* de El Salvador

2.5 COLORACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Con el empleo de concreto coloreado pueden obtenerse muchos efectos decorativos en patios, escaleras, caminos y veredas, salidas e interiores de apartamentos, urbanizaciones, interiores de piscinas y otros trabajos de concreto.

Se han venido utilizando desde aproximadamente hace 8 años en El Salvador cuatro técnicas para obtener acabados en los pavimentos de concreto con color, entre las cuales podemos mencionar:

1. Técnica integral o monocapa.
2. Técnica bicapa.
3. Aplicación del producto coloreado por tratamiento en seco.
4. Pintado.

Los tres primeros métodos ofrecen los resultados más satisfactorios.

2.5.1 Técnica Integral.

Con la técnica integral o monocapa, al añadir al concreto la cantidad adecuada de pigmento en el momento de la mezcla en la mezcladora se consigue un color uniforme en todo el pavimento.

El pigmento puede ser un óxido mineral puro o un colorante de óxido de hierro sintético o natural, especialmente preparado para utilizarse con el concreto.

La cantidad de pigmentos debe ser la mínima necesaria para producir el color deseado, pero nunca superará el 10% en peso del cemento. La máxima intensidad de color se obtiene cuando se añaden unos 3 kilogramos de pigmento por cada bolsa de cemento (esto según el poder colorante del pigmento, como se explicó anteriormente); cantidades

próximas a los 700 gramos por bolsa producen, generalmente tonos pastel, dependiendo también del color natural del cemento.

Para lograr la uniformidad del color en todo el pavimento, las proporciones de los componentes de la mezcla deben ajustarse exactamente a las especificaciones y el tiempo de mezcla ha de ser más elevado que para un concreto normal.

Es conveniente el empleo de aditivos colorantes modificados con aditivos dispersantes para conseguir concretos homogéneos y con acabados uniformes. Estos colorantes modificados presentan una rápida incorporación a la masa, fácil dispersión, disminución de las eflorescencias, inalterabilidad de los colores y homogeneidad de la coloración.

2.5.2 Técnica Bicapa

En esta técnica se prepara una losa base de concreto de la forma habitual. La superficie del concreto base, debe tener una textura rugosa para proporcionar mejor adherencia mecánica a la capa de rodadura coloreada. Esta última puede aplicarse sobre la base de concreto sin fraguar (denominada habitualmente fresco sobre fresco) tan pronto como este firme y pueda soportar el peso de un operario.

Si el concreto ha endurecido, la capa superficial puede adherirse a la base de concreto mediante una lechada de agua-cemento o agua-arena-cemento, o bien mediante adherentes sintéticos (epoxy o acrílicos).

El espesor de la capa de rodadura es normalmente, de 10 a 25 mm. Los pigmentos se añaden a una mezcla de consistencia media, como una relación agua cemento 1 a 3 ó 1 a 4, de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Cuando se requieren resistencias elevadas a la abrasión y a larga durabilidad se emplean mezclas

predosificadas y envasadas por fabricantes especializados, pero que no están a la disposición en El Salvador.

Los pigmentos a utilizar en la capa coloreada, pueden ser como los descritos en la sección 2.3.2 de este documento, ó pueden ser aditivos colorantes en líquido.

2.5.3 Tratamiento en Seco.

La técnica de aplicación del producto coloreado por tratamiento en seco, es la más utilizada en El Salvador por empresas que se encargan de la construcción de pavimentos de concreto estampado. Se espolvorea sobre el concreto fresco el producto coloreado, preparado en fábrica y envasado.

Los componentes básicos son: pigmento, cemento Pórtland blanco o gris y arena silicea de granulometría especial y aditivos dispersantes y reductores de agua.

Las mezclas no preparadas en fábrica y, por tanto, no dosificadas debidamente, presentan problemas de dispersión de colores y no garantizan la estabilidad ni la resistencia a la abrasión a medio plazo. Por ello es conveniente exigir productos prefabricados y normalizados que garantizan:

- ✓ Materias primas controladas y de gran calidad.
- ✓ Uniformidad de calidad y dosificación.
- ✓ Granulometría estudiada.
- ✓ Formulación específica para conseguir la hidratación del producto.
- ✓ Pigmentación uniforme en toda la masa.
- ✓ Garantía de uniformidad y resistencia a la abrasión de la capa de rodadura.

A continuación se presentan figuras de un proceso sencillo empleado para la coloración y estampado de un pavimento de concreto hidráulico.



Fig 19. Secuencia de proceso de construcción de un pavimento de concreto hidráulico, estampado y coloreado con un tratamiento en seco. 1) Preparación del Terreno, 2) Nivelación y Allanado, 3) Espolvoreo Manual, 4) Estampado del concreto, 5) Limpieza del concreto, 6) Sello Acrílico y 7) Piso Terminado.

2.6 ANTECEDENTES DE USO DEL AÑIL Y SU REACTIVACIÓN DE COSECHA EN EL SALVADOR.

2.6.1 Historia.

El añil, colorante azul extraído de diferentes plantas, fue ampliamente utilizado a nivel mundial antes del descubrimiento de los colorantes sintéticos en el siglo XIX. En Centroamérica, antes de la conquista española, el añil era utilizado por los indígenas de forma doméstica como colorante, en textiles y cerámica, y para tratar algunas enfermedades infecciosas.

A la llegada de los españoles en el siglo XV, inició la explotación comercial del cultivo convirtiéndose en uno de los rubros principales de la economía centroamericana. Hasta finales del siglo XIX el añil representaba para El Salvador el rubro más importante del sector agrícola. Sumado a esto, el país sobresalía a nivel mundial como uno de los mayores productores de añil de alta calidad. Sin embargo, con la aparición de los colorantes sintéticos en 1850, que además de su bajo costo ofrecían múltiples ventajas en su aplicación en la industria, se marcó la decadencia de tan importante producción. La última exportación masiva de añil desde El Salvador (2,000 Kg.), se realizó a finales de la década de los 70`s. Después de esta, las plantaciones de añil fueron sustituidas gradualmente por cultivos de algodón, café y caña de azúcar⁹.

La utilización de añil como colorante integral de concreto es desconocida, pues los únicos usos mas conocidos son los que se mencionan mas adelante, por lo tanto la investigación que comprende este estudio es preliminar en la búsqueda del uso de colorantes orgánicos en el concreto, cómo el añil.

Se sabe que en países como México sí se han hecho estudios en colorantes para concreto de origen orgánico, de colores rojos como el

⁹ Según: www.añil/ficha.htm

achiote pero no en pigmentos de colores orgánicos azules de naturaleza; posiblemente porque ese país no es un productor de pigmentos como el añil.

2.6.2 Usos del Añil a través de la Historia.

Usos Medicinales

El añil también era muy popular para curar todo tipo de enfermedades intestinales como: diarrea, cólico, disentería, indigestión, estreñimiento, etc. También era utilizado para curar la debilidad, la tos, la gripe, las inflamaciones de la piel, quemaduras, sudor, flujo y muchas otras enfermedades.

Los indígenas también usaban el añil en pasta para untárselo en la cabeza para curar enfermedades. Se cree que estas enfermedades se referían a la caída del cabello o el teñido del mismo.

Los troncos molidos del añil se utilizaban para curar úlceras; las hojas mojadas aplicadas en forma de emoliente sobre la cabeza quitaban el calor a los niños, al igual que el dolor de cabeza. La raíz del añil para ahuyentar a insectos venenosos, sanguijuelas y víboras¹⁰.

Tela Teñida Con Añil Como Profiláctico.

Las creencias de las propiedades del añil como antiséptico y repelente se han extendido al uso de telas teñidas con añil como protección. Este es el caso en muchos países y puede en parte relacionarse al olor rezagado del amoníaco el cual emanan las telas recién teñidas con añil, así como también al poder de curación del añil y algunas veces a otras características asociadas con éste, todavía en discusión.

¹⁰ Capacitación de teñido con añil, proyecto: "Asesoría, Capacitación y asistencia Técnica para el sector añilero" (BCIE/MAG/IICA).

Comunidades agrícolas en China, Japón y otras partes de Asia, generalmente sostuvieron que las telas teñidas con añil, repelían culebras e insectos ocultos en cultivos de arroz.

Cosméticos

En ciertas partes del mundo el añil frecuentemente ha sido frotado sobre el cuerpo, por decoración, por razones medicinales o por una combinación de las dos, como en el tatuado. En América Central, por ejemplo, el añil estaba entre los colores empleados por los mayas y los aztecas para embellecer el rostro y el cuerpo.

Tatuajes

El añil ha proveído una ideal sustancia para pintar tatuajes, dada su supuesta característica como antiséptico y tomando en cuenta el simbolismo del color azul. Los orígenes de los tatuajes y las cortaduras, los cuales abarcan todos los continentes, son oscuros, pero pueden radicar en una función primordialmente medicinal que data desde la pre-historia. Existe evidencia de tatuajes en la América pre-histórica y en Egipto.

Cabello Y Barbas

Una vez más el color y el brillo del índigo combinado con sus aparentes propiedades medicinales le ha dado una doble atracción. Un sacerdote en México en 1547 observó la costumbre entre mujeres indígenas de teñir su cabello con arcilla negra o índigo para hacerlo brillar.

El índigo todavía es usado con este propósito en partes de África y en el Sur de Asia, En Pakistán también se cultivó índigo para teñir el cabello el cual fue utilizado localmente y exportado como "black henna" al Medio Este y a algunos otros sitios.

2.6.3 Reactivación de la cosecha de añil en El Salvador¹¹.

A mediados de la década de los 90's se inició un esfuerzo por el rescate cultural del añil y su historia en El Salvador. Simultáneamente, algunas agencias de cooperación internacional reconocieron el nuevo potencial comercial del añil, frente a la creciente tendencia mundial de consumir y utilizar materias y productos naturales. Fue así como el añil empezó a promoverse como una alternativa viable de diversificación para el sector agrícola salvadoreño.

A un siglo de su apogeo y decadencia, y frente a la crisis de los cultivos tradicionales, el añil o xiquilite vuelve a ser considerado como una opción viable en el camino de la agro-industrialización, como una opción de desarrollo económico.

Considerado un "patrimonio nacional y cultural", el añil comenzó su proceso de retorno en 1996 y, a finales de 1999 nació el "Proyecto de Reactivación del Cultivo y Procesamiento del Añil en El Salvador, por el interés de un grupo interinstitucional constituido por Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), (GTZ), Asociación Salvadoreña de Procesadores de Productos no Tradicionales (AGRONATURA), Consejo Nacional para el Arte y la Cultura (CONCULTURA) y Agrícola Industrial Salvadoreña S.A. (AGRISAL) el cual busca contribuir al incremento de los ingresos de las familias rurales y al rescate de la cultura del añil en El Salvador, tiene un enfoque de nación, y pretende ser sustentable, sostenible e incluyente, promoviendo la asociatividad de pequeños productores y su alianza con la gran empresa a través de su participación en la cadena de producción, procesamiento y comercialización del añil.

¹¹ Según: Situación Actual Del Añil En El Salvador (JICA, Estudio del sub-sector añil en El Salvador, cap.2, 2003)

A pesar de que el añil que se produce en nuestro país es de muy buena calidad, hasta hace muy poco tiempo no se tenía una política de comercialización definida, ya que la poca producción que se obtenía y el querer comercializar el producto de forma individual por parte de los productores hacía aun más difícil competir en el exterior, donde el mercado del añil es dominado por países como India y Japón que son los líderes a nivel mundial y los principales productores de añil en el mundo. Sin embargo, AGRONATURA (Asociación Salvadoreña de Procesadores de productos No tradicionales) ha estado Ayudando a Pequeños Productores dedicados al cultivo y Procesamiento de añil a incursionar en el mercado exterior y gracias a ello están vendiendo su producto a Alemania y Suiza. En este sentido, el Proyecto de Reactivación, del añil con el fin de contribuir a solventar esta problemática tiene entre sus objetivos, promover la asociatividad de pequeños Productores y su alianza con la gran empresa a través de su participación en la cadena de producción, procesamiento y comercialización del añil.

Zonas de producción.

Puede observarse en la tabla siguiente que las mayores zonas de cultivo, se desarrollan en el oriente de El Salvador.

DEPTO .	MUNICIPIO	CANTÓN	ÁREA (HECTÁREAS)	
San miguel	1- San miguel	El niño	3.54	
	San miguel	San Antonio silva	7.07	
	El delirio		14.14	
	2- Moncagua	Platanar	3.54	
	3- Chapeltique	San pedro	1.41	
	4- Sesóri		*	
	5-Ciudad Barrios		*	
	6- Chinameca		*	
Usulután	7- Nueva Guadalupe		*	
	8- Chirilagua	Chilanguera	2.12	
	9- Jiquilisco	Tierra Blanca	21.21	
	10- San Fco Javier	Santa Fe	3.54	
	11-mercedes maña		*	
	12-Santiago de Maria		*	
	13- Ozatlán		*	
	14- Berlín		*	
La Unión	15- El Carmen	Olomega	3.54	
Morazán	16- San Simón		12.73	
	17- San Fco Gotera	Cacahuatalejo	35.36	
	18- Lolotiquillo	El Manzanillo	7.07	
	19- Sociedad	El pital	2.12	
	20- Joateca	San José	12.73	
	21- Corinto		2.82	
	22- Osicala		2.82	
Cabañas	23- Guacotecti		31.82*	
	24- Cinquera		4.24*	
	25- Tejutepeque		17.5	
Santa Ana	26- Metapán		14.14	
	27- Chalchuapa		2.10	
	28- Texistepeque		8.49	
	29- Santa Ana	El Sauce	16.0	
La Libertad	30-S. José Villanueva	San Juan Buena vista	8.49	
San Salvador	31- San Salvador	El paisnal	14.14	
	Chalatenango	32-Nombre de Jesús		4.24
		33- Las Flores	Guancorita	3.54
		34- Nueva Concepción		28
La Paz	35- El rosario		4.9	

*Tabla. : Zonas productoras de añil por departamento, municipio, cantón y área para el año 2003.
Fuente:(JICA, Estudio del subsector añil en El Salvador, 2003);* Lugares interesados en sembrar añil.*

Según las evidencias, la expansión de las áreas no presentan problema pues los datos históricos nos muestran que el añil se puede sembrar en todo el territorio nacional, hasta alturas de 1000 mt sobre el nivel del mar. Las zonas de cultivo actual presentan evidencias de

los cultivos de la época colonial pues se han encontrado restos de obrajes en todos los sitios de producción.

Productores

Actualmente los productores de añil son alrededor de 97. Hay un potencial de 889 productores que están organizándose en el oriente del país. La extracción del añil se realiza en 30 obrajes distribuidos en su mayor parte en la zona central. En el cuadro siguiente, se presenta el número aproximado de productores y obrajes.

NOMBRE	PRODUCTORES	PRODUCTORES POTENCIALES	OBRAJES
Azules	27	0	25
Adazoes	60	300	1
Coroban	4	46	1
Mezo América	2	23	0
Chalatenango	3	0	3
Maple S.A	1	0	0
Cabañas *	0	250	0
Berlín *	0	200	0
Nueva Guadalupe	0	70	0
Total	97	889	30

*Tabla: Número aproximado de productores de añil y obrajes en El Salvador.
(Fuente de tabla: JICA, estudio del subsector añil en el salvador, 2003)*

El grupo mejor organizado dentro de los añileros, es la Asociación de Añileros de El Salvador AZULES, que cuenta con 27 productores e incluye dos empresas especializadas en teñido de ropa y artesanías con añil. Los productores de oriente, aglutinados en dos núcleos: Uno en Morazán de 50 productores organizados alrededor de la cooperativa COROBAN y otro en San Miguel aglutinados en la Asociación de añileros de la zona oriental de El Salvador ADAZOES, que aglutinan a unos 360 productores. En Cabañas, de acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería, se esta promoviendo un grupo de 250 productores. Finalmente, se reportan 3 productores en Chalatenango, 1 en la paz.

Estos constituyen los principales grupos que impulsan la actividad añilera en El Salvador.

Actualmente hay aproximadamente 264.37 Has. Cultivadas de añil, 36 Has. Potenciales identificadas y 8 municipios en los cuales se ha expresado el interés de cultivar el añil.

Para la extracción de tinte, se cuenta con 30 obrajes. La mayor parte de éstos pertenecen a miembros del grupo AZULES, quienes reportan 25 obrajes; 1 obraje experimental en el Parque Arqueológico y Taller de Teñido Casa Blanca y 3 en Chalatenango.

Mercado

Demanda Nacional

La demanda de productos, es realizada por artesanos quienes consumen alrededor de 650 Kg. para el teñido de hilos, telas, ropa, tejidos artesanales y Pinturas del tipo acuarelas. La demanda interna se presenta creciente en la medida que los artesanos utilizan y encuentran nuevas aplicaciones del Añil, al mismo tiempo, en algunos meses hay problemas de abastecimiento por falta de producto.

El desarrollo de la demanda interna presenta tendencias positivas a los productores. De acuerdo a ECONATURE, los precios internos son similares a los precios internacionales y hay escasez de producto. Esta situación limita fuertemente el desarrollo de las empresas teñidoras pues no logran llenar los pedidos grandes de prendas de vestir teñidas con añil. La oferta del producto es de 1500 Kg. de este total, si deducimos el consumo interno la oferta exportable de tinte se reduce a 850 kg.¹²

En el siguiente cuadro se presentan las exportaciones de añil de 1997 al 2002 por país de destino y volumen. La mayor exportación realizada se hizo en el año 2002, exportándose 550 Kg. de añil con destino a Alemania y Francia.

¹² Hernández Ayala, Edwin Alexander “Evaluación de las variables de secado, para la conservación de las hojas de la planta de añil, (Índigofera Sp) “Tesis de Ingeniería Química, Universidad De El Salvador, Diciembre 2003

AÑO	PAÍS	VOLUMEN (Kg.)
1997	Turquía	30
1999	Suiza	60
2000	Suiza	100
2001	Alemania	100
2002	Alemania	100
2002	Francia	50

*Tabla. El Salvador. Exportaciones de añil 1997-2002
(Fuente: JICA, estudio del subsector añil en el Salvador, 2003)*

Precios

El precio del añil de exportación de El Salvador, ha oscilado entre \$ 35.00 A \$ 45.00 por Kg., de acuerdo de datos de productores y de la Asociación de añileros de El Salvador AZULES. La norma para establecer el precio ha sido el pago de \$ 1.00 por grado de indigotina, así a mayor grado de concentración de indigotina mayor precio. En el siguiente cuadro, se presenta una relación entre concentración de indigotina y precio.

% DE INDIGOTINA	PRECIO EN \$ / KG
20	17.50
30	26.25
40	35.00
45	39.98
50	43.75
60	52.50

Tabla: Porcentaje de indigotina y precio/ kg. Año 2002, estimación en base a informe de mercado de colorantes naturales y AZULES. (Fuente: JICA, estudio del subsector añil en el Salvador, 2003)

De acuerdo a un estudio de mercado sobre tintes naturales, el precio al por menor del añil era de \$ 28.00 la libra (\$ 61.60 / Kg.) en 1998. Lo que tiende a pensar que en los próximos años a medida que se aumente la producción se podrían reducir los costos del colorante a nivel local.

CAPITULO III

**PROPIEDADES FÍSICAS, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ANÁLISIS
PRELIMINARES AL PIGMENTO SEGÚN MÉTODOS DE PRUEBA DE
LA ESPECIFICACIÓN ASTM C-979-99 “ESPECIFICACIONES
ESTÁNDAR DE PIGMENTOS PARA CONCRETO CON COLOR
INTEGRAL”.**

3.1 INTRODUCCIÓN

Todo pigmento para concreto, que tenga como fin el ser utilizado integralmente como un componente mas de la mezcla ó como un aditivo colorante en polvo, debe ser analizado y aprobado mediante el cumplimiento de algunas de las normas y especificaciones que se mencionaron en el capitulo anterior; sin embargo, la metodología de análisis y por consiguiente la interpretación de los resultados es opción del investigador siempre y cuando tome en cuenta los principales efectos secundarios que puede ocasionar la utilización de dicho producto en diversas dosificaciones; siendo los principales los efectos estéticos y estructurales.

Este capitulo necesariamente es preliminar pues abarca la investigación de las propiedades físicas, composición química y el análisis químico y físico del añil como un pigmento integral para concreto según las especificaciones ASTM C-979-99.

El presente capitulo comprende: la información general del añil a utilizar en esta investigación, la determinación de la densidad, la investigación de la composición química, la solubilidad del pigmento en el agua, el análisis de la resistencia del pigmento a los álcalis, etc. y al final un resumen de los resultados.

3.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AÑIL A UTILIZAR EN LOS EXPERIMENTOS.

3.2.1 Información general del producto.

- Nombre común:** *Xiquilite, Índigo, Añil.*
- Nombre científico:** *Indigofera sp.*
- Introducción.**

Origen:

El añil es una planta naturalmente silvestre en Centroamérica y México y es originario de la India. Antes de la llegada de los españoles en 1521 los indios mexicanos y nuestros pipiles le daban uso como colorante. Para el siglo XVII El Salvador fue uno de los más grandes exportadores a escala mesoamericana.

Zonas de siembra en El Salvador:

Áreas productoras de añil principalmente localizadas en los departamentos de San Miguel, San Vicente, San Salvador, Cuscatlán, Cabañas, Chalatenango y Santa Ana¹³.

Actualmente en El Salvador, el cultivo del añil está siendo reactivado por organismos internacionales de cooperación para el desarrollo, con el objeto de que el cultivo de este producto represente una fuente importante de ingresos provenientes de las exportaciones.

Posibles usos como colorante de concreto:

Desde la época colonial, el índigo ó añil como comúnmente es conocido en el continente americano y parte de Europa, ha sido utilizado como colorante natural de textiles y pintura superficial de artesanías; como colorante de mezclas de concreto o productos cementicios se desconoce su posible uso, pues siempre para la obtención de colores azules en el concreto se ha utilizado el óxido de cobalto.

¹³ Según Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (MAG)

Aspectos Botánicos.

Clasificación taxonómica:

- Reino: plantas
- División: Embryophyta
- Clase: Angiospermae
- Sub clase: Dicotyledona
- Súper orden: Rosidae
- Orden: Fabales
- Familia: Leguminosae
- Genero: Indigofera

Descripción específica del añil a utilizar en los experimentos.

Origen y procesamiento de la planta:

El añil a utilizar en los experimentos es originario de la zona norte del departamento de Santa Ana, específicamente en el municipio de Metapán y cultivado al costado norte de la planta cementera El Ronco de Cementos de El Salvador.

El procesamiento de la planta se realizó por medios artesanales de extracción del pigmento. El proceso seguido fue el mismo que es utilizado por la mayoría de procesadores de añil de este país, y no el proceso sistematizado planteado en uno de los proyectos japoneses de reactivación del producto.

Tanto el cultivo como el procesamiento de la planta y la extracción del pigmento, fueron realizados por personal de Cemento de El Salvador (CESSA) en colaboración con personas de poblaciones aledañas al sector de la planta cementera El Ronco; como un proyecto piloto de impulso y diversificación de cultivos con desarrollo sostenible en la zona.

Composición física natural obtenida del procesamiento de la planta:

Del procesamiento del añil se obtiene la Indigotina, elemento esencial que representa la calidad y pureza de éste, la cual se obtiene en estado sólido para su posterior molienda en un molino casero de motor.

3.2.2 Propiedades físicas del añil.

En todos los usos que se conocen del añil hasta hoy, siempre ha tenido gran importancia el proceso y tratamiento de la solubilidad, pues según su utilización siempre ha estado en una fase líquida-acuosa y no como un material en estado sólido.

En esta investigación sobre el posible uso de añil como un colorante o pigmento natural para concreto, la importancia de las propiedades físicas consiste en analizar este material según como es obtenido del proceso de extracción, es decir en polvo. Para ello la American Society for Testing Materials (A.S.T.M) en la especificación C-979-99, dan los requerimientos necesarios que deben cumplir los pigmentos para concreto con color integral, siendo esta la norma a la que se le da mayor énfasis de análisis, práctica y cumplimiento en este trabajo. El objetivo, es que el añil pase a formar parte de un determinado peso, volumen y mezcla de materiales que interactúan y reaccionan entre sí para conformar una sola masa homogénea, que pasa de un estado plástico, a un estado de endurecimiento total, como lo hace el concreto.

Las propiedades físicas del añil, necesarias para el propósito de este estudio, serán aquellas que representen una semejanza de las cualidades y propiedades físicas de los pigmentos para concreto de orígenes minerales o sintéticos. Por lo tanto, para el añil estas cualidades están principalmente concentradas en: *la Intensidad del color que presente antes y después de mezclarlo con cemento, la*

finura, forma de la partícula, la solubilidad en agua y la densidad; además como punto complementario: el punto de fusión y el peso molecular.

Se debe mencionar que la determinación de algunas de las propiedades físicas mencionadas se puede volver un tanto compleja por la necesidad de utilizar aparatos y equipo especializado que no están al alcance de esta investigación, además de necesitar lapsos de tiempo justificablemente largos.

Por lo anterior, se realizara todo lo que esté al alcance para la determinación de algunas propiedades necesarias del añil como pigmento para concreto, ó que lleguen en un futuro a ser características de interés para otro tipo de investigación o estudio similar.

3.2.2.1 Determinación de la Densidad.

La densidad del añil, fue determinada por un método sencillo y rápido comúnmente utilizado por los químicos industriales, como se menciona en el siguiente procedimiento:

1- Material y Equipo.

- Balanza analítica (precisión de 4 cifras decimales).
- Probeta de 25 ml.
- Añil en polvo (una sola muestra homogenizada, aprox. 2 grs.)
- Termómetro.

2- Procedimiento.

- 1- Pesar en la balanza analítica la probeta y anotar este peso como: (W_p)

El volumen de la probeta anotarlo como: $V_{probeta} = 25.00$ ml.

- 2- Colocar en la probeta el material al cual se le determinara la densidad y pesarlo posteriormente, anotar este peso como: (W_{p+a}) = peso de la probeta mas muestra.

- 3- Posteriormente agregar agua en la probeta hasta que se tenga en completo los 25 ml, luego pesar esta sustancia y anotar como: (W_t)
- 4- Calcular el peso neto de la sustancia como: $W_{sustancia} = W_t - W_p$
- 5- Calcular el peso del añil como: $W_{añil} = W_{p+a} - W_p$
- 6- Calcular el peso del agua como: $W_{agua} = W_{sustancia} - W_{añil}$
- 7- Calcular el volumen de agua en la solución como:

$$V_{agua\ en\ solución} = W_{agua} \times \gamma_{agua}$$

Donde:

$$\gamma_{agua} = \text{peso específico del agua} = 1 \frac{\text{grs}}{\text{ml}}$$

- 8- Calcular el volumen de añil en la solución como: $V_{añil} = V_{probeta} - V_{agua}$
- 9- Calcular la densidad del añil en grs/ml con la formula siguiente:

$$\text{Densidad de añil} = \frac{W_{añil}}{V_{añil}}$$

Desarrollo de la práctica para la determinación de la densidad del añil.

- Lugar de Análisis: *Facultad de Química y Farmacia, UES central.*
- Temperatura: $26^\circ C$
-

Peso de la probeta (W_p) = 36.8088 grs.

Peso de la probeta + muestra de añil (W_{p+a}) = 38.3888 grs.

Peso de la probeta + muestra de añil + agua (hasta los 25 ml.) =
(W_t) = 60.6257 grs.

$W_{sustancia} = W_t - W_p = 23.8169$ grs.

$W_{añil} = W_{p+a} - W_p = 1.58$ grs.

$W_{agua} = W_{sustancia} - W_{añil} = 22.2369$ grs.

$V_{agua\ en\ solución} = W_{agua} \times \gamma_{agua} = 22.2369 \text{grs.} \times (1 \text{grs/ml}) = 22.2369$ ml.

$V_{añil} = V_{probeta} - V_{agua} = 25.00 - 22.2369 = 2.7631$ ml.

$$\text{Densidad de añil} = \frac{W_{añil}}{V_{añil}} = \frac{1.58 \text{grs}}{2.7631 \text{ml}} = 0.571822 \frac{\text{grs}}{\text{ml}} \approx 571.822 \frac{\text{Kg.}}{\text{Mt}^3}$$

Resultados.

La densidad del añil según esta practica resulta ser de **571.82 Kg./Mt³** sin corrección por temperatura.

Nota: Se analizó solamente una muestra de añil, la cual estaba debidamente homogenizada al igual que todo el añil a utilizar en esta investigación.

3.2.2.2 Resumen de las propiedades físicas significativas del añil que no fueron determinadas en esta Investigación.

Propiedades Físicas de Añil procesado		
Nombre	Índigo o Añil Procesado	
Formula ¹⁴	C ₁₆ H ₁₀ O ₂ N ₂	
Peso Molecular ¹⁵	262 grs/mol	
Forma y Color ²	Cristales ó cristalino de color semejante al azul	
Densidad Relativa ¹⁶	1.35	
Punto de Fusión ²	390-392° C	
Punto de Ebullición	Se Sublima	
Finura de Molienda	Variable, dependerá del molino	
Solubilidad	En Agua	Insoluble, casi en su totalidad.
	En Alcohol	Insoluble
	En Éter	Insoluble

Tabla: resumen de resultados en propiedades del añil procesado.

Notas sobre la tabla anterior:

1- La forma de la partícula de añil se trató de observar mediante microscopios convencionales, resultando imposible la visión

¹⁴ Según el MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO, Perris.

¹⁵ Salazar Marxelly, Aldo Francisco. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ÍNDIGO DE LA PLANTA DEL AÑIL Tesis de Ingeniería Química, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, Octubre 2002. El Salvador.

¹⁶ Según el manual mencionado en 2, pero la densidad para nuestro añil es la determinada en 3.2.2.1.

satisfactoria de la misma, pero según el Manual del Ingeniero Químico, del resultado de la molienda en el procesamiento de la planta, se obtienen partículas naturalmente en forma de cristales.

- 2- *La Finura* de molienda que presenta el añil como parte de su proceso de extracción del pigmento, no ha sido determinada en esta investigación con una curva granulométrica, ni tampoco se le ha determinado un modulo de finura en semejanza a las arenas y materiales finos de una mezcla de concreto, pero generalmente se obtiene de molinos manuales un polvo de añil con una finura que pasa al 100% la malla N° 16 (1.180mm)¹⁷ y que comienza a ser retenido en la malla N° 30 (0.600mm).

En lo particular y dependiendo del molino en que haya sido molido el añil, éste puede presentar finuras diferentes sin control alguno, pues para los usos que se le ha dado como colorante, no ha tenido importancia alguna el tamaño de las partículas.

Por lo anterior, las cantidades y el numero de malla mencionada donde se retiene material, es característica peculiar del añil que se esta utilizando en este estudio.

- 3- *El Punto de Fusión*, según se lee en la tabla es alrededor de los 390 a 392°C, lo cual para esta investigación no se ha podido determinar debido a la falta de termómetros mayores a los 350°C, sin embargo las temperaturas a las que esta expuesto un material como el concreto en los distintos tipos de estructuras en que se pueda estar utilizando, nunca llegan ni al 25% de dicho punto de fusión (excepto concretos en autoclave que son fabricados a altas temperaturas y que son utilizados en países de clima frío).
- 4- *La solubilidad*, es una propiedad física del añil que es tratada y determinada en el tema siguiente a este, en donde se detalla el porcentaje de pigmento que es soluble en agua, calculado en base a las especificaciones ASTM C-979 antes mencionadas.

¹⁷ Comprobada únicamente con mallas N° 16 (1.180mm) y N° 30 (0.600mm)

3.2.3 Composición Química del añil.

La planta del añil contiene un glucósido natural incoloro que se llama *Indican*, descubierto en 1855 por E. Schunk. El proceso químico consiste en la maceración de la hoja en agua por lo que el indican pasa a una fase líquida en donde se hidroliza el glucósido descomponiéndose principalmente en glucosa e indoxilo. Este último, por oxidación produce la Indigotina, que es el pigmento que se está utilizando en esta investigación como colorante de concreto y el cual se ha obtenido en estado sólido. (Posteriormente molido a polvo)
Las estructuras moleculares de los estados antes mencionados son como sigue:

- ☑ **Indican:** Glucósido β - indoxil

Fórmula: $C_{14}H_{17}O_6N$

Peso molecular: 295 gr/mol.

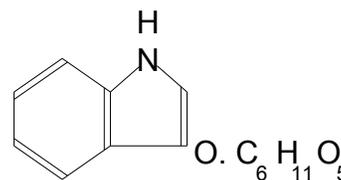


Fig. Glucósido β - indoxil

- ☑ **Indoxil o índigo blanco:** Leuco índigo, 2:2' - di - indoxil

Fórmula: $C_{16}H_{12}O_2N_2$

Peso molecular: 264 gr/mol

Soluble en alcohol y éter.

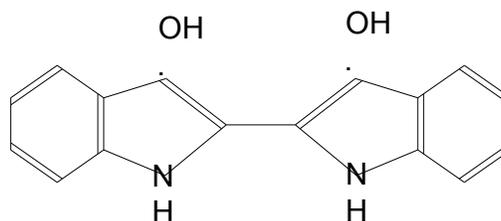


Fig. Leuco índigo, 2:2' - di - indoxil

- ☑ **Indigotina:** índigo o índigo azul, trans- 2:2''-di-ψindoxil, di - indógeno.

Fórmula: C₁₆H₁₀O₂N₂

Peso molecular: 262 gr/mol

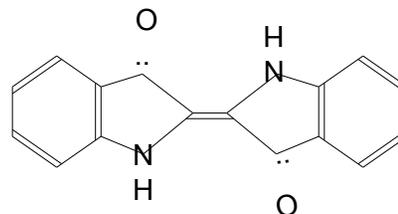


Fig 20: Indigotina

El polvo que se obtiene como producto de la extracción tiene como componente principal la Indigotina (*Agente químico que produce el color azul*), de la cual las mejores clases de planta contienen del 70 al 90%, de 40-50% las medianas y un 20% las inferiores. Los componentes restantes son el rojo de índigo, el pardo de índigo, agua y cenizas que consisten principalmente en carbonato de calcio y magnesio, alumina y oxido de hierro.

El pigmento azul contiene indirrubina o rojo de índigo, indihumina o pardo de índigo, sustancia gelatinosa, materiales nitrogenados y sales minerales como arena, silicato, calcio, potasio, manganeso, hierro, etc. El de mejor calidad, no debe producir más del 70% de ceniza ligera, flota sobre el agua y es de color azul oscura con reflejos cobrizos metálicos.

3.2.3.1 Porcentaje de Indigotina.

La determinación del porcentaje de Indigotina de una muestra de añil, requiere de un procedimiento químico que no esta al alcance de ésta investigación, sin embargo, para ello, se contrató los servicios de un laboratorio químico especializado en control de calidad de los materiales, debidamente acreditado por GTZ (Cooperación Técnica Alemana), donde por el método espectrofotométrico se logró determinar que **el añil utilizado en este estudio contiene un 44% de indigotina.** (Ver hoja certificada, adjunta en los anexos)

3.2.3.2 Reacción Química para producir Indigotina³.

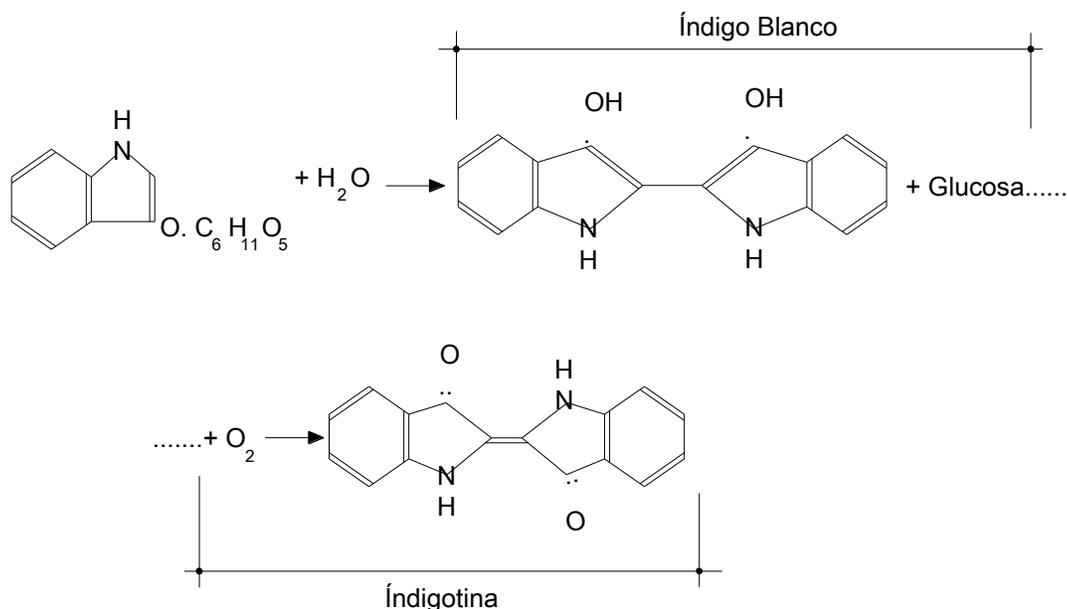


Fig 21. Reacción química para producir Indigotina

3.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD DEL PIGMENTO EN AGUA.

Conocer la cantidad de materia del pigmento que se disuelve en agua, es una de las exigencias y recomendaciones de la especificación ASTM C-979-99. Por lo tanto, como parte de esta investigación se encuentra el determinar el porcentaje de materia soluble en agua, con base en los procedimientos de los métodos de prueba de dicha norma.

Según el apartado 7.4 de los métodos de prueba de la ASTM C-979-99, el proceso debe hacerse en base a la especificación ASTM D-1208 "Métodos de Prueba Estándar de Propiedades Comunes de Ciertos Pigmentos", donde los alcances vinculan al apartado 5 "Materia Soluble en Agua" el cual describe el procedimiento siguiente:

Materia Soluble en Agua¹⁸.

Procedimiento.

1- Pesar cerca de 10 gr. de la muestra del pigmento y agregarlos en un beaker de 400 ml. Agregar 100ml de agua, hervir por 5 minutos y enfriar luego transferirla a un frasco volumétrico de 250 ml. Posteriormente agregar agua hasta la marca de 250 ml, mezclarlo y dejar precipitar (asentar).

Filtrar el liquido flotante a través de un papel seco de filtrado, descarte los primeros 25 ml. Evaporar 100 ml del agua que fue filtrada por sequedad en un plato ó preferiblemente en un horno a 105 Y 2 °C. Enfriar y pesar.

2- Cálculo.

Calcule el porcentaje de materia soluble en agua "M" como sigue:

$$M = \frac{R_1 \times 2.5}{S_2} \times 100 \%$$

Donde R_1 es el peso del residuo,

S_2 es el peso del espécimen

Desarrollo de la práctica.

1- Primeramente se pesaron los 10 gr. de añil.

2- Peso de beaker de 250 ml =108.6400 gr.

3- Después de agregar el pigmento (añil) en el beaker de 400 ml; seguidamente se le agregaron 100 ml de agua común (agua potable); una vez tenida la solución pigmento-agua, se procedió a cocer por 5 minutos. Después de esto se filtro la solución en un frasco volumétrico con embudo normal.

4- Seguidamente se procedió agregando agua hasta la marca de 250ml. Se removió enérgicamente y se dejo asentar la solución. Luego se extrajeron 100 ml de la parte superficial de la solución, descartando siempre los primeros 25 ml por el efecto de la espuma y se hizo evaporar esos 100 ml en el beaker previamente pesado en el

¹⁸ Tomado de Annual Book of ASTM Standard 1986, Volume 06.02 "Paints, Related Coatings and Aromatics" especificación D-1208

inciso 2. Una vez evaporada toda el agua se vuelve a pesar el beaker con los sedimentos que quedaron dispersados en las paredes en forma de manchas únicamente, obteniéndose un peso de 108.8555 gr. por lo que:

$$\begin{aligned}\text{Peso del residuo} &= 108.8555 \text{ gr} - \text{Peso del beaker} \\ &= 108.8555 - 108.6400 = 0.2155 \text{ gr.}\end{aligned}$$

Cálculo.

$$M = \frac{R_1 \times 2.5}{S_2} \times 100\%$$

Donde: R_1 es el peso del residuo = 0.2155 gr.

S_2 es el peso del espécimen = 10.00 gr.

2.5 una constante, según especificación mencionada

Sustituyendo datos en la ecuación anterior se tiene:

$$M = \frac{0.2155 \times 2.5}{10} \times 100 = 5.3875\% \leftarrow$$

Resultados.

La cantidad de pigmento que es soluble en agua, según este ensayo resulta ser del 5.3875% del peso que se recomendó.

Lo que implica que de todo el añil que pueda utilizarse, solo un **5.39% es completamente soluble en agua.**



Fig 22. Evaporación de la solución (derecha) y Filtrado de la solución (izquierda)

3.4 ANÁLISIS DE HUMECTABILIDAD EN AGUA DEL PIGMENTO.

Como parte de los requerimientos generales de la especificación ASTM C-979 también se encuentra el análisis de humectabilidad del pigmento en agua. El proceso de ensaye se describe en el apartado 7.1 de dicha norma y se detalla a continuación:

Humectabilidad del Agua.¹⁹

Agregar 10 gr. de pigmento a 150 ml de agua des-ionizada en un beaker de 250 ml. Si el pigmento no se mezcla rápidamente con el agua cuando se revuelve con la espátula, pero si en lugar de eso, una porción substancial de pigmento flota en la superficie del agua, el pigmento es incompatible y no es humectable en agua.

Según el ensayo, quedó demostrado que el pigmento *no es completamente humectable en agua*. Esto se debe a que cuando se agregó el pigmento al agua destilada hubieron partículas que se mantuvieron en la superficie de la solución; pero a medida se removía el fluido, se pudo observar que se producían burbujas de aire en la superficie y que cierto porcentaje se disolvía en el líquido, como puede verse en la fotografía.

Resultados:

Debido a que gran parte del pigmento flota en la superficie del agua y que cierto porcentaje se diluye se puede concluir que **no es**



humectable completamente en agua por su poca solubilidad (Únicamente el 5.38%) y por su densidad doblemente menor que la del agua.

Fig 23. Parte del pigmento no humectable flota en la superficie del agua.

¹⁹ Tomado de Annual Book of ASTM Standard 2003, Volume 04.02 “Concrete and Aggregates” Esp. C-979-99

3.5 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL PIGMENTO A LOS ÁLCALIS.

Otro aspecto muy importante relativo a la composición química del cemento Pórtland se refiere a los álcalis, óxidos de sodio (Na_2O) y de potasio (K_2O), cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento con ciertos agregados en el concreto. Esto ha dado motivo para el establecimiento de un requisito químico opcional, aplicable a todos los cementos Pórtland, que consiste en ajustar el contenido de álcalis totales, expresados como Na_2O , a un máximo de 0.60% cuando se requiere emplear el cemento junto con agregados reactivos.²⁰

Este ensaye tiene su importancia debido a las posibles diferencias de color y efectos secundarios de reacciones que se pudiesen ocasionar en el concreto por la presencia masiva de álcalis en el cemento. El procedimiento para realizar este ensayo esta descrito siempre en la especificación ASTM C-979 apartado 7.2 y se menciona a continuación:

Resistencia a los álcalis.⁶

Agregue dos porciones de pigmento de 10 g cada uno por separado en beakers de 250 ml, conteniendo cada uno 150 ml de agua des-ionizada y mueva hasta mezclarse completamente. Agregar 10 ml al 10 % del peso de la solución, de hidróxido de sodio a un beaker y muévelo completamente una vez más. Deje la lechada por una hora entonces remueva y filtre en embudos de Buchner separados. Lave la porción del filtro reemplazando el agua tres veces con agua caliente des-ionizada, seque la porción el papel filtro en un horno a 230 ± 5 °F (110 ± 3 °C) por 4 ± 0.5 horas. Retírese del horno, enfrié y muela los pigmentos en un polvo fino. Fabrique dos piladas pequeñas adyacentes de pigmento en polvo y presione contra el piso con una espátula. Compare el color del control y tratamiento de los pigmentos en polvo.

²⁰ Según el Manual de Tecnología del Concreto, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Desarrollo.

Para esta práctica se analizaron tres muestras en total, la primera con agregado de hidróxido de sodio al igual que la segunda y la tercera como muestra de control y comparación del color en el pigmento.

Los pigmentos se mezclaron rigurosamente en cada uno de los beakers, dando una coloración azul oscura y presentando burbujas de aire principalmente cerca de las paredes de los recipientes.

Se le agregó la solución de hidróxido de sodio a dos de los beakers, ocasionando que el olor de la solución se volviera insoportable debido al hidróxido agregado. Luego se mezcló nuevamente la solución en los beakers que contenían el pigmento con hidróxido de sodio, y finalmente se filtraron ambas soluciones en embudos de Buchner (como se observa en la fig.), quedando solamente una masa de color azul en los filtros de los embudos.



Fig 24. Filtrado con embudo de Buchner (izquierda) mediante vacío y. Molienda de la muestra después de secada al horno.

Una vez tenidos los sedimentos húmedos dentro del embudo de Buchner, se procedió a colocarlos junto con el papel filtro dentro del horno a 110° C por un periodo de tiempo de 4 horas. Inmediatamente después fueron sustraídas del horno y molidas en un mortero con pistilo de cerámica para posteriormente ser presionadas con una espátula en un vidrio blanco, donde fuera posible la observación e identificación

visual de los cambios de color en el pigmento como efecto del hidróxido de sodio más la temperatura.

Resultados:

De las tres muestras analizadas (M1, M2 y M3), las dos primeras no presentaron diferencia en color comparadas con la muestra 3 que era el control o patrón de la practica, la cual presentaba un ligero y casi inapreciable cambio en su color en comparación con los otros pigmentos tratados con hidróxido de sodio.

Por lo tanto, y según la especificación ASTM C-979, **el pigmento tiene resistencia a los álcalis** que se presenta en el cemento como óxidos de sodio (Na_2O).

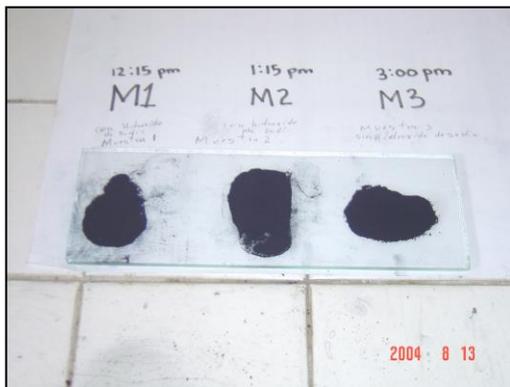


Fig 25. Las muestras analizadas según el ensayo de resistencia a los álcalis no presentan diferencia de color alguna. La muestra M1 y M2 son restos de pigmentos tratados con Hidróxido de Sodio, la muestra M3 es el pigmento control.

3.6 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE SULFATOS (SO₃) PRESENTES EN EL PIGMENTO.

Como parte de los requerimientos generales de la especificación ASTM C-979-99 en el inciso 3.3, se recomienda la determinación de la cantidad de sulfatos ó Anhídrido Sulfúrico SO₃ que está presente en los pigmentos integrales para concreto.

Dicha cantidad se debe deducir en base al procedimiento recomendado en el inciso 7.3 de la misma especificación ASTM, la cual relaciona el método descrito en la especificación ASTM D-50 "Métodos de prueba estándar para análisis químicos de pigmentos amarillos, anaranjado, rojo y café conteniendo hierro y manganeso".

La importancia de la determinación de la cantidad de Anhídrido Sulfúrico (SO₃) en los pigmentos integrales para concreto, se debe a que este Anhídrido está presente en el cemento en cierta cantidad que es proporcionada por la adición final de yeso, para el control de fraguado, ya que el yeso se combina con el C₃A ó Aluminato Tricálcico, que es uno de los compuestos principales del clincker Pórtland²¹. Sin embargo, una cantidad excesiva de yeso puede dar lugar a la formación de sulfoaluminatos (cal de Candlot), que por su naturaleza expansiva pueden causar desintegración del concreto.

Las cantidades de SO₃ que deben contener los cementos Pórtland, están regidas por las especificaciones ASTM C-150, ASTM C-1157 y ASTM C-595, según la clase y utilidad del cemento. Por lo tanto, los pigmentos únicamente pueden aportar un 5% de su propio peso equivalente a SO₃ a una mezcla en particular, así como lo recomienda la ASTM C-979-99.

Para la determinación de la cantidad de SO₃, la especificación ASTM D-50 se remite al inciso 15 donde se trata a los sulfatos solubles es acido hidrociorhídrico y se describe de la manera contextual siguiente:

²¹ Según: "Concrete, Structure, Properties and Materials"- Kumar Mehta y Paulo Monteiro- Prentice Hall, Inc. 1993

Sulfatos Solubles en Acido Hidroclorhídrico²².

15. Reactivos.

15.1 Solución de Cloruro de Bario.

Disuelva 117 g. de Cloruro de Bario ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$) en agua y dilúyase para 1 litro.

16. Procedimiento.

16.1 Pesar un gramo de la muestra y agregue 30 ml de HCL (sp gr 1.19), hierva por 5 minutos, agregue cerca de 50 ml de agua, hierva, filtre y lave con agua caliente.

Caliente la solución hasta hervir, agregue NH_4OH (amoníaco) en exceso, filtre y lave lo precipitado varias veces con agua caliente.

Disolver lo precipitado en HCL (acido clorhídrico) caliente (1+1), reprecipite con NH_4OH y lave bien con agua caliente.

16.2 Combinar la unidad filtrada y hacer distintos ácidos con HCL, hierva y agregue unas gotas mientras se agite en exceso de solución de $BaCl_2$. Hierva aproximadamente por 10 minutos.

El $BaSO_4$ precipitado debe normalmente ponerse de 2 a 4 horas antes de filtrarse para coagular lo precipitado. Si la almohadilla es espesa en el embudo de Gooch y lo filtrado esta libre de sulfatos, entonces no puede ser necesario que lo resista. Filtre en un embudo Gooch y lave con agua caliente, caliéntese a $900^\circ C$ y pese como sulfato de bario ($BaSO_4$).

16.3 Cálculo.

Calcule el porcentaje de SO_3 como sigue:

Donde:

$$A = [(P \times 0.343) / s] \times 100$$

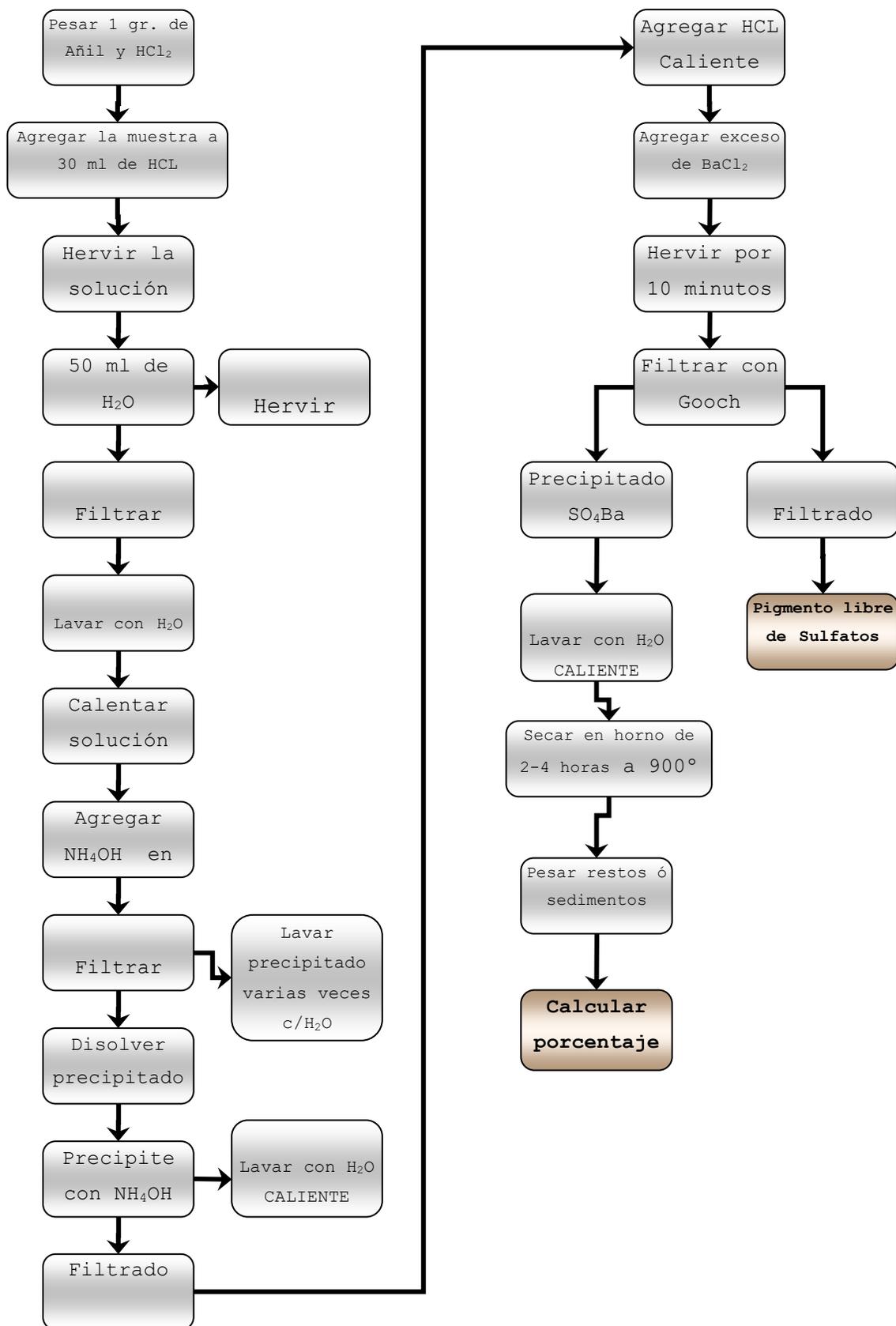
P = peso de $BaSO_4$ (gr) y

S = peso de la muestra original (gr) y además;

$0.343 \times BaSO_4 = SO_3$; que es la relación entre los dos componentes.

²² Tomado de: Annual Book of ASTM Standard 2003, Volume 06.03 "Paint- Pigments, Drying Oils, Polymers, Resins, Naval Stores, Cellulosic and Ink Vehicles" Esp. D-50-90 (Reaprobada en 1999)

Desarrollo. 1-Para la mejor comprensión del proceso a seguir, se elaboró el siguiente organigrama.



2- Como se describe en el organigrama anterior, se peso 1 gr de añil y 117 gr de cloruro de bario $BaCl_2$, seguidamente se mezclo y filtró este peso de $BaCl_2$ con 1000 ml de agua destilada, a la vez se puso a calentar agua destilada y agua corriente.

Se depositó la muestra de añil en un beaker de 500 ml y se le agregaron 30 ml de acido clorhídrico HCL, esta solución se coloco en baño de maría por 10 minutos, después se le agrego 50 ml de agua destilada caliente a la solución y se puso otra vez a calentar hasta hervir, tardando solamente 8 minutos.

Seguidamente se filtró la solución en un embudo Gooch, lavando con agua caliente destilada el sedimento que quedaba en el beaker y también se filtro junto con el resto de la solución, el papel utilizado para filtrar esta solución fue Whatman N° 40 con ayuda de vacío.

Después de filtrada la solución, se colocó en un beaker de 600 ml, quedando en el filtro materia sólida de color azul oscuro, seguidamente se le agrego amoniaco a la solución hasta hacerla básica (una solución básica), luego se le midió el PH y resulto ser de 12, el color variaba a medida se le agregaba amoniaco.

Estando la solución como una base, nuevamente se filtró en el embudo de Gooch.

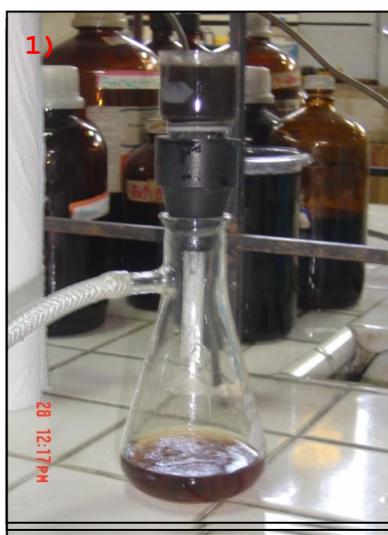


Fig 26.1) Filtrado de la solución HCL+ Añil en embudo de Gooch por vacío,
2) Papel PH, para la medición de PH en líquidos

Al sedimento o materia sólida que no se filtró, se le agrego a una mezcla de 40 ml de H₂O destilada y 40 ml de ácido clorhídrico HCL, a manera de lavar el filtro y que a la vez estos dos líquidos se mezclarán con la solución, volviéndola de color anaranjado.

Posteriormente se calentó esta nueva solución y se le agrego amoniaco por lo que se volvió de color negro, teniendo un PH de 11, lo que indicó que todavía se encontraba como una base. En seguida se filtro en Gooch y lavo el filtro con agua caliente destilada. A esta nueva solución de color oscuro se le agregaron 30 ml de HCL y posteriormente se calentó durante 10 minutos en la cocina. Al agregarle el HCL mencionado, la solución nuevamente se torno a color anaranjado claro presentando un PH de 1.

Seguidamente se le agrego a la solución el Cloruro de Bario BaCl₂ disuelto en agua y se volvió a medir el PH resultando siempre de 1 pero el color le cambio a amarillo claro o solamente se torno mas clara la solución, posteriormente se calentó por 10 minutos hasta hervir. Después de hervida la solución, no se le noto ningún tipo de sedimento o materia flotante ni sumergida y se opto por dejarla reposar durante 18 horas a temperatura ambiente.

Pasadas las 18 horas no se observo ningún tipo de materia sólida o fina, por lo que se asume que **el añil no contiene sulfatos que podrían aumentar la cantidad normalizada que contienen los cementos.**

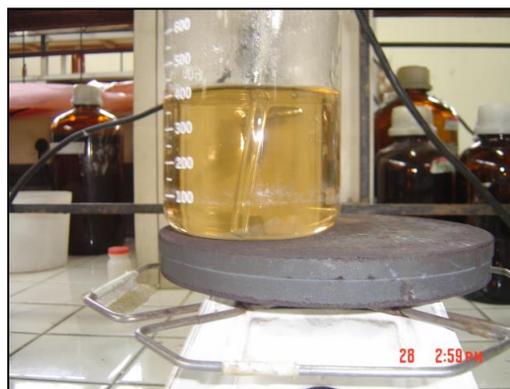


Fig 27. Líquido resultante de todo el proceso, no se observa materia sólida o sedimento (derecha) y Solución de HCL+Añil con PH 1 como Anhídrido Sulfúrico SO₃

3.7 AJUSTE DE LA FINURA DEL PIGMENTO.

La finura del pigmento es una de las características que no está normalizada por la especificación ASTM C-979-99, pero sin embargo algunos fabricantes y proveedores de pigmentos para concreto como Bayer, recomiendan en base a estudios que han realizado con sus propios productos, que la finura de los pigmentos es una característica esencial de los pigmentos en relación a su poder colorante y por lo tanto a las dosificaciones factibles de uso en el concreto.

Por lo anterior, los mejores colorantes para concreto de origen mineral como los óxidos de hierro, cobalto y cromo, son pulverizados en máquinas similares a las de pulverización del cemento, y su finura está relativamente cercana o menor a las 45 μm . (malla N° 325)

En el caso de nuestro pigmento, a pesar que no es de origen mineral sino más bien orgánico, la finura de molienda es una característica que también es tratada en este estudio.

Como se mencionó en 3.2.2.2, en particular para el añil utilizado en este estudio, se obtuvo del procesamiento una molienda original con finura que pasa al 100% la malla N° 16 (1.180mm) y que comienza a ser retenido en la malla N° 30 (0.600mm). En esas condiciones de molienda, el añil quedó retenido en un 97% en la malla N° 325.

Como parte del ajuste de la finura del pigmento, el objetivo principal es tal de obtener una finura semejante o menor a la del cemento, por lo tanto se optó por un proceso de pulverización del material obtenido de la molienda

Ajuste de la finura

Para la realización de este proceso de aumento de finura del añil, fue necesario la utilización de una maquina pulverizadora de clincker para laboratorio²³.

Esta maquina hace su efecto de pulverización por medio de discos giratorios ajustados a la finura del cemento Pórtland.

Se pulverizaron dos cantidades de añil, la primera de ellas fue rechazada debido a que el añil contenía cierto porcentaje de humedad, lo que provoco que en el interior de la maquina se adhiriera a las paredes una capa pastosa, cristalina y no pulverizable, por tal razón se secó el resto del añil al horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas.

Posteriormente, la otra cantidad de añil seco, se pulverizó hasta una finura considerable al alcance de la maquina, debido al tipo de material distinto al cemento para el cual esta maquina sí logra alcanzar finuras bastante pasables de la malla N° 325.

Resultados:

Como resultado de la pulverización del añil por 10 minutos se logró obtener una finura tal que **el 30% es pasante de la malla N° 325**, mientras un 60% es retenido. Los cementos Pórtland para uso general sin adiciones, fabricados en El Salvador presentan una finura tal que únicamente el 7% es retenido en la malla mencionada.

Debido posiblemente a las características que como material orgánico y dureza que tiene el añil, se hace imposible la pulverización en partículas más finas de las que se encontraron, sin que se convierta en pasta o desintegre en forma de pintura en las paredes de la maquina.

²³ Este proceso de pulverización del añil, se realizó en los laboratorios de control de calidad de la Planta Cementera El Ronco de Cementos de El Salvador (CESSA).



Fig 28. 1- Maquina pulverizadora de discos, 2- Introducción del añil a la maquina, 3- Pulverización de añil en el laboratorio.

3.8 RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Este capítulo abarcó específicamente la etapa de investigación de las propiedades físicas, composición química, ajuste de finura y el análisis del añil como un pigmento para concreto según la especificación ASTM C-979-99 que describe los procesos y requisitos de los mismos.

La siguiente tabla refleja los resultados obtenidos en el presente capítulo.

Resumen de resultados obtenidos en análisis preliminares hechos al pigmento		
Ensayo de Laboratorio	Proceso Seguido	Resultados
Det. de la Densidad	Método Volumétrico	D= 571.82 Kg/Mt ³
Det. de Porcentaje de Indigotina	Método Espectrofotométrico	% Indig. = 44%
Det. de Porcentaje de solubilidad en agua	Especificación ASTM D-1208 ap. 5	Cantidad soluble en agua = 5.39%
Análisis de humectabilidad en agua	Especificación ASTM C-979 ap. 7.1	No humectable en agua
Resistencia del pigmento a los álcalis	Especificación ASTM C-979 ap. 7.2	Alta Resistencia a los álcalis
Det. de la cantidad de sulfatos SO ₃	Especificación ASTM D-50 ap. 15	No contiene Anhídrido Sulfúrico
Aumento de Finura del pigmento	Pulverización, igual que el clincker Pórtland	30% pasante la malla N° 325

Tabla: resultados de ensayos preliminares practicados al pigmento añil

CAPITULO IV

**ENSAYO DE ESTABILIDAD DE CURADO ATMOSFÉRICO Y
RESISTENCIA A LA LUZ DEL PIGMENTO, POR MEDIO DE LA
NORMA ASTM C – 979 – 99 Y ANEXO A1 DE LA MISMA.**

4.0 ESTABILIDAD DE CURADO ATMOSFÉRICO Y RESISTENCIA A LA LUZ DEL PIGMENTO AÑIL.

4.1 INTRODUCCIÓN

El mortero es una mezcla muy utilizada en la actualidad en la mayoría de los proyectos de construcción. Esto se debe a su buen funcionamiento como pegamento para unidades de mampostería, repello paredes, y otra gama de aplicaciones en las que se utiliza. Como ya es conocimiento de todo profesional o trabajador en la rama de la construcción, el mortero es una mezcla compuesta por cemento, arena y agua, los cuales son mezclados en cierta cantidad para producir el mortero con las características deseables. Generalmente los morteros son utilizados con una consistencia plástica, trabajable y pastosa, que para obtener estas características se deben tomar en cuenta factores tales como la temperatura del lugar donde se esté fabricando, las condiciones de humedad de la arena y el tipo de cemento que sea usado.

Los colorantes para concreto de tipo integral, pueden perfectamente usarse en la coloración de morteros, ya sea que se coloreen con un fin puramente decorativo o arquitectónico. En un mortero coloreado no se requieren, necesariamente, características de resistencia a la compresión y otras que se piden en el concreto; más sin embargo, éste mortero debe tener las características adecuadas para resistir los efectos ocasionados por los agentes atmosféricos como la lluvia, el sol, nieve, etc. Ya que si el objetivo de tener un mortero coloreado se enfoca en la tonalidad que éste puede presentar, debe por lo tanto cumplir con esos requerimientos de resistencia a dichos agentes.

Antes de comenzar con los ensayos del pigmento en el concreto, es necesario conocer la variación de los efectos estéticos en el mortero, provocados por la adición de añil como pigmento colorante de tipo orgánico.

En este capítulo se pretende demostrar experimentalmente, la diferencia de tonalidad que se podría presentar en la comparación de dos especímenes de mortero pigmentado con añil, de igual fabricación, pero con diferentes estados de curado y de exposición solar.

A continuación se detalla todo el procedimiento que fue necesario realizar para la fabricación de dichos especímenes de mortero pigmentados; enunciando primeramente de forma contextual lo establecido en el anexo A1 de la norma ASTM C-979-99, el cual servirá como guía de procedimiento. Este capítulo también comprende la presentación de los procedimientos, cálculos de volúmenes de materiales y control de batchadas que servirán para su ejecución en el laboratorio; por último se dan a conocer los resultados obtenidos en los ensayos de estabilidad de curado atmosférico y resistencia a la luz.

4.2 METODOLOGÍA PARA LA PREPARACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA DE MORTERO (ANEXO A1 DE NORMA ASTM C – 979 - 99)

4.2.1 Aparatos:

4.2.1.1 *moldes de madera, para formar especímenes de aproximadamente 9" por 3" por ½" (ver nota A1). El molde debe ser cubierto con una mano no coloreada de alguna especie de líquido a aceite desmoldante para prevenir la absorción de agua. El molde debe ser sujetado junto con abrazaderas en "C" para su fácil remoción.*

Nota A1 - las dimensiones pueden ser modificadas, con tal de que se mantenga la resistencia final de los especímenes, para ajustar el medidor del tiempo usado para la prueba de resistencia a la luz.

4.2.1.2 *Bloque apisonador de madera, con un área de superficie de trabajo de aproximadamente 2" por 4".*

4.2.1.3 *Vaso de mezclas metálico o cerámico*

4.2.1.4 *Aparato de mezclado, como una cuchara o espátula.*

4.2.1.5 *Cámara caliente de secado.*

4.2.2 Materiales:

4.2.2.1 *Arena silicea limpia*

4.2.2.2 *Cemento blanco (nota A2), y*

4.2.2.3 *Pigmento a ser probado*

Nota A2 - El cemento blanco es sugerido para dar un mejor color y así juzgar el pigmento, pero otro cemento representativo puede ser propuesto para usarse.

4.2.3 Formulación:

4.2.3.1 *Prepare las mezclas de mortero en ambos niveles de pigmento ½ % y 6% (basado en el peso del cemento) de acuerdo con las siguientes formulas:*

	Control ^A	½ %	6 %
Arena silicea	480.0 g	480.0 g	480.0 g
Cemento blanco	160.0 g	159.2 g	151.0 g
Pigmento	0.0 g	0.8 g	9.0 g
Agua ^B	72 ml	72 ml	72 ml

^A Un espécimen de control es requerido para la prueba de estabilidad de curado atmosférico, pero no para la prueba de resistencia a la luz.

^B Para que las fluctuaciones en el contenido de humedad sea eliminado (proporción agua/cemento) de los especímenes de mortero nuevos y curados, es aconsejable secar la arena a $221 \pm 5^\circ F$ en un horno a peso constante. La cantidad de agua debe ser ajustada tal que un secado justo, evite el sangrado de la mezcla de mortero obtenida. Sin embargo, el contenido de agua para todos los lotes de alguna mezcla de mortero debe ser idéntico.

4.2.4 Procedimiento:

4.2.4.1 En orden, agregue arena, cemento y pigmento para el mezclado en el vaso y mezcle completamente con un aparato de mezclado hasta que la mezcla este uniforme. Agregar el agua y continuar el mezclado hasta que todos los ingredientes estén completamente mojados.

4.2.4.2 Coloque el molde en una tabla de vidrio, en un plato metálico, o cualquier otra superficie impermeable. Ligeramente sobrellenar el molde con la mezcla de mortero. Usando el bloque de madera, apisone la mezcla firmemente y uniformemente con un rodillo, nivelándolo en la parte superior del molde.

4.2.4.3 En cuanto el mortero se haya colocado, soltar las abrazaderas "c" cuidadosamente removiendo los lados del molde.

4.2.4.4 Coloque los especímenes de mortero en una mesa usando espaciadores para permitir la circulación de aire del ambiente alrededor, y permita el secado al aire a la temperatura del cuarto durante 12-24 horas.

4.2.4.5 Continúe los procesos de curado como sigue: transfiera cada espécimen para la prueba de resistencia a la luz y cada espécimen de control para la prueba de curado atmosférico para el cuarto caliente, y termínese curando a una temperatura de 120 ± 5 °F por 24 horas a un 20 ± 10 % de humedad relativa. Transferir cada espécimen por estabilidad de curado atmosférico a un 100% de humedad relativa atmosférica en el cuarto de temperatura (nota A3) durante por lo menos 20 días, y entonces secar en el gabinete caliente (horno) a 120 ± 5 °F por 24 horas con un 20 ± 10 % de humedad relativa.

(Nota A3) una bolsa plástica sellada puede ser usada para este propósito. Pequeñas cantidades de agua pueden ser inyectadas periódicamente dentro de la bolsa para mantener una atmósfera saturada.

Tipos de pigmentos característicos, fabricados para coloración de concreto.

Los tipos de pigmentos manufacturados para la coloración de concreto son como siguen:

Oxido de hierro sintético, Amarillo, Rojo, Marrón y negro.

Algunos óxidos de hierro naturales.

Óxidos de cromo

Cobalto azul.

Dióxido de titanio y carbón oscuro.

A continuación se presentan los procedimientos seguidos para poder fabricar dichos especímenes en el laboratorio, así como todas las hojas de control metodológicas que fueron necesarias para fabricar los especímenes.

4.3 INFORMACIÓN TÉCNICA GENERAL DE LOS MATERIALES COMPONENTES.

Para poder llevar a cabo los ensayos de estabilidad de curado atmosférico y resistencia a la luz del pigmento, se fabricarán ocho especímenes de forma prismática. Los moldes fueron sujetos por medio de tornillos de rosca, para el fácil desmoldeo de los especímenes.



Fig 29. Moldes de madera para elaboración de especímenes de mortero con medidas de 9"x3"x2"

Los moldes usados para elaborar los especímenes, presentan medidas de 9"x3"x2" (largo ancho y espesor respectivamente)²⁴. Las dimensiones normalizadas de los especímenes fueron modificados debido a que el espesor recomendado de 0.50" es difícil de fabricar.

La especificación sugiere que el espesor sea de 0.50" para que pueda ser colocado en la maquina emisora de luz que se utiliza en el ensayo de resistencia a la luz, en nuestro caso y como se menciona, no se utiliza este equipo. La resistencia a la luz se medirá mediante la exposición directa del espécimen a la luz solar.

²⁴ La norma ASTM C-979 - 99 proporciona medidas de 9"x3"x1/2" para los moldes de madera, pero también afirma que pueden modificarse las dimensiones de los especímenes siempre que no se afecte ninguna de las características de dosificación e igualdad de los materiales con se fabrican todos los especímenes.

Las cantidades de materiales utilizadas para la elaboración del mortero están dadas para producir un mortero 1:3 (cemento:arena).

A continuación se detallan las características físicas de los materiales utilizados en la elaboración de los especímenes de mortero.

1. Cemento: El cemento a utilizar será un cemento Pórtland Blanco tipo I que cumple con los requerimientos establecidas en la norma ASTM C-150. Este material será proporcionado a la mezcla según como establece el anexo A1 de la norma ASTM C-979-99 y el diseño de la mezcla.
2. Arena: La arena que será utilizada para la elaboración de los especímenes de mortero será la arena proveniente del banco Aguilares ubicado en el municipio de Aguilares del departamento de San Salvador, la cual tiene la característica de poseer un módulo de finura de 2.99, además presenta un color más claro que la arena de otros lugares como la proveniente de la cantera de Jíboa o Arahuaca en San Miguel. Además, la arena presenta a simple vista la presencia de pómez.
3. Agua: el agua utilizada en la fabricación del mortero, fue el agua que se utiliza en el laboratorio de control de calidad de Concretera Salvadoreña, la cual tiene las propiedades adecuadas para fabricar concretos y morteros.
4. Pigmento: el pigmento usado para la coloración del mortero fue el añil en polvo, ya procesado. El cual posee en su mayoría tamaño mayor a 45 micras²⁵, ya que un 60% del pigmento queda retenido en la malla número 325. El color que presenta este pigmento es un azul oscuro; por consiguiente, se espera que ese sea el color que presente el mortero que vaya a ser pigmentado.

²⁵ Información obtenida por el proceso de molienda preliminar y posteriormente el tamizado por la malla No 325 de 45 micras, en la cual se retuvo alrededor del 60% del pigmento molido en una pulverizadora.

4.4 CALCULO DE CANTIDADES DE MATERIALES PARA ESPECIMENES DE MORTERO EN LABORATORIO

Se presenta a continuación como se realizó el cálculo de los materiales utilizados para elaborar los especímenes de mortero, así como su diseño y las variaciones que se tuvieron al momento de su ejecución.

4.4.1 Cantidades necesarias para la elaboración de un espécimen.

Mezcla 1:3 Cemento - Arena

$$\text{Volumen} = 54 \text{ pulg}^3 = 884.90 \text{ cm}^3 = 8.849 \times 10^{-4} \text{ mt}^3$$

Para no afectar la dosificación de la mezcla se modificaran todas las cantidades en un 10% adicional por desperdicio.

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 8.849 \times 10^{-4} \text{ mt}^3 \times 12.4 \frac{\text{bolsas}}{\text{mt}^3} \times 1.10 \quad (\text{abundamiento}) \\ &= 0.0121 \text{ bolsas} \\ &= 0.0121 \text{ pie}^3 = 3.429 \times 10^{-4} \text{ mt}^3 \end{aligned}$$

En peso:

$$\begin{aligned} &= 3.429 \times 10^{-4} \text{ mt}^3 \times 3150 \text{ Kg/mt}^3 \\ &= \mathbf{1.08 \text{ kg de cemento} \leftarrow} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arena} &= 8.849 \times 10^{-4} \text{ mt}^3 \times 1.05 \frac{\text{mt}^3}{\text{mt}^3} \times 1.10 \quad (\text{abundamiento}) \\ &= 1.022 \times 10^{-3} \text{ mt}^3 \\ &= 1.022 \times 10^{-3} \text{ mt}^3 \times 1593 \frac{\text{Kg}}{\text{mt}^3} \\ &= \mathbf{1.62 \text{ Kg de arena} \leftarrow} \end{aligned}$$

$$\text{Agua} = 8.849 \times 10^{-4} \text{ mt}^3 \times 260 \frac{\text{lt}}{\text{mt}^3} \times 1.10 \text{ (abundamiento)}$$

$$= 0.253 \text{ lt}$$

$$= 0.253 \text{ lt} = 253 \text{ ml} = 253 \text{ cm}^3 = 2.53 \times 10^{-4} \text{ mt}^3$$

En peso:

$$= 2.53 \times 10^{-4} \text{ mt}^3 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{mt}^3}$$

$$= \mathbf{0.253 \text{ kg de agua} \leftarrow}$$

A continuación se muestran los cuadros con las cantidades necesarias de los materiales, para llenar cada uno de los especímenes de mortero; tanto para el ensayo de estabilidad de curado atmosférico como para el de resistencia a la luz.

Cuadro resumen para especímenes dispuestos para ensayo de estabilidad de curado atmosférico

Cantidades necesarias Para un espécimen

Elemento	Mezcla de control	0.5 % de pigmento	6% de pigmento
Arena Sílice	1.62 Kg	1.62 Kg	1.62 Kg
Cemento Blanco	1.08 Kg	1.07 Kg	1.015 Kg
Pigmento	--	5.373 gr	64.8 gr
Agua	253 gr	253 gr	253 gr

Cuadro resumen de especímenes Para ensayo de resistencia a la luz

Elemento	0.5 % de pigmento	6% de pigmento
Arena Sílice	1.62 Kg	1.62 Kg
Cemento Blanco	1.07 Kg	1.015 Kg
Pigmento	5.373 gr	64.8 gr
Agua	253 gr	253 gr

4.5 ETAPA DE FABRICACIÓN, CURADO Y EXPOSICIÓN DE LOS ESPECIMENES.

A continuación se presentan como se llevo a cabo la secuencia de fabricación de los especímenes para los ensayos de estabilidad de curado atmosférico y resistencia a la luz.

4.5.1 Dosificación de Bachadas para la hechura de especímenes.

4.5.1.1 Bachada 1

Mezcla de control sin pigmentar

Cantidades necesarias para llenar 2 especímenes

Cemento blanco = 2.16 Kg

Arena = 3.24 Kg

Agua = 506 gr.

4.5.1.2 Bachada 2

(Con 0.5% de pigmento)

Cantidades necesarias para llenar 3 especímenes

Cemento blanco = 3.21 Kg

Arena = 4.86 Kg

Agua = 759 gr

Añil = 16.123 gr

4.5.1.3 Bachada 3

(Con el 6% de pigmento)

Cantidades necesarias para llenar 3 especímenes

Cemento blanco = 3.045 Kg

Arena = 4.86 Kg

Agua = 759 gr

Pigmento = 194.4 gr

Antes de comenzar con la preparación de la mezcla, se procedió primeramente a encontrar la humedad natural que poseía la arena²⁶; esto se hizo con el fin de hacer más rápido y eficiente el proceso, en vista que la arena en su estado natural nunca presenta un estado completamente seco o saturado con su superficie seca. Esto sirvió para no tener que secar toda la arena que sería necesaria para la mezcla, y siempre teniendo presente que se deben hacer las correspondientes correcciones de agua y agregado para la mezcla de mortero.

El proceso que se siguió para obtener el porcentaje de humedad natural fue el siguiente:

- a) Pesar recipiente donde será depositado el agregado (W_t)
- b) Pesar 100 grs de la muestra en estado natural o húmeda (W_{ah}).
- c) Pesar el conjunto recipiente mas muestra ($W_t + a_h$).
- d) Secar el conjunto en una cocina por un periodo de tiempo de 15 minutos o hasta que la muestra no presente rastros de humedad.²⁷
- e) Dejar que se enfríe todo el conjunto.
- f) Pesar nuevamente el conjunto recipiente mas muestra seca $W_t + a_s$.
- g) Encontrar el peso de la arena seca como sigue:
$$W_{as} = W_t + a_h - W_t.$$
- h) Calcular el peso del agua como sigue:
$$W_w = 100 \text{ gr} - W_{as}$$
- i) Calcular el porcentaje de humedad natural de la muestra como sigue: $W\% = (W_w / W_{as}) \times 100$

²⁶ Norma ASTM C – 566 – 97 “Determinación del Contenido de Humedad de los Agregados para Concretos y Morteros”. Pero puede usarse también la ASTM D -2216 – 90 “Determinación del Contenido de Humedad de una Muestra”

²⁷ Para verificar si la arena se encuentra completamente seca puede usarse un vidrio transparente colocándolo sobre el recipiente, la arena estará seca cuando el vidrio ya no muestre señales de humedad (gotas de vapor de agua en su superficie)

Desarrollo.

Datos tomados en el laboratorio:

Wt = 108 gr

Wah = 100 gr

Wt+ah = 208 gr

Wt+as = 198 gr

Was = 90 gr

Ww = 100 - 90 = 10gr

$$W\% = (10 \text{ gr} \div 90 \text{ gr}) \times 100 = \mathbf{11.11 \%}$$

Teniendo el porcentaje de humedad de la arena se procedió a hacer las correcciones por humedad de la misma. Esta corrección se puede hacer de dos formas:

1^a Cuando la arena posee mayor humedad de la que puede absorber. En este caso se dice que la arena aportará agua a la mezcla, por lo tanto la corrección consiste en reducir el agua en exceso de la arena a la de la mezcla, y aumentar la cantidad de arena en un valor igual al peso del agua contenida en la misma.

2^a Cuando la arena posee menor humedad de la que puede absorber. En este caso se dice que el agregado absorberá agua de la mezcla ocasionando que la mezcla no pueda presentar la plasticidad y trabajabilidad adecuada. Para este caso, se aumenta la cantidad de agua en un valor igual al peso faltante de agua en el agregado para que éste quede saturado superficialmente seco (no absorba ni aporte agua) y deberá disminuirse la cantidad de material sólido en la misma proporción para mantener el equilibrio y peso e la mezcla.

4.5.2 Elaboración de especímenes de control (sin pigmento).

Los datos usados para la realización de los especímenes de control fueron los siguientes:

$W_{\text{cimento}} = 2160 \text{ gr}$

$W_{\text{tara}} = 805.5 \text{ gr}$

$W_{\text{tara}} + \text{cimento} = 2965.5 \text{ gr.}$

Corrección de la arena por contenido de humedad de la misma.

$\text{Arena} = 3240 \text{ gr} \times 1.11 = 3596.4 \text{ gr}$

$\text{Agua} = 506 - 55.66 = 450.34 \text{ gr}$

Con respecto al agua de mezclado, inicialmente se tenía un valor de 506 gr; pero al momento de hacer la mezcla se pudo observar que no era suficiente cantidad de agua para producir una mezcla plástica y trabajable; por lo que se optó por hacer incrementos periódicos hasta lograr un mortero con una trabajabilidad y plasticidad adecuada.

Por tanto el agua total utilizada para la mezcla de mortero fue de 1000 ml.²⁸

Los componentes fueron mezclados en una bandeja de tamaño adecuado.



Fig 30. Mezcla de mortero pigmentada para el llenado de los moldes de madera.



Fig 31. Compactación de la mezcla de mortero con apisonador de madera de 2" x 4".

²⁸ Existen varios factores como la temperatura que hacen que varía la cantidad de agua utilizada para hacer una mezcla.

4.5.4 Elaboración de especímenes pigmentados con un 0.5% del peso del cemento:

Los datos usados para la realización de los especímenes fueron los siguientes:

$W_{\text{cemento}} = 3210 \text{ gr}$

$W_{\text{tara}} = 804 \text{ gr}$

$W_{\text{tara}} + \text{cemento} = 4014 \text{ gr.}$

$W_{\text{pigmento}} = 16.05 \text{ gr}$

Corrección de la arena por contenido de humedad de la misma.

$\text{Arena} = 4860 \times 1.11 = 5394.6 \text{ gr}$

Con respecto al agua, al igual que con la mezcla de control se utilizó el agua necesaria para hacer la mezcla trabajable y plástica; por consiguiente, el agua necesaria para hacer la mezcla fue de 1477.13 ml.

4.5.5 Elaboración de especímenes pigmentados con un 6 % del peso del cemento:

Los datos usados para la realización de los especímenes fueron los siguientes:

$W_{\text{cemento}} = 3045 \text{ gr}$

$W_{\text{tara}} = 804 \text{ gr}$

$W_{\text{tara}} + \text{cemento} = 3849 \text{ gr.}$

$W_{\text{pigmento}} = 182.7 \text{ gr}$

Corrección de la arena por contenido de humedad de la misma.

$\text{Arena} = 4860 \times 1.11 = 5394.6 \text{ gr}$

Con respecto al agua, al igual que con las mezclas anteriores se utilizó el agua necesaria para hacer la mezcla trabajable y plástica; por consiguiente, el agua necesaria para hacer la mezcla fue de 1477.13 ml

Al mismo tiempo que se estaba fabricando la mezcla, se estaban cubriendo los moldes de madera con un líquido desmoldante de tipo

viscoso y transparente, para evitar que se adhiera el mortero a los mismos²⁹.

Una vez que se tenían cubiertas las superficies internas de los moldes y hecha la mezcla, se procedió a llenar cada molde.

A medida que iban llenando los moldes, la mezcla se compactaba en una superficie horizontal por medio de un apisonador de madera de área efectiva de trabajo de 8 pulgadas cuadradas.

Los moldes fueron colocados sobre una superficie de cartón horizontal para evitar que se mancharan los especímenes con cualquier otro agente externo.

En la figura siguiente se pueden apreciar los especímenes ya terminados, en el cual se encuentran las muestras pigmentadas con 0%, 0.5% y 6% de añil con respecto al peso del cemento, ordenadas de izquierda a derecha.



Fig 32. Especímenes de mortero al 0%, 0.5%, y 6% de pigmento. en moldes de madera.

²⁹ El líquido desmoldante fue proporcionada por la empresa IMI. El nombre del líquido desmoldante es “No Bond”

4.5.6 Curado y exposición de los especímenes de mortero.

Una vez llenados los moldes, se dejaron los especímenes en ambiente fresco a humedad controlada por 48 horas, para luego desmoldarlos e introducirlos en un depósito con agua por un periodo de 3 días; asegurándose de dejar el depósito en el cuarto de curado a una temperatura de 20 a 22 grados centígrados.³⁰

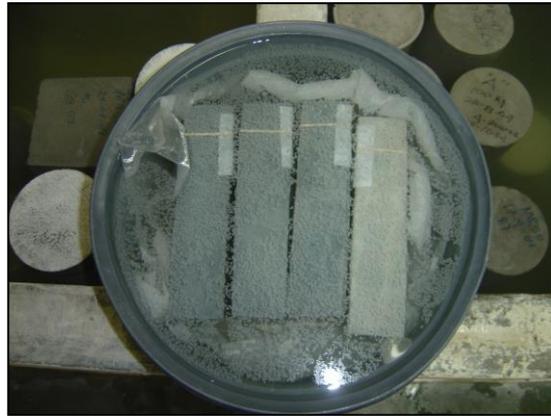


Fig 33. Especímenes de mortero en proceso de curado

Terminado el proceso de curado, se procede a colocar cada espécimen en su ambiente respectivo, según sea la prueba a la que fue sometido.

³⁰ Según como se menciona en norma ASTM C – 192 donde se dan todos los requerimientos de fabricación y curado de especímenes de concreto y mortero.

4.5.6.1 Estabilidad de curado Atmosférico.

Los especímenes de estabilidad de curado atmosférico, dispuestos para curado en campo, se colocaron a la intemperie, protegidos de la luz directa del sol mediante papel periódico húmedo, que continuamente se estuvo humedeciendo hasta el momento de su comparación con los especímenes curados en el laboratorio a humedad controlada.

Estos especímenes estuvieron expuestos a temperaturas ambientes comprendidas entre 33-41°C, el tiempo de exposición fue compuesto por meses de época de Verano e Invierno primeramente.

En cuanto a los especímenes para estabilidad de curado atmosférico dispuestos para curado bajo condiciones de laboratorio, éstos fueron introducidos en un recipiente amplio lleno de agua a temperatura ambiente controlada entre 20 y 23°C, en donde se mantuvieron hasta el momento de comparación con los especímenes curados en campo.

4.5.6.2 Resistencia a la Luz.

Referente a los especímenes dispuestos para ensayo de resistencia a la luz, fueron cubiertos en la mitad de cada una de sus caras; de tal forma que una mitad quedara expuesta a los rayos ultravioleta y la otra mitad quedara cubierta de la exposición; de tal manera que estos especímenes permanecieron así por un periodo de 500 horas según como menciona la norma ASTM C-979-99.

4.6 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ESPECIMENES DE MORTERO PIGMENTADOS.

4.6.1 Estabilidad de curado atmosférico:

Una vez que los especímenes terminaron su proceso de curado bajo condiciones diferentes (condiciones de campo y laboratorio), se procedió a realizar una comparación de tipo visual entre cada uno de los especímenes pigmentados con la misma dosificación. Esto se hizo debido a que en nuestro medio, no se cuenta con un dispositivo que sea capaz de medir diferencias en el color de los materiales, en este caso del mortero coloreado. Del mismo modo se deben comparar los especímenes de control para verificar como afecta el curado en las características de un mortero hecho con cemento blanco.

A continuación se presentan las comparaciones realizadas a cada uno de los morteros pigmentados y de control, así como ciertas observaciones de los mismos.

4.6.1.1 Comparación de especímenes de control.

Al hacer la comparación visual de color entre los especímenes curados en laboratorio y los curados en campo, fue posible observar que el curado es un factor que afecta aún al mortero sin pigmentar, ya que existe cierta diferencia, aunque sea poca, en la tonalidad de los especímenes que fueron utilizados como muestras de control; a pesar que fueron fabricados solamente con cemento blanco, arena y agua.

Para hacer la comparación visual, se colocaron los especímenes en luz solar, con un fondo oscuro para poder apreciar mejor las diferencias de color entre ambos.

La imagen siguiente muestra como ha cambiado la tonalidad de los especímenes de control, solo viéndose afectados por el tipo de curado que recibieron cada uno.



Fig 34. Diferencia entre especímenes de mortero al 0% de pigmento (mezcla de control), expuestos a diferentes condiciones de curado

Como puede apreciarse, las tonalidades de los especímenes varían, a pesar de no tener pigmento colorante.

En lo referente al espécimen curado bajo condiciones de laboratorio (a la izquierda en la imagen anterior), no se ve afectado su color respecto al que mostraba en el inicio del proceso de curado; no así, el espécimen curado en campo (a la derecha en la imagen) que presenta decoloración superficial por la exposición a la luz solar.

4.6.1.2 Comparación de especímenes al 0.5% de pigmento con relación al peso del cemento.

Al agregar un porcentaje de pigmento a un mortero fabricado con cemento blanco, en una cantidad igual al 0.5% del peso del cemento; el mortero presenta una variación apreciable en el color, que puede ser distinguido. Este mortero al 0.50% de pigmento, fue fabricado bajo las mismas condiciones que el mortero sin pigmento.

Al igual que los especímenes de control anteriores, se fabricó un espécimen pigmentado al 0.5% del peso del cemento para ser curado bajo condiciones de laboratorio y otro con la misma dosificación de pigmento para ser curado bajo condiciones de campo.

Las variaciones que sufrieron son distinguibles al ojo humano, pero esas mismas diferencias no son tan grandes como para afirmar que el proceso de curado cambio drásticamente el color de los especímenes con respecto al otro.

En la siguiente imagen se puede apreciar la variación de color que sufrieron los especímenes de mortero al ser curados bajo diferentes condiciones.

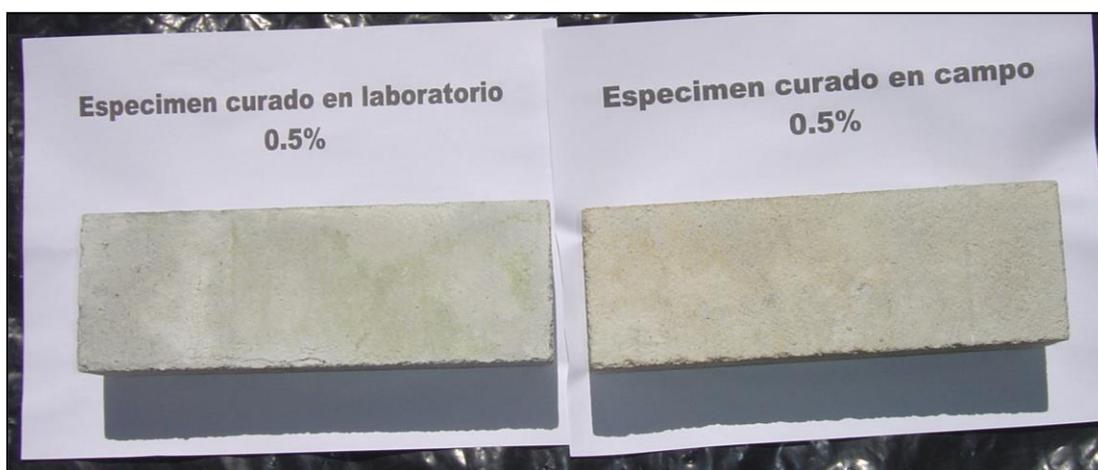


Fig 35. Comparación visual del color de especímenes pigmentados con una dosificación del 0.5% del peso del cemento.

4.6.1.3 Comparación de especímenes al 6% de pigmento con relación al peso del cemento.

Según la norma ASTM C - 979 - 99, el ensayo de estabilidad de curado atmosférico debe incluir también especímenes pigmentados con el 6% del pigmento. La mezcla de mortero se fabricó siempre en una bandeja metálica mezclando todos los componentes manualmente.

El mortero pigmentado con esta dosificación del 6%, presentó un cambio de color de blanco a azul mate como puede apreciarse en la siguiente imagen.



Fig 36. Mortero hecho a base de cemento blanco coloreado con añil al 6% de pigmento.

Con este mortero se elaboró un espécimen para estabilidad de curado atmosférico, que será curado bajo condiciones de campo; y del mismo modo se fabrico otro espécimen similar para ser curado bajo condiciones de laboratorio.

En la siguiente imagen se muestra la comparación visual entre ambos especimenes pigmentados con el 6% del pigmento.



Fig 37. Comparación de especimenes hechos con de cemento blanco, pigmentados al 6%.

Como puede apreciarse en la imagen anterior, existe un cambio drástico en la tonalidad del color entre ambos especimenes, pues el espécimen curado bajo condiciones de campo, ha variado su tonalidad de una forma bastante considerable con respecto a su propio color inicial, y aun más, con respecto al espécimen curado bajo condiciones de laboratorio. En tanto que el espécimen que fue curado bajo condiciones de laboratorio presentó un cambio considerable de color respecto a su propio color inicial.

4.6.2 Ensayo de Resistencia a la luz de especímenes de mortero pigmentados.

El ensayo de resistencia a la luz de un espécimen de mortero pigmentado, tiene por objeto determinar la resistencia del pigmento a la exposición constante y severa de luz solar ó a los cambios de humedad y temperatura en los que se pueda ver afectado la tonalidad del color que se obtuvo al construir los elementos de mortero o concreto pigmentado. La resistencia principal del pigmento a la luz, se logra determinar con la comparación visual de las dos partes de un espécimen, donde una de las mitades ha sido expuesta a la intemperie y la otra mitad ha estado cubierta por un periodo de tiempo determinado; de manera que al compararlas se pueda lograr determinar la influencia que ha tenido la exposición a la luz en el pigmento, por lo general la luz solar tiende a aclarar la tonalidad original de pigmento, pero eso dependerá de la resistencia y calidad del pigmento.

Para este caso se fabrico un espécimen pigmentado con el 0.5% del peso del cemento, y otro con el 6% de pigmento, ya que solamente en esas dosificaciones prescribe la norma.

Este ensayo originalmente consistía en exponer la mitad de un espécimen pigmentado, a un rayo de luz proveniente de un dispositivo o aparato tipo EH o E por 500 horas como menciona la norma ASTM G - 23; por no contar con dicho aparato para esta investigación y por no estar a la disposición en El Salvador, solamente se expuso cada mitad de los especímenes a la luz solar por el mismo periodo de tiempo de 500 horas. Se cubrió la mitad del espécimen con cartón desechable, y seguidamente se ubicaron en un lugar donde recibieron la luz directa del sol y los cambios de humedades.

Al finalizar el periodo de 500 horas de exposición solar, se les sustrajo el cartón que cubría sus mitades y se compararon ambos al sol.

Al momento de la compararon visual de los especímenes, se pudo observar que el cambio de color sufrido en el lado del espécimen expuesto a la intemperie con respecto a la mitad cubierta es

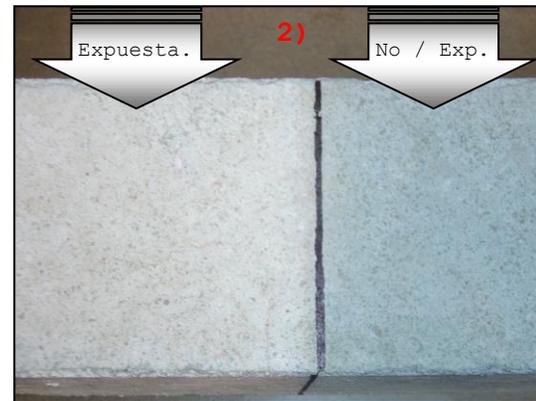
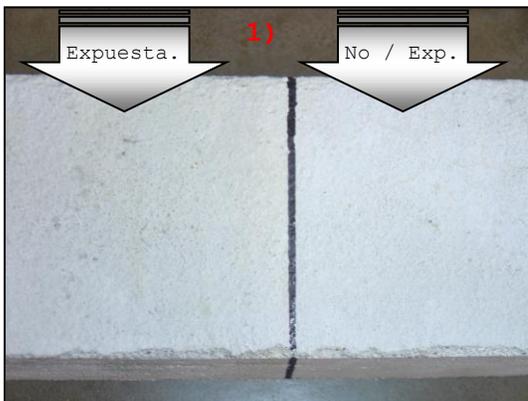
considerable notable a simple vista, como puede apreciarse en la siguientes imágenes.



Fig 38 A. Diferencia en la tonalidad de color en especímenes ensayados a las 500 horas para la resistencia a la luz del mortero pigmentado hecho con cemento blanco.

Espécimen con el 0.50% de pigmento

Espécimen con el 6.0% de pigmento



*Fig B. Resultados de la resistencia a la luz que presentan los especímenes a las 500 horas de exposición a la intemperie. 1) Espécimen al 0.50% de pigmento, presenta aclaramiento del color.
2) Espécimen al 6.0% de pigmento, es mas notable la perdida del color original del mortero.*

Como puede apreciarse el espécimen pigmentado con el 0.5% de pigmento sufrió cambio de color de una forma apreciable, pero pueda verse que la variación no es tan grande en comparación con el otro espécimen que fue pigmentado con el 6% de pigmento.

CAPITULO V

**DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LOS EFECTOS EN EL
CONCRETO PIGMENTADO CON AÑIL, ENSAYOS Y PRUEBAS DE
LABORATORIO APLICADAS AL CONCRETO**

5.1 INTRODUCCIÓN.

El concreto sólo, como ya es sabido, no presenta ningún otro color diferente del gris o blanco dependiendo con que tipo de cemento se fabrique (cemento gris o blanco). Pero es de notar que si se desea otro color diferente al normal en el concreto se deben verificar que las propiedades esenciales del mismo no se vean afectadas en gran medida por el cambio de color, y también depende del destino que vaya a tener dicho concreto coloreado.

El concreto que se colorea con algún tipo de pigmento esta regido por condiciones estándar que se mencionan en la norma ASTM C - 979 -99 como efectos en el concreto.

Antes de comenzar en detalle con las pruebas que serán llevadas a cabo, se debe tipificar el tipo de mezcla de concreto que será fabricada, y cuales serán sus características de compresión o flexión que se requerirán para su diseño. Se enuncia a continuación como se llevo a cabo el diseño de la mezcla por medio del ACI 211.1, posteriormente se mencionan cuales serán los ensayos que serán practicados a dicha mezcla de concreto, junto con los formatos que serán utilizados para efectos de control de cada una de las mezclas que se vayan fabricando, y al final se presentaran los resultados de obtenidos en cada uno de los ensayos.

5.2 DISEÑO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO PARA PAVIMENTO MR = 37 KG/CM² USANDO CEMENTO PÓRTLAND BLANCO.

Modulo de ruptura = 37 Kg/cm².

Según la siguiente ecuación proporcionada por el ISCYC se relaciona el modulo de ruptura del concreto con su valor de resistencia a la compresión a los 28 días.

$f'c = (MR/K)^2$. Donde $K = 2.25$

Para nuestro caso se tiene: $f'c = (37/2.25)^2 = 270.42$ Kg/cm².

Para poder diseñar la mezcla se debe trabajar con un valor de fcr (resistencia requerida), que se obtiene con una ecuación que

relaciona la incerteza o varianza " σ " de las pruebas hechas con concreto. Este es el caso cuando se tienen datos estadísticos de valores de resistencia a la compresión del concreto. Para nuestro caso el valor de f_{cr} se calculará con la siguiente ecuación debido a que no se cuentan con datos estadísticos de resistencia a la compresión del concreto.³¹

$$f_{cr} = f'c + 84$$

$$f_{cr} = 270.42 + 84 = 354.42 \approx 355.00 \text{ Kg/cm}^2.$$

Ahora ya se tiene un valor de f_{cr} para poder aplicar el método del ACI 211.1 para hacer el diseño de mezcla. Se presenta a continuación todos los pasos mencionados en dicho ACI 211.1

5.2.1 Revenimiento:

El revenimiento que se buscara para la mezcla será de 4 pulgadas, en vista que la norma ASTM C-979 de pigmentos para concretos coloreados integralmente, especifica que debe ser este el valor requerido, para poder probar el pigmento en el concreto.

5.2.2 Tamaño máximo del agregado

Como se usará grava 1 y 2, el tamaño máximo de la grava es de 1 ½" ³² ; por consiguiente el tamaño máximo nominal será igual a 1".

5.2.3 Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire.

Agua de mezclado y contenido de aire atrapado: Según ACI 211.1 los valores de contenido de agua y aire son los siguientes:

$$\text{Agua} = 193 \text{ Kg/mt}^3 \text{ de concreto}$$

$$\text{Aire} = 1.5 \%$$

³¹ Ecuación dada por el ACI 318 y tomada de revista #32 del Instituto Salvadoreño del Cemento y El concreto.

³² Datos proporcionados por la oficina de Control de Calidad y Laboratorio de La Concretera Salvadoreña en San Salvador.

5.2.4 Selección de la relación w/c:

Tomando para un valor de $f_{cr} = 350$ en la tabla del ACI 211.1 se tiene un valor de $w/c = 0.48$

5.2.5 Contenido de cemento:

El contenido de cemento se calcula como el cociente entre la relación agua-cemento y la cantidad de agua como sigue.

$$\frac{w}{w/c} = \frac{193}{0.48} = 402.08 \text{ Kg/mt}^3$$

5.2.6 Estimación del contenido de agregado grueso.

Datos de los agregados:³³

Grava # 1 (Nº 4 - ¾")

Densidad = 2.609

Absorción = 1.52 %

Humedad = 5.82 %

PVS = 1390 Kg/mt³

PVV 1486 Kg/mt³

Grava # 2 (¾" - 1")

Densidad = 2.590

Absorción = 1.32 %

Humedad = 5.82 %

PVS = 1367 Kg/mt³

PVV = 1472 Kg/mt³

Arena de Aguilares

Densidad = 2473 Kg/mt³

Absorción = 4.67 %

Humedad = 18.62 %

³³ Datos proporcionados por la Oficina de Control de Calidad y Laboratorio de la Concretera Salvadoreña

$$PVS = 1402 \text{ Kg/mt}^3$$

$$PVV = 1593 \text{ Kg/mt}^3$$

$$\text{Modulo de finura} = 2.99 \approx 3.00$$

Para realizar el diseño de la mezcla se tomara un 50% de grava # 1 y un 50 % de grava # 2.

(Según ACI 211.1 el factor es de 0.65)

$$\begin{aligned} \text{Para grava \#2} &= PVV \times 0.65 \times 0.50 \\ &= 1472 \times 0.65 \times 0.50 = 478.40 \text{ Kg/mt}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Para grava \# 1} &= PVV \times 0.65 \times 0.50 \\ &= 1486 \times 0.65 \times 0.50 = 482.95 \text{ Kg/mt}^3 \end{aligned}$$

5.2.7 Estimación del contenido de agregado fino

El contenido de arena se obtiene por diferencia de volumen de los otros materiales componentes del concreto.

Los valores obtenidos se tienen en la siguiente tabla

Elemento	Peso por metro cúbico		G.S.		lt
Agua	193	▶	1	▶	193
Aire	1,50%	▶	-	▶	15
Cemento	402.08	▶	3,15	▶	127.64
Grava # 1	482.95	▶	2,61	▶	185.04
Grava # 2	478.40	▶	2,59	▶	184.71
Arena	727.69	◀	2,47	◀	294.61
$\Sigma =$	2284.12			$\Sigma =$	1000

Tabla: diseño de mezcla de concreto usando cemento blanco.

Nota: este diseño es para fabricar concretos de peso normal, el pigmento añadido será proporcionado según la norma ASTM C - 979-99.

Los pasos octavo y noveno no se mencionan debido a que son ajustes que se hacen en el laboratorio con las mezclas de prueba, utilizando

las características de humedad de los agregados y los resultados que proporcionan los ensayos que se vayan a realizar.

5.3 DISEÑO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO PARA PAVIMENTO MR = 37 KG/CM² USANDO CEMENTO PÓRTLAND CESSAPAV.

El diseño de mezcla usando cemento Pórtland tipo CESSAPAV, varía con respecto al anterior, en pequeñas cantidades, ya que al momento de realizar la sumatoria de los materiales por volumen para 1 mt³, lo único que cambia, es la gravedad específica del cemento de 3.15 a 2.95. Por lo tanto el diseño con este tipo de cemento lleva los mismos procedimientos que el mostrado anteriormente, pero los valores de los materiales ya calculados se presentan en el siguiente cuadro resumen.

Elemento	Peso por metro cúbico		G.S.		lt
Agua	193	▶	1	▶	193
Aire	1,50%	▶	-	▶	15
Cemento	402.08	▶	2.95	▶	136.29
Grava # 1	482.95	▶	2,61	▶	185.03
Grava # 2	478.40	▶	2,59	▶	184.71
Arena	706.34	◀	2,47	◀	285.97
Σ =	2262.77			Σ =	1000

Tabla: diseño de mezcla de concreto usando cemento Pórtland CESSAPAV (cemento gris)

5.4 ENSAYOS REQUERIDOS PARA PRUEBAS EN EL CONCRETO.

Los ensayos que serán usados para el concreto coloreado con añil serán todos los que se ven incluidos dentro de la misma norma ASTM C - 979 - 99, ya que esa es la que rige los ensayos de pigmentos para concreto coloreado integralmente. Cada ensayo se encuentra regido también por la "American Standard For Testing and Materials ASTM". Los ensayos que se realizaran se enuncian a continuación, y posteriormente se presenta como fueron ejecutados en el laboratorio.

1. Especificación Estándar de Pigmentos para Concreto Coloreado Integralmente ASTM C - 979 - 99. (norma de base)
2. Método de Ensayo Estándar para Densidad (Peso Unitario), Volumen y Contenido de Aire (Método Gravimétrico) en una Mezcla de Concreto. ASTM C - 138 - 01.
3. Método de Ensayo Estándar para Temperatura del Concreto de Cemento Pórtland Recién Mezclado ASTM C -1064-01.
4. Método de Ensayo Estándar para Revenimiento del Concreto de Cemento Hidráulico ASTM C -143/C 143 - 00
5. Método de Ensayo Estándar para Contenido de Aire en una Mezcla de Concreto Fresco por el Método de Presión ASTM C - 231 - 97.
6. Practica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo ASTM C - 192/C 192M -02
7. Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando una Viga Simple Cargado en el Tercio Medio del Claro ASTM C - 78 - 02.
8. Método de Ensayo Estándar para el Tiempo de Fraguado de las Mezclas de concreto por resistencia a la penetración, ASTM C - 403/C 406M - 99.
9. Método de ensayo Estándar para la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto ASTM C - 39 - 86.
10. Método de Ensayo Estándar para Determinar el Contenido de Humedad de los Agregados para Concreto ASTM C - 566 - 97.

A continuación se desglosa cada uno de los procedimientos de ensayo descritos anteriormente tal y como fueron llevados a cabo en el laboratorio; pero en los anexos del presente documento se muestran todas las normas completas en forma de traducción libre.

5.4.1 Especificación Estándar de Pigmentos para Concreto Coloreado Integralmente ASTM C – 979 – 99. (Norma de base)

Esta norma es la que será desarrollada, ya que esta es la que dicta cuales serán los ensayos que serán fabricados tanto con el pigmento como con el mortero y concreto.

Los procesos de análisis químicos fueron mencionados anteriormente en la etapa de análisis químicos del pigmento.

Lo referente al mortero se desarrolló en el capítulo IV de Ensayo de estabilidad de curado atmosférico y resistencia a la luz del pigmento. Finalmente lo referente a los efectos del pigmento en el concreto se mencionan ensayos como de resistencia a la compresión, revenimiento, contenido de aire entre otras, que son las que serán desarrolladas en el presente capítulo.

5.4.2 Método de Ensayo Estándar para Densidad (Peso Unitario), Volumen y Contenido de Aire (Método Gravimétrico) en una Mezcla de Concreto. ASTM C – 138 – 01.

Esta norma se aplicó únicamente para determinar el peso volumétrico del concreto mediante un proceso que relaciona un volumen determinado de concreto con su propio peso.

El procedimiento seguido consistió en llenar un depósito metálico de cierto volumen, con concreto fresco. El recipiente se llenó en tres capas de concreto siendo cada capa de una altura igual a un tercio de la altura del depósito o recipiente. Luego cada capa se compactó con una varilla punta redonda de 5/8" introduciéndola 25 veces en el concreto fresco; y cuando se terminó de dar los 25 golpes, se golpearon los lados del recipiente con un martillo de hule, dando alrededor de 10 a 15 golpes distribuidos en los cuatro puntos cardinales del recipiente.

Una vez que se tenía lleno el recipiente de concreto, se procedió a alisar y nivelar la superficie por medio de una placa metálica desechando todo el concreto sobrante. El recipiente debe quedar lleno

hasta la altura del recipiente. El proceso de nivelado con la placa se hizo colocando la misma placa sobre la parte superficial del molde cubriendo $\frac{3}{4}$ partes del área superficial del espécimen y con un movimiento de zigzag se haló hasta la orilla; luego se levanta y se vuelve a colocar en la misma posición inicial, solo que ahora se empujará hacia adelante, siempre con el mismo movimiento de zigzag; y se terminó dando pasadas rectas en una o varias direcciones de la superficie del recipiente hasta asegurarse que la superficie de concreto quedara lo mas lisa uniforme y nivelada posible. Una vez que se tuvo el recipiente listo, se procedió a pesar todo el conjunto en la balanza. A este dato se le restó el peso del recipiente que para nuestro caso es igual a 4.94.³⁴ Seguidamente, al valor que queda de la diferencia se multiplicó por una constante igual a 105.6195³⁵ para darnos el peso volumétrico del concreto en kilogramos sobre metros cúbicos.



Fig 39. Determinación del Peso volumétrico del concreto

Para tal caso, la balanza utilizada es digital, proporcionando los valores del peso en kilogramos.

Cuando el peso fue tomado, se volvió a depositar el concreto en la mezcladora para ser utilizado de nuevo, y se limpió el recipiente

³⁴ Dato proporcionado por la Concretera Salvadoreña.

³⁵ Valor establecido por los laboratoristas de la Concretera Salvadoreña que relaciona el volumen del recipiente con el peso del concreto fresco para obtener el dato en Kg/mt³

para evitar que variara el volumen actual del mismo o se puedan generar errores en el futuro.

5.4.3 Método de Ensayo Estándar para Temperatura del Concreto de Cemento Pórtland Recién Mezclado ASTM C –1064-01.

La determinación de la temperatura del concreto fresco es muy indispensable que sea tomada, para cuestiones de control.

El ensayo para determinar la temperatura del concreto consistió en colocar un termómetro para concreto, con escala adecuada, en una pila de concreto de suficiente volumen para que el sensor del termómetro este rodeado al menos 3" con concreto en todas direcciones del sensor del termómetro. Se compactó el concreto cerca del sensor del termómetro para evitar que la temperatura ambiente o del aire afecte la lectura del mismo. El termómetro se dejó inmerso en el concreto por un periodo de tiempo de 2 minutos como mínimo o hasta que la temperatura en el medidor se haya estabilizado. Se tomó la lectura del termómetro en grados Celsius, y esa fue la temperatura del concreto fresco.



Fig 40. Medición de la temperatura del concreto, por medio de un termómetro análogo y un digital.

Hay que tomar en cuenta que este ensayo debe hacerse tan rápido como sea posible, cuando el concreto esta recién hecho; Es preferible utilizar un termómetro análogo que uno digital, ya que los digitales difieren un poco en la lectura en aproximadamente 3 grados. Cuando se

terminó la prueba, se procedió a limpiar el termómetro para remover los residuos de concreto que se adhirió al mismo.

5.4.4 Método de Ensayo Estándar para Revenimiento del Concreto de Cemento Hidráulico ASTM C –143/C 143 – 00

Este ensayo sirve para verificar la consistencia del concreto; ya que según sean los resultados obtenidos, se puede clasificar una mezcla de concreto como muy seca o muy fluida. El revenimiento se mide en unidades de pulgadas.

El ensayo consistió en llenar con concreto fresco un cono recto metálico truncado cuyas medidas son las siguientes: 12" de altura, 8" de diámetro en su base y 4" de diámetro en su parte superior. El cono debe estar provisto de asas para poder sujetarlo sobre una superficie y evitar que se mueva o se levante mientras se esta llenando con el concreto fresco. Los pies del operador fueron los que sirvieron para sujetar el cono a la base, y así evitar que se moviera. Además, el cono debe poseer dos sujetadores en la parte superior para poder levantarlo manualmente sin ningún problema.

El cono se llenó en tres capas, siendo la primera capa igual a 1/3 de la altura del cono, la segunda capa igual a 2/3 de la altura del cono, y finalizando la última capa con el llenado completo del cono. Cada capa se compactó con 25 golpes por medio de una varilla de 5/8" con punta redonda con un diámetro también de 5/8".

Una vez que el cono está completamente lleno, se eliminó el exceso de concreto colocado en la última capa haciendo rodar la misma varilla usada en la compactación, sobre la superficie superior del cono hasta que todo el concreto quede al mismo nivel del cono.

Teniendo esto, se procedió a levantar el cono verticalmente evitando cualquier tipo de movimiento de tipo lateral o torsional. El cono se levantó en un tiempo aproximado de 5 segundos a una velocidad constante; un vez que el cono fue levantado, lo que ocurrió es que el concreto se asentó o perdió su forma original que tenia dentro del cono. El revenimiento es la distancia vertical, medida en pulgadas,

entre la altura original que tenía el cono y el centro de la circunferencia del círculo superior formado en el concreto asentado.



Fig 41. Medición del revenimiento del concreto fresco

De acuerdo al revenimiento que se obtenga en el ensayo, se pudo clasificar la mezcla como seca, muy seca, fluida o muy fluida. Como la mezcla requerida deberá tener un revenimiento de 4", si el revenimiento obtenido en un ensayo diera menos de 4", entonces puede devolverse a la concretera y hacer los ajustes de agua necesarios para poder llevar el concreto a las 4" deseadas. Esta misma norma propone una tolerancia de $\pm 1/2"$, aunque para revenimientos mayores de 4" se puede aumentar este valor hasta $\pm 1"$. Por consiguiente, si en el ensayo de revenimiento realizado se obtenía un valor de revenimiento que caía dentro de la tolerancia permitida, se tomaba como aceptable el revenimiento y se anotaba el revenimiento que se obtenía.

Terminado el ensayo se procedió a limpiar todo el equipo para evitar que se acumulen residuos de concreto en el cono y en la base.

5.4.5 Método de Ensayo Estándar para Contenido de Aire en una Mezcla de Concreto Fresco por el Método de Presión ASTM C – 231 – 97.

Existen dos tipos de medidores usados para determinar el contenido de aire de una mezcla de concreto según como se menciona en la norma. Para tal caso se tiene un medidor tipo A y un medidor tipo B. En

nuestro caso se usara el medidor tipo B que es un depósito metálico rígido cilíndrico que no reaccione con la pasta del cemento.³⁶ El ensayo se comenzó llenando el depósito cilíndrico con concreto fresco en tres capas, compactando cada capa con 25 golpes por medio de una varilla de 5/8" con punta redonda, asegurándose que la varilla se introdujera una pulgada en la capa inferior para lograr una buena adherencia. Cada capa tenía una altura igual a 1/3 de la altura del depósito, y cada vez que se terminaba de compactar una capa, los laterales del recipiente eran golpeados por medio de un martillo de hule, dando alrededor de 10 a 15 golpes distribuidos en los cuatro puntos cardinales del recipiente.

Terminada la última capa, se procedió a enrasarla por medio de una llana metálica haciendo movimientos de zigzag primero hacia atrás y luego hacia adelante hasta que la superficie quedara lisa uniforme y con la menor cantidad de huecos superficiales posible (burbujas). Hecho esto, se colocó la parte superior del dispositivo sobre el depósito, y se fijó por medio de los cuatro sujetadores. Fijado esto, se abrieron las dos válvulas "A" y "B" del dispositivo y se comenzó a introducir agua por una de ellas por medio de un bulbo de hule hasta lograr que salga agua por la otra válvula. Un par de golpes con el martillo de hule son dados al recipiente. Tenido esto, se cerraron ambas válvulas "A" y "B", así como la válvula de aire situada en la parte superior del dispositivo. Cerradas todas las válvulas, se comenzó a bombear aire al interior del depósito haciendo que la aguja del medidor vaya subiendo a medida se va introduciendo mas aire al recipiente. La aguja se hace llegar hasta un valor de -3^{37} y se le da un golpe leve en la parte de atrás del medidor con los dedos. Ajustada la aguja del medidor a -3 , se presiona la válvula de escape de aire para liberar la presión en el recipiente. Se dejó un momento el recipiente en reposo para que el aire se estabilice a temperatura

³⁶ Se usará este tipo de medidor, ya que es el que se tiene a la disposición en el laboratorio de la Concretera Salvadoreña donde se están llevando a cabo las pruebas o ensayos.

³⁷ Se lleva hasta este valor en vez de cero, debido a la calibración que tenía el dispositivo.

ambiente y luego se tomo la lectura del dispositivo dado en porcentaje.



Fig 42. Ensayo de contenido de aire del concreto fresco. Medidor tipo B

Terminado el ensayo se procedió a desmontar y limpiar todo el equipo para evitar el deterioro del equipo.

5.4.6 Practica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo ASTM C – 192/C 192M -02.

Esta norma abarca muchos factores que en la realidad no se llevaron a cabo al momento de la fabricación del concreto; esto debido a que los instrumentos que se usaron ya cumplen con lo mencionado en la norma. Sin embargo, algunos procesos que se llevaron a cabo se detallan a continuación.

Elaboración de especímenes de concreto: en primer lugar se elaboraron cilindros y vigas de concreto. De cada batchada de concreto fabricada se llenaron tres cilindros y dos vigas. Los moldes para los mismos ya cumplen con lo especificados en esta norma en cuanto a material, dimensiones, et. Los moldes se colocaron en un lugar donde no serán movidos por un periodo de 24 ± 8 horas después que han sido llenados. Los moldes fueron limpiados y cubiertos en su interior

con un líquido claro de tipo viscoso (líquido desmoldante)³⁸ para evitar que el concreto se adhiriera a las paredes de los moldes. Teniendo los moldes y el concreto listos, se procedió al llenado de los especímenes según la siguiente secuencia. Los cilindros se llenaron en tres capas, dando a cada capa 25 golpes con una varilla de punta redonda de 5/8" y alrededor de 15 golpes con un martillo de hule en los 4 puntos cardinales del cilindro. Terminada la última capa, se enrasó la superficie con la misma varilla de compactación y finalmente se utilizó una llana metálica para que la superficie quede lo más lisa y uniforme posible. Hay que aclarar que los tres cilindros y las dos vigas se fueron llenando al mismo tiempo; esto se hizo para evitar que las mezclas en cada espécimen difirieran un poco unas de las de otras. Las vigas de concreto fueron fabricadas en dos capas, dando a cada capa de concreto un cantidad de 74 golpes con la misma varilla de punta redonda utilizada para la compactación de los especímenes cilíndricos; también se le dieron alrededor de 15 golpes con un martillo de hule en los laterales de los moldes para sellar los vacíos dejados por la varilla. Al igual que los cilindros de concreto las vigas se fueron llenando al mismo tiempo para evitar diferencias entre ambas.



Fig 43. Especímenes cilíndricos de concreto

³⁸ El líquido desmoldante llamado NO BOND fue proporcionada por la empresa de aditivos internacionales IMI

La norma sugiere elaborar tres especímenes cilíndricos como mínimo, para nuestro caso fueron tres los especímenes que se fabricaron con cada batchada de concreto.

La presente norma hace mención de otros ensayos tales como el de revenimiento, rendimiento, contenido de aire y temperatura, los cuales serán explicados más adelante o alguno de ellos ya fue explicado anteriormente.

Respecto al curado que tuvieron los especímenes, después que estos fueron colados, se les colocó un plástico sobre sus caras descubiertas, y posteriormente se les colocó un saco o bolsa de papel húmeda para mantener un ambiente húmedo. Los especímenes se mantuvieron así durante un periodo de 24 horas \pm 8 horas hasta su momento de desmoldado. Cuando los especímenes fueron desmoldados, se trasladaron hacia el cuarto de curado donde fueron sumergidos en una pila llena con agua; la temperatura del cuarto de curado oscilaba entre 17 a 23 grados Celsius. Una vez depositados los especímenes en el cuarto de curado, se espera que se cumpla el periodo necesario para poder ser ensayados.

5.4.7 Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando una Viga Simple Cargado en el Tercio Medio del Claro ASTM C – 78 – 02.

Las vigas fueron fabricadas para ser ensayadas a los 7 y 28 días de edad. Al momento de ser ensayadas fueron extraídas del cuarto de curado y fueron medidas en todas sus dimensiones tomando dos lecturas en caras opuestas para obtener un promedio; además, fueron marcadas de tal modo que los puntos de carga y apoyo de la máquina sobre la viga coincidieran con las marcas hechas sobre una cara de los especímenes. La viga fue rotada 45° respecto a su posición original de colado para ser marcada y ensayada.



Fig 44. Viga de concreto marcada y ensayada

Antes de someter la viga al ensayo, se hicieron los ajustes necesarios en la maquina de ensayo para poder obtenerse datos fidedignos y de acuerdo a las características que presentó cada una de las vigas.

Cada viga fue sometida a un carga lenta, con incrementos de 5 kgs en la maquina de ensayo. La viga fue llevada hasta la falla y posteriormente se tomaron las lecturas de carga ultima, y esfuerzo de la maquina de ensayo directamente.³⁹

El modulo de ruptura es el esfuerzo proporcionado por la maquina de ensayo. En caso que no hubiera sido posible obtener el valor del modulo de ruptura, se hubiese tenido que calcular con la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{PL}{bd^2} \quad \text{donde:}$$

Mr = Modulo de ruptura en Kg/cm²

P = Carga máxima aplicada por la maquina (Kg)

L = longitud entre apoyos (cms).

b = Ancho promedio del espécimen en la fractura (cms)

d = Altura promedio del espécimen en la fractura (cms)

³⁹ La maquina de ensayo utilizada proporciona el valor de la carga de ruptura en kilogramos, mientras que el esfuerzo que proporciona es el modulo de ruptura de la viga.



Fig 45. Ensayo a la Flexión de viga de Concreto

Terminado el ensayo, se retiraron los trozos de viga ensayados y se verificó si la fractura había sucedido en el tercio medio o fuera de este. Una de las piezas fue desechada, mientras que la porción más pequeña se almacenó en el cuarto de curado como muestra representativa.

5.4.8 Método de Ensayo Estándar para el Tiempo de Fraguado de las Mezclas de concreto por resistencia a la penetración, ASTM C – 403/C 406M – 99

Este ensayo se practica cuando el concreto esta en su estado plástico y trabajable (estado fresco). Primeramente se tomo la hora en que entró en contacto el agua con el cemento al momento de la fabricación del concreto. Una vez que el concreto estaba listo, se procedió a cribar en húmedo una cantidad de concreto, lo suficiente como para llenar un cilindro estándar. El proceso de cribado fue realizado con la malla N° 4⁴⁰, y se hizo en una bandeja metálica. El objetivo del cribado fue el de separar la pasta o mortero del concreto de los agregados de mayor tamaño (las gravas). Una vez que se tuvo el mortero cribado, se procedió a tomarle la temperatura con el termómetro usado en el laboratorio.

⁴⁰ Se utilizó la malla N° 4 porque es la que sugiere la norma, ya que el ensayo se hace con el mortero del concreto y no con el propio concreto.



Fig 46. Toma de temperatura de mortero cribado

Seguidamente se limpio y engraso un molde cilíndrico, el cual fue llenado en su mitad con concreto normal, y la mitad restante con el mortero cribado. Al igual que los especímenes de concreto llenados completamente con concreto, el cilindro fue llenado en tres capas, dando a cada capa 25 golpes con una varilla de 5/8" y punta redonda, y golpeando los laterales del cilindro con 10 a 15 golpes.

La capa superior de mortero se dejó un centímetro abajo del borde del cilindro, esto con el fin de poder extraer el agua de sangrado del mortero. Terminado el cilindro, se llevó al cuarto de curado donde fue dejado por un periodo de tiempo necesario para poder comenzar a realizar las penetraciones en el espécimen.⁴¹ Transcurrido ese tiempo, se procedió a realizar penetraciones periódicas por medio de un aparato que mide la carga aplicada en libras y unas agujas de área circular. Las agujas existentes poseen un área de contacto de 1" ½" ¼" 1/10" 1/20" y 1/40" de pulgadas cuadradas.

⁴¹ La norma sugiere dejar el espécimen por un periodo de tres a cuatro horas.



Fig 47. Agujas utilizadas en ensayo de tiempo de fraguado del concreto

Para nuestro caso se comenzó haciendo inserciones con la aguja de $\frac{1}{4}$ de pulgadas cuadradas a las 4 horas aproximadamente. A medida el mortero se endurecía con el transcurrir del tiempo, se fueron realizando inserciones periódicas cada cierto periodo de tiempo (inicialmente cada media hora y finalmente cada 10 ó 5 minutos). Cuando el dial del medidor de fuerza ya no alcanzaba a cubrir la fuerza requerida para penetrar la aguja en el mortero una pulgada, se procedía a cambiar la aguja a su inmediata inferior. Todas las agujas se penetraron una pulgada en el mortero a una velocidad tal que en 10 segundos se introdujera la pulgada de la aguja a una velocidad constante; y el método usado para producir la fuerza necesaria es por medio manual, a través de una palanca, la cual a medida se va rotando e introduciendo la aguja en el mortero endurecido proporciona la lectura de cuanta fuerza es requerida para penetrar cada agua en una pulgada.



Fig 48. Aparato para ensayo de tiempo de fraguado

El objetivo de realizar inserciones cada cierto periodo de tiempo es para poder tener pares ordenados de tiempo transcurrido con resistencia a la penetración. Y así con esos pares ordenados, formar una grafica de línea recta en papel logarítmico, y así poder obtener los tiempos inicial y final de fraguado, ya sea por medio del grafico o por medio de un análisis de regresión usando la siguiente ecuación.

$$\text{Log}(RP) = A + B \text{Log}(t),$$

Donde A y B son constantes obtenidas del grafico logarítmico.

El tiempo inicial de fraguado se da cuando el mortero ha alcanzado una resistencia a la penetración igual a 500 PSI, mientras que el final se obtiene cuando el mortero ha alcanzado una resistencia a la penetración de 4000 PSI.

De la grafica que se obtiene al plotear los pares ordenados tiempo transcurrido contra resistencia a la penetración se interpolan los valores de tiempo inicial y final de fraguado.

5.4.9 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO ASTM C – 39 – 86.

Se fabricaron especímenes de concreto para ser ensayados a los 7 y 28 días de edad. La norma permite una tolerancia de ± 20 horas para aquellos especímenes que serán ensayados a los 28 días, y ± 6 horas para aquellos que serán ensayados a los 7 días.

Los especímenes de concreto que iban a ser ensayados, se sacaron del cuarto de curado. Se secaron superficialmente y se tomaron sus dimensiones de diámetro y altura, medidas en extremos opuestos del mismo para obtener un promedio. También se tomo el peso de cada cilindro en kilogramos.

Se hicieron los ajustes de la maquina de ensayo para poder obtener datos reales y en concordancia con las medidas que presentaron los especimenes a ser ensayados.

Seguidamente se colocó el espécimen a ser ensayado en la maquina de ensayo colocándole dos placas de neopreno en los extremos del cilindro. Las placas colocadas con neopreno sirven para que la carga sea uniforme sobre todo el espécimen y así evitar una falla prematura del espécimen por alguna excentricidad de la carga sobre el espécimen. Esto se hizo con el objeto de no realizar cabeceo con azufre de los especimenes.

Una vez colocado el espécimen en la maquina con las placas en sus extremos se procedió a aplicarle carga con incrementos de 530 Kgs, hasta llevarlo a la falla. Cuando el espécimen falló se verifico la forma de su fractura, la carga de ruptura y el esfuerzo, siendo proporcionados estos dos por la misma maquina de ensayo.



Fig 49. Ensayo de cilindros de concreto a la compresión.

Como se fabricaron tres cilindros de cada bachada de concreto, al momento que fueron ensayados los tres, se toma el valor promedio de los tres.⁴² Terminado el ensayo se retiraron los pedazos de espécimen ensayados y se procedió a limpiar la maquina de ensayo.

⁴² Los valores de esfuerzo a la compresión de los tres especimenes deben ser cercanos y sus variaciones no deben ser tan grandes.

5.4.10 Método de Ensayo Estándar para Determinar el Contenido de Humedad de los Agregados para Concreto ASTM C – 566 – 97.

La humedad que poseen los agregados para concreto se debe tomar en cuenta a la hora de hacer la mezcla, ya que si estos están muy húmedos, ocasionarían una adición de agua a la mezcla, provocando una alteración en la misma. Antes de comenzar a fabricar cada batchada de concreto es necesario obtener el porcentaje de humedad que posee tanto la arena como las gravas; además, no se puede asumir un mismo valor de humedad en días diferentes, lo que implica que cada día se debe obtener por lo menos un valor de porcentaje de humedad de los agregados antes de fabricar concreto. Esto se debe a que las condiciones climáticas no son iguales, y que los agregados no se tienen almacenados en un lugar donde se controle la humedad y temperatura de los mismos.

El proceso seguido para obtener la humedad de los agregados fue el siguiente: se pesó la tara o recipiente que se usaría para contener el agregado (W_t), luego se tomó una cantidad de agregado adecuada en la misma tara y se pesó (W_t+ah)⁴³. Teniendo estos datos, se procedió a calentar todo el conjunto en una cocina eléctrica, moviendo el contenido periódicamente por medio de una espátula metálica, y teniendo el cuidado de no dejar perder alguna partícula del mismo. Para verificar si el agregado ya no tenía humedad se colocaba un vidrio sobre el depósito para ver si éste se opacaba con el vapor de agua desprendido del agregado en cuestión. El conjunto se mantuvo en la cocina hasta que el vidrio ya no presentaba humedad (no se opacaba). Después de esto se retiró el conjunto de la cocina y se dejó enfriar por un periodo de tiempo relativamente corto, esto se hizo debido a que al pesar el conjunto con la tara caliente se podría estar alterando la precisión de la balanza y por ende la lectura en la misma.

Cuando el conjunto se enfrió lo suficiente, se pesó de nuevo en la balanza (W_t+as). Teniendo los pesos del conjunto húmedos y secos, se

⁴³ El tamaño del agregado debe ser como mínimo lo establecido en la tabla 1 de la norma.

obtuvo el peso del agregado solamente, restando a cada peso del conjunto tara + agregado el peso de la tara.

Ahora ya se tienen los pesos del agregado húmedo y seco (Wah y Was respectivamente) Se Calculó el peso del agua (Ww) restando al peso del agregado húmedo el peso del mismo pero seco. Y finalmente se Calculó el porcentaje de humedad multiplicando por cien el cociente entre el peso del agua y el peso del agregado seco. La ecuación es la siguiente:

$$H\% = (Ww \div Was) \times 100$$

Este proceso se realizó para todos los agregados usados, en nuestro caso sería para la arena, la grava #1 y la grava #2 antes de comenzar con la fabricación de una bachada de concreto.

5.5 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN TOMADA DE CADA BACHADA DE CONCRETO FABRICADA.

Durante el proceso de fabricación de concreto se fueron tomando todos los datos necesarios para realizar cada uno de los ensayos mencionados en 5.3.

Los datos fueron recopilados en campo por medio de hojas de control de bachadas, las cuales fueron elaboradas por nosotros mismos para adaptarlas a nuestras necesidades. Los formatos usados se presentan mas adelante. Así como los datos tomados de cada bachada de concreto fabricada.

Los datos que se tuvieron en cuenta al momento de fabricar cada bachada de concreto y que están establecidos en las hojas de control de bachadas son los siguientes:

Datos generales de información:

Fecha de fabricación del concreto.

Volumen de concreto a fabricar.

Numero de bachada.

Edad de especímenes para ser ensayados.

Humedad actual de los agregados.

Datos de la mezcla:

Tipo de concreto con o sin pigmento

Porcentaje de pigmento usado

Diferencia de humedad menos absorción de los agregados.

Cantidad de materiales para concreto según diseño y ajustados por las correcciones de humedad.

Agua adicional a la de diseño para producir un revenimiento de 4".

Revenimiento real tomado en campo.

Contenido de aire en el concreto.

Temperatura del concreto.

Datos obtenidos para la determinación del peso volumétrico del concreto.

Peso del concreto más recipiente volumétrico.

Peso del concreto solamente.

Peso volumétrico del concreto en kilogramos por metro cúbico.

Datos obtenidos para determinar el tiempo de fraguado

Tiempo de contacto agua - cemento.

Temperatura del mortero cribado.

Humedad inicial del cuarto de curado.

Humedad final del cuarto de curado.

Temperatura ambiente inicial del cuarto de curado.

Temperatura ambiente final del cuarto de curado.

Numero de inserción realizada.

Hora a la que se hizo la inserción.

Área de la aguja utilizada en la inserción.

Carga aplicada.

Resistencia a la penetración.

Todos estos datos fueron tomándose a medida se hacia la mezcla de concreto y a medida se realizaban las diferentes pruebas que se mencionaron anteriormente.

Algunas de ellas fue necesario esperar cierto periodo de tiempo, para obtener los resultados, tal es el caso de los especimenes de concreto

(vigas y cilindros) que se ensayan a los siete días de fabricación y a los 28 días a la compresión y a la flexión.

Como ya se sabe, de cada bachada de concreto se fabricaron tres cilindros y dos vigas, así que siempre se probaban los tres cilindros y las dos vigas en el tiempo estipulado, siendo todas de la misma bachada.

5.5.1 Formularios utilizados en fabricación de bachadas de concreto

GUIA DE PROCEDIMIENTOS DE BACHADAS DE CONCRETO	
Lugar: Concretera Salvadoreña:	Fecha: _____
	Hoja _____ / _____ Bachada # _____
Tiempo de ensayo para el concreto:	7 Días: _____ 28 Días: _____
Humedades de los agregados:	Vol. de concreto a Fabricar: = _____
Arena	
W t = _____ gr	
W t+ah = _____ gr	
W ah = _____ gr	W% = (W agua/ W as) x 100 = _____ %
W t+as = _____ gr	
W as = _____ gr	
W agua = _____ gr	
Grava # 1	
W t = _____ gr	
W t+gh = _____ gr	
W gh = _____ gr	W% = (W agua/ W gs) x 100 = _____ %
W t+gs = _____ gr	
W gs = _____ gr	
W agua = _____ gr	
Grava # 2	
W t = _____ gr	
W t+gh = _____ gr	
W gh = _____ gr	W% = (W agua/ W gs) x 100 = _____ %
W t+gs = _____ gr	
W gs = _____ gr	
W agua = _____ gr	
DATOS DE LA MEZCLA	
Tipo de concreto	Con pigmento _____ Sin pigmento _____
Porcentaje de pigmento usado:	_____ %
Tipo de Cemento a usar:	Cemento Blanco _____ CESSAPAV _____
Diferencia Humedad - Absorsion de agregados	
Arena _____	Grava # 1 _____ Grava 2 _____
Materiales de diseño	Materiales Ajustados
Cemento: _____ Kg	Cemento: _____ Kg
Arena: _____ Kg	Arena: _____ Kg
Grava # 1: _____ Kg	Grava # 1: _____ Kg
Grava # 2: _____ Kg	Grava # 2: _____ Kg
Agua: _____ Kg	Agua: _____ Kg
Añil : _____ Kg	Añil: _____ Kg
Σ = _____ Kg	Σ = _____ Kg

Fig 50. Hoja 1 de control de bachadas de concreto fabricadas

5.5.2 Hojas de control para ensayos de resistencia a la flexión y compresión del concreto

RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION Y FLEXIÓN DEL CONCRETO.

Fecha de Ensayo: _____ Edad de fabricación. _____

Tipo de Concreto: _____ Código de Bachada _____

CILINDROS

Numero de Cilindro	Altura promedio (cm)	Diametro Promedio (cm)	Área de contacto (cm ²)	Peso del Cilindro (Kg)	Carga Ultima (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)

VIGAS

Numero de Viga	Peso de la viga (kg)	Dimensiones de la viga			Carga Ultima (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
		Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)		

Fig 52. Cuadros de control para ensayos a la compresión y flexión de especímenes de concreto.

5.6 RESULTADOS NUMÉRICOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS EN EL CONCRETO.

A continuación se presentan los resultados numéricos que se obtuvieron de cada uno de los ensayos realizados al concreto con y sin pigmento.⁴⁴

⁴⁴ Se fabricaron mezclas sin pigmento para hacer comparación entre las mismas y el concreto pigmentado.

5.6.1 Ensayo de Revenimiento (revenimiento obtenido)

De cada mezcla de concreto fabricada, se fue haciendo la prueba de revenimiento, ya que esa era la condición primaria que se debía hacer con la mezcla. Siempre fue necesario alterar la cantidad de agua que era necesaria para producir el revenimiento requerido, debido a que con solo el agua de diseño no se producía el revenimiento de 4" que era el buscado. Es de notar que la norma ASTM C - 979 -99 menciona que el revenimiento debe ser de $4 \pm \frac{1}{2}"$, pero en este caso se tomo una tolerancia de $\pm 1"$.⁴⁵

En la siguiente tabla se muestran todos los valores de revenimiento que se fueron tomando con cada una de las bachadas de concreto fabricadas.

Tipo de concreto fabricado	Revenimiento
Concreto con cemento blanco 0% de pigmento (1)	4 $\frac{1}{4}"$
Concreto con cemento blanco 0% de pigmento (2)	4"
Concreto con cemento blanco 0.5% de pigmento (1)	4"
Concreto con cemento blanco 0.5% de pigmento (2)	4 $\frac{1}{2}"$
Concreto con cemento blanco 6% de pigmento (1)	4 $\frac{1}{2}"$
Concreto con cemento blanco 6% de pigmento (2)	-
Concreto con cemento blanco 10% de pigmento (1)	3 $\frac{1}{4}"$
Concreto con cemento blanco 10% de pigmento (2)	-⁴⁶
Concreto con cemento gris 0% de pigmento (1)	4"
Concreto con cemento gris 0% de pigmento (2)	4"
Concreto con cemento gris 0.5% de pigmento (1)	5"
Concreto con cemento gris 0.5% de pigmento (2)	4 $\frac{1}{4}"$
Concreto con cemento gris 6% de pigmento (1)	4 $\frac{1}{4}"$
Concreto con cemento gris 6% de pigmento (2)	5"
Concreto con cemento gris 10% de pigmento (1)	4"
Concreto con cemento gris 10% de pigmento (2)	5"

⁴⁵ Este valor fue tomado según información proporcionada por la Concretera Salvadoreña y que se menciona la norma ASTM C - 94/94M - 03.

⁴⁶ Los valores que no aparecen fue debido a que no se fabricaron las dos bachadas de concreto.

5.6.2 Ensayo de tiempo de fraguado del concreto.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de todas las mezclas a las que se les tomo el tiempo de fraguado. En algunas mezclas se realizó dos veces el ensayo, y los resultados presentados son el promedio de ambos.

Tipo de concreto usado y porcentaje de pigmento	Tiempo inicial de fraguado en Minutos	Tiempo final de fraguado en minutos
Concreto con cemento gris 0%	297.50	511.50
Concreto con cemento gris 0.5%	300.00	430.08
Concreto con cemento gris 6%	473.04	743.22
Concreto con cemento gris 10%	- ⁴⁷	-
Concreto con cemento blanco 0%	189.13	264.36
Concreto con cemento blanco 0.5%	231.17	310.98
Concreto con cemento blanco 6%	1461.9	1620.30
Concreto con cemento blanco 10%	-	-

Nota: los gráficos de tiempo de fraguado se muestran en los anexos del presente documento.

5.6.3 Ensayo de resistencia a la compresión del concreto. (Prueba de los cilindros)

Como se mencionó anteriormente, se fabricaron tres especímenes cilíndricos de concreto y dos vigas, ambos de la misma batchada de concreto. Los resultados de los cilindros y vigas se presentan a continuación en un cuadro resumen agrupadas por tiempo de ensayo, que para nuestro caso fue de 7 y 28 días. El dato presentado es el promedio de la resistencia obtenida de los tres cilindros, (en el caso de los cilindros) y el de las dos vigas ensayadas (para el caso de las vigas).

⁴⁷ Estos datos no fueron tomados ya que si se hiciera la prueba, no tendría ningún significado aplicativo o funcional en la realidad, pues el concreto pigmentado al 10% tardo 8 días en fraguar fuera del cuarto de curado (al aire libre), y si se hubiera hecho este ensayo, la prueba hubiera tardado mas aun de 8 días, lo cual no es aplicable o funcional para el objetivo al cual se ha enfocado la investigación.

Para el caso de los cilindros, solamente se tomó el promedio de los resultados obtenidos en los tres cilindros ensayados según la norma para ensayo de cilindros.

Tipo de concreto usado y porcentaje de pigmento	Resistencia a la compresión a los 7 días. (Kg./cm ²)	Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)
Concreto con cemento gris 0%	257.05	372.03
Concreto con cemento gris 0.5%	288.43	351.67
Concreto con cemento gris 6%	232.57	285.99
Concreto con cemento gris 10%	- ⁴⁸	105.83
Concreto con cemento blanco 0%	342.90	444.73
Concreto con cemento blanco 0.5%	364.53	366.57
Concreto con cemento blanco 6%	339.17	-
Concreto con cemento blanco 10%	-	-

5.6.4 Ensayo de resistencia a la flexión del concreto.

Para el caso de las vigas, el modulo de ruptura promedio de cada juego de vigas ensayadas se presenta a continuación.

Tipo de concreto usado y porcentaje de pigmento	Modulo de ruptura a los 7 días. (kg/cm ²)	Modulo de ruptura los 28 días (kg/cm ²)
Concreto con cemento gris 0%	36.96	44.18
Concreto con cemento gris 0.5%	41.65	41.81
Concreto con cemento gris 6%	35.36	36.92
Concreto con cemento gris 10%	-	22.55
Concreto con cemento blanco 0%	45.90	54.27
Concreto con cemento blanco 0.5%	43.72	44.81

⁴⁸ Estos valores no fueron tomados debido a que el concreto tarda un periodo aproximado de 8 días para fraguar por completo, cuando es pigmentado en un 10%.

Concreto con cemento blanco 6%	37.31	-
Concreto con cemento blanco 10%	-	-

5.6.5 Ensayo de contenido de aire del concreto.

Los valores de contenido de aire de las mezclas de concreto fabricadas se muestran a continuación.

Tipo de concreto usado y porcentaje de pigmento	Contenido de aire del concreto (%)
Concreto con cemento gris 0%	1.1
Concreto con cemento gris 0.5%	1.4
Concreto con cemento gris 6%	1.9
Concreto con cemento gris 10%	4.0
Concreto con cemento blanco 0%	1.3
Concreto con cemento blanco 0.5%	1.47
Concreto con cemento blanco 6%	2.2
Concreto con cemento blanco 10%	-

5.6.6 Ensayo para determinar el peso volumétrico del concreto

Tipo de concreto fabricado y porcentaje de pigmento utilizado	Peso volumétrico del concreto en (kg/mt ³)
Concreto con cemento blanco 0% de pigmento (1)	2302.50
Concreto con cemento blanco 0% de pigmento (2)	2291.94
Concreto con cemento blanco 0.5% de pigmento (1)	2302.51
Concreto con cemento blanco 0.5% de pigmento (2)	2286.60
Concreto con cemento blanco 6% de pigmento (1)	2249.69

Concreto con cemento blanco 6% de pigmento (2)	-
Concreto con cemento blanco 10% de pigmento (1)	2278.21
Concreto con cemento blanco 10% de pigmento (2)	-
Concreto con cemento gris 0% de pigmento (1)	2298.28
Concreto con cemento gris 0% de pigmento (2)	2287.72
Concreto con cemento gris 0.5% de pigmento (1)	2288.77
Concreto con cemento gris 0.5% de pigmento (2)	2291.94
Concreto con cemento gris 6% de pigmento (1)	2256.03
Concreto con cemento gris 6% de pigmento (2)	2213.78
Concreto con cemento gris 10% de pigmento (1)	2197.94
Concreto con cemento gris 10% de pigmento (2)	2239.13

5.6.7 Ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco.

La temperatura del concreto es un factor que se ve afectado por muchos factores tales como la temperatura ambiente en la que se realiza el ensayo, la temperatura de los agregados, del agua, el aire y otros mas. Es por eso que no se puede afirmar que la temperatura de un concreto fresco será la misma bajo cualquier circunstancia o para un mismo tipo de concreto fabricado.

Para nuestro caso se tomaron los promedios de las temperaturas que se obtuvieron en todas las bachadas en las que se tomo la temperatura del concreto fresco, y que se presentan tabuladas en la siguiente tabla.

Temperatura del concreto en estado fresco	Temperatura (°C)
Concreto con cemento gris 0%	27.00
Concreto con cemento gris 0.5%	29.00
Concreto con cemento gris 6%	28.00
Concreto con cemento gris 10%	17.67
Concreto con cemento blanco 0%	26.50

Concreto con cemento blanco 0.5%	32.50
Concreto con cemento blanco 6%	30.00
Concreto con cemento blanco 10%	33.50

CAPITULO VI

**APLICACIÓN DEL PIGMENTO AÑIL EN BLOQUES ADOQUINES Y
PAVIMENTOS DE CONCRETO CON BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO**

6.1 INTRODUCCIÓN

Los bloques y adoquines de concreto son dos tipos de prefabricados que han sido utilizados desde hace varias décadas en las obras civiles de nuestro país, pero su historia es bastante antigua y posee aplicaciones extranjeras.

Los adoquines y bloques son elementos prefabricados que se fabrican cierto tiempo antes de ser utilizados en la obra.

Los adoquines han sido utilizados para pavimentar vías vehiculares peatonales, y otros mas que han dado muy buenos resultados.

En cambio, los bloques de concreto han sido utilizados para obras de edificación, muros de retención, decoración y otros usos más.

De cada uno de ellos existe una gran variedad de tamaños formas colores y texturas que también se tienen en nuestro país a disposición de cualquier constructor o diseñador.

Ha sido hasta hace unos pocos años que se comenzó a utilizar el concreto en lo que son los pavimentos, dando muy buenos resultados y al mismo tiempo se desarrollan nuevas técnicas que hacen mas eficiente y menos costoso el trabajo del Ingeniero Civil o Constructor. En la actualidad existen métodos de diseño para poder construir pavimentos de concreto y otros para reparación de los mismos. Según el tipo de tráfico y cargas en las carreteras, éstas han sido clasificadas en alta y baja intensidad de tráfico. Nuestra investigación se enfocará en los pavimentos de concreto con baja intensidad de tráfico; siendo estos aquellos tales como pasajes vehiculares, zonas residenciales y todas aquellas calzadas en las que no circulen vehículos demasiado pesados o que presenten flujos vehiculares muy intensos.

A continuación se presenta la aplicación del pigmento añil en los elementos antes mencionados (bloques adoquines y pavimentos de concreto con baja intensidad de trafico).

6.2 APLICACIÓN DEL PIGMENTO AÑIL, EN BLOQUES DE CONCRETO.

Los bloques de concreto, como es sabido, son elementos prefabricados de concreto que son hechos y tratados antes de ser utilizados para una función determinada.

Los bloques de concreto mas comúnmente usados en nuestro medio pueden apreciarse en la imagen siguiente:

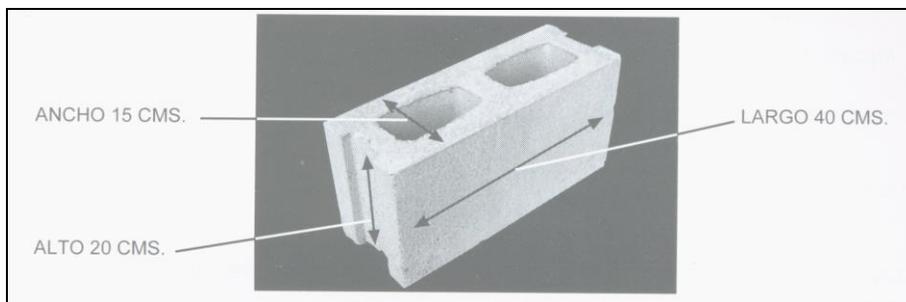


Fig 53. Forma y dimensiones del bloque de concreto usado en nuestro medio

Así como varían las dimensiones en que se fabrican, así también existen los llamados bloques texturizados, que además de servir como los bloques tradicionales, proporcionan superficies que no necesitan ser pintadas, repelladas y afinadas como los sistemas tradicionales, ya que poseen una superficie texturizada y coloreada a la vez.

Debido a los resultados presentados en el capítulo IV no se fabricaran bloques pigmentados con añil; esto debido a que el mortero pigmentado con añil expuesto a la intemperie presenta un cambio bastante considerable y prematuro en el color. A esto hay que agregarle que los bloques de concreto se fabrican con una mezcla bastante seca y que alcanza resistencias altas a los 7 días. El añil provoca un efecto de retardo en el tiempo de fraguado del concreto y mortero, por lo que no es factible su utilización en la industria bloquera. Es por esa razón que no se llevaran a cabo ensayos con bloques de concreto pigmentados con añil, ya que no tiene caso realizar un experimento, sabiendo que éste no va a tener ninguna

aplicación real en nuestro medio, y conociendo previamente cuales serán los resultados que se obtendrían al llevarlo a cabo; además, no tendría ningún sentido invertir recursos sabiendo los resultados que se obtendrían en el ensayo.

6.3 APLICACIÓN DEL PIGMENTO AÑIL, EN ADOQUINES DE CONCRETO.

Los adoquines de concreto en nuestro medio están presentes en diferentes formas y colores, que además de proporcionar una vista estéticamente bonita para las personas que las utilizan, cumplen con los requerimientos adecuados de durabilidad y resistencia.

En nuestro medio se fabrican los llamados adoquines tipo Paleta, adoquín estrella, rombo, cuadrado, tradicional y pueden usarse combinaciones de ellos.

Cuando se usan adoquines de color, éstos deben ser capaces de mantener su tonalidad, aún expuesto a todas las inclemencias del tiempo, cargas de tráfico, etc. Esta es una de las razones por las cuales no se harán estudios con añil, pues el pigmento presenta decoloración prematura solo con estar expuesta a la luz solar y el viento. Esto quiere decir que si se ve sometido a cargas de tráfico y corrientes pluviales (en periodos invernales) se deterioraría aún más prematuramente, por lo que se puede afirmar que no se obtendría ningún resultado positivo de hacer pruebas o ensayos con el añil.

Al igual que con los bloques de concreto, también no puede usarse el añil en la fabricación de adoquines, ya que produce un efecto de retardo en su fraguado, caso que no debe darse en la fabricación de los adoquines de concreto.

Cabe mencionar que para el uso que se le da a los adoquines en nuestro medio, el añil no funciona como colorante de tipo integral.

6.4 APLICACIÓN DEL PIGMENTO EN PAVIMENTOS DE CONCRETO DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO.

Los pavimentos de concreto son clasificados de acuerdo con la intensidad de tráfico que circula sobre ellos. De ahí es de donde se pueden clasificar como de baja intensidad de tráfico y alta intensidad de tráfico; aunque algunos autores la clasifican como alta media y baja intensidad de tráfico.

El alcance de nuestra investigación llega hasta cubrir los pavimentos de baja intensidad de tráfico.

Pero, un pavimento debe cumplir con los requerimientos de resistencia a la flexión, durabilidad, y en caso de llevar color, debe ser resistente a los cambios atmosféricos o de intemperie, manteniendo siempre su tonalidad original o color.

En la construcción de los pavimentos, se espera que puedan abrirse al tráfico lo más pronto posible. Es por esa razón principalmente que no se harán estudios experimentales con el añil, pues el concreto coloreado con añil, además de perder su color a edades tempranas produce el efecto de retardar el fraguado del concreto. También cabe agregar que según los datos obtenidos de los ensayos en el concreto (capítulo V) se pudo ver que la resistencia del concreto se ve afectada por la cantidad de añil que sea utilizado.

Es debido a todo lo anterior y a los recursos disponibles que no se llevará a cabo la aplicación del añil en pavimentos de concreto para vías de baja intensidad de tráfico en lo referente a la búsqueda de un tramo de prueba para la aplicación del pigmento.

CAPITULO VII

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL AÑIL EN COMPARACIÓN CON OTROS PIGMENTOS.

7.0 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL USO DE AÑIL EN EL CONCRETO.

7.1 INTRODUCCIÓN.

Tanto en la industria de la construcción como en otras industrias, el recurso económico es uno de los factores más determinantes que afectan o deciden la aplicación de un nuevo producto en el mercado.

Hablando en términos de Ingeniería, las preguntas mas comunes que todo Ingeniero Civil o Diseñador se hace es ¿Qué tan rentable económicamente, será utilizar un nuevo producto en comparación con los tradicionales? Y ¿Cuáles serán las ventajas de utilizar éste nuevo producto con respecto a los demás?

Esas dos preguntas rigen durante el diseño de una obra cuando ésta se va a ejecutar.

Para nuestro caso, como la técnica propuesta para colorear concreto con añil fue la técnica integral, habrá que hacer una evaluación de comparación de costos entre otros pigmentos colorantes tradicionales contra el pigmento en estudio.

De forma general, se obtendrá un valor económico para representar el costo que se tendría el colorear un metro cúbico de concreto con un pigmento azul de tipo mineral contra otro coloreado con el pigmento añil. Aclarando que el concreto que será analizado no lleva incluido ningún tipo de aditivo extra que modifique las propiedades o características que no sea el color del concreto. Para tal caso, se habla de un concreto de peso normal, sin ningún aditivo químico más que el pigmento colorante. Se enfocara en dos tipos de cementos como lo es el cemento gris llamado CESSAPAV, y el cemento blanco, ya que estos dos tipos de cementos fueron con los que se llevó a cabo la investigación.

Los materiales pétreos usados para la elaboración del concreto son los más comunes o con los cuales se pueda fabricar un concreto normal,

así como el agua que servirá para la mezcla. Y como ya es sabido, todos estos elementos componentes del concreto deben cumplir con ciertos estándares descritos en las normas de la American Association for Testing and Materials ASTM, para que puedan utilizarse para fabricar concreto.

El análisis se hará para los tipos de concretos fabricados durante la investigación, cuyas características ya se mencionaron anteriormente en el capítulo V; esto incluye también los agregados y el agua utilizados en la investigación.

Además los concretos están dosificados al máximo rango de dosificación prescrita de pigmento, que es el 10% del peso del cemento.

7.2 INFORMACIÓN TÉCNICA-ECONOMICA DEL AÑIL

El único factor que puede inferir en el precio por metro cúbico de concreto, es el costo del añil y el pigmento en particular, los cuales serán necesarios para colorear el concreto con un 10% de pigmento basado en el peso del cemento. Se usará un pigmento en particular de los más comunes y económicos del mercado que son usados para colorear concreto de forma integral en color azul.

Como el añil es un pigmento que se obtiene de un proceso variable que depende de las técnicas que se tengan en la zona, este puede ser extraído con un porcentaje de indigotina determinado en cada zona donde se procesa, siendo esto lo que afecta grandemente el precio del añil en el mercado, pudiendo variar el precio de éste desde \$35.00, hasta \$75.00 el kilo, esto como ya se dijo, dependiendo del porcentaje de indigotina que posea el añil procesado.

Como el añil utilizado en nuestra investigación posee un 44% de indigotina, el precio por kilogramo es de \$40.00, siendo ese precio el usado para la evaluación económica con el otro pigmento.

7.3 COMPARACIÓN DE COSTOS.

En las siguientes graficas se ilustran de una manera más didáctica el costo entre dos concretos coloreados, uno con añil y el otro con un pigmento tradicional, variando solamente el cemento usado para su fabricación.

7.3.1 Comparación usando cemento gris

En este grafico puede apreciarse la variación entre dos concretos hechos a base de cemento blanco, uno pigmentado con añil y otro con otro pigmento azul.

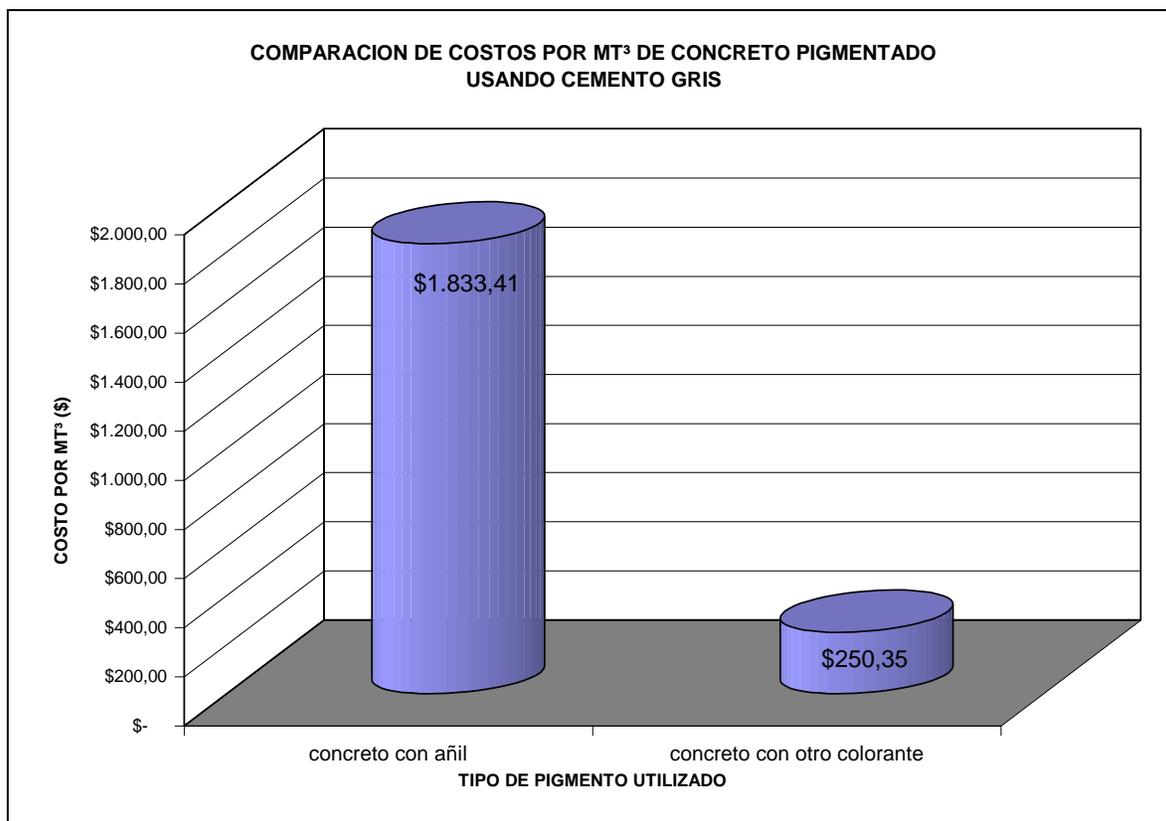


Fig 54 Comparación de costos entre un concreto coloreado con añil y otro coloreado con un pigmento común usando cemento gris.

7.3.2 Comparación usando cemento blanco

En el siguiente grafico se ha variado el cemento, de gris a blanco, y se muestran los dos concretos fabricados con los dos tipos de pigmentos que ya se mencionaron el añil y el mineral.

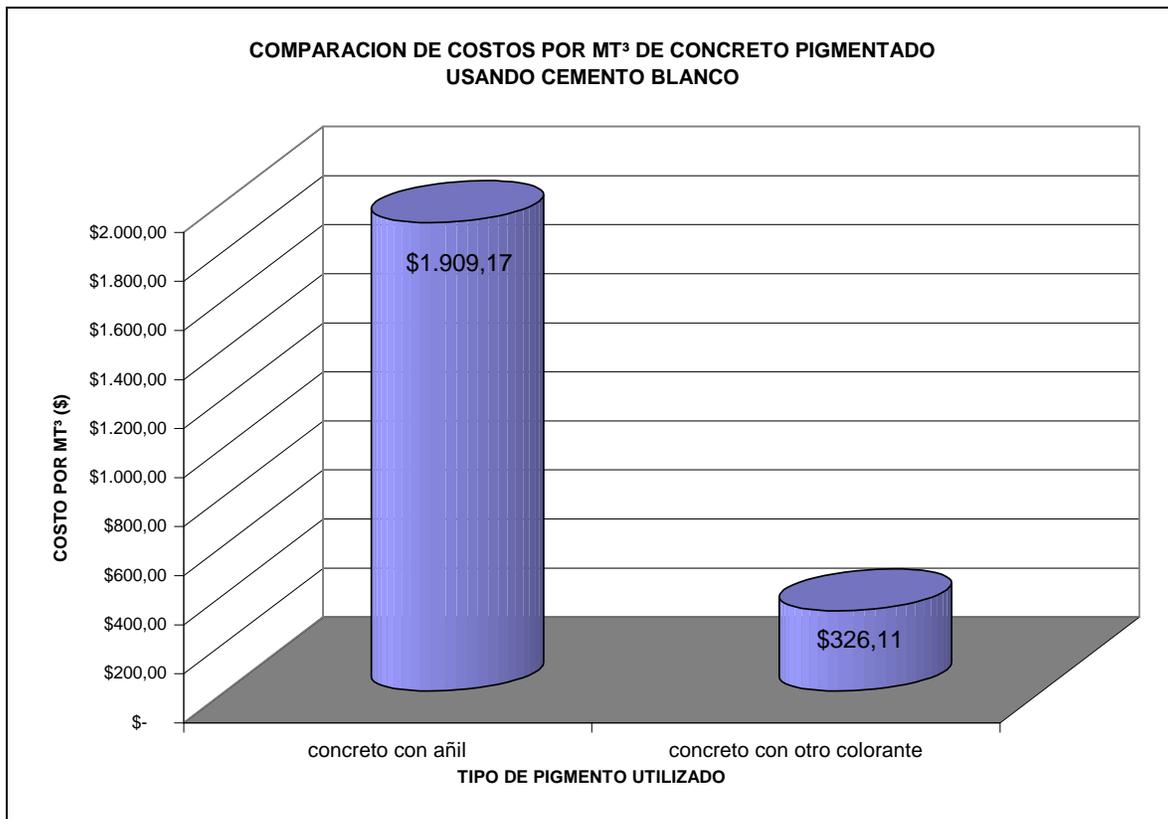


fig. 55 Comparación de costos entre un concreto coloreado con añil y otro coloreado con un pigmento común usando cemento blanco

7.4 ANÁLISIS DE COSTOS.

Como puede observarse, el añil es el producto responsable de elevar grandemente el precio del concreto coloreado por metro cúbico, ya que al usar otro pigmento colorante de origen mineral o sintético, no existe un alza del precio como con el uso del añil.

Se puede decir entonces que en términos económicos, usar añil para colorear el concreto, es una alternativa que resulta bastante cara, eso sin tomar en cuenta las propiedades mecánicas que se ven afectadas en el concreto cuando se incluye el añil en la fabricación del mismo.

Las graficas mostradas anteriormente presentan que el concreto coloreado con añil supera el precio de su contraparte por casi un 735% más de su precio en el cemento gris, mientras que con el cemento blanco el porcentaje anda por el orden de un 585% más que el otro.

CAPITULO VIII

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

8.0 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Debido a la diversidad de ensayos que fueron realizados durante toda la investigación con el añil, se realizara un análisis e interpretación de resultados por cada capítulo, detallando cada uno de los ensayos en los que se involucró el añil.

8.1 CAPITULO III ANÁLISIS PRELIMINAR DEL PIGMENTO. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PIGMENTO.

8.1.1 análisis de humectabilidad del pigmento en agua.

Según se fue llevando a cabo el experimento, y según la secuencia que se llevó en el ensayo, al agregar el pigmento en el agua, se pudo observar que se producían burbujas en la superficie del fluido, lo que puede interpretarse que a medida se agita un líquido que contiene añil, éste tiende a adicionar aire a la mezcla, provocando el desprendimiento de gases y aire; podría predecirse que el pigmento, debido a ese efecto, podría comportarse con un aditivo colorante inclusor de aire cuando es utilizado en concreto y mortero; y como es de esperarse, si aumenta el contenido de aire de una mezcla de concreto, su peso disminuye. Y según ensayos realizados al concreto, esa teoría fue comprobada.

8.1.2 Resistencia a los álcalis

Debido a las propiedades que posee el hidróxido de sodio, el adicionar este compuesto a la solución de añil ocasiona un aumento en su olor, puesto que mientras mayor sea la cantidad de hidróxido adicionada, mayor será la intensidad con la que expedirá el olor la mezcla. Así como el hidróxido de sodio aumenta el olor de la solución con añil, también según los elementos que forman o que están incluidos en el cemento, los agregados y el agua de mezclado, así también puede reaccionar el añil al ser usado en el concreto, pues

según practicas realizadas con el mismo, el olor del añil predomina en un concreto en el cual se ha adicionado dicho pigmento, ocasionando que el concreto tenga un olor diferente al de siempre. Como la diferencia obtenida en el ensayo fue mínima, significa que el añil puede mezclarse con cementos de diferentes clases, y que sin importar los elementos, sustancia o sales que estén presentes en un concreto las variaciones de color por reacciones de álcalis serán mínimas.

8.1.3 porcentaje de sulfatos SO₃

Cuando se habla de soluciones acidas y de soluciones bases, se debe referir a sustancias en las que se ve involucrado el amoniaco el acido clorhídrico y el cloruro de Bario. En este ensayo lo que se hace es estar sometiendo una solución con añil a varios cambios de estado de acido a base y viceversa, utilizando el amoniaco, el cloruro de Bario y el acido, los cuales son elementos que hacen variar tanto el color de la solución en estudio, como el olor de la misma.

Como después de todos los cambios de base a acido y viceversa, se dejo reposar la solución para visualizar lo sedimentado, pero como no hubo ningún sedimento, significa que el añil no posee un porcentaje grande de SO₃ que podría afectar las reacciones que se dan a medida que el cemento se hidrata al contacto con el agua. Como la sustancia estuvo cambiándose de acido a base, era de esperarse que el color de la solución cambiará entre oscuro y amarillo o anaranjado claro. Como no hubo ningún precipitado en la solución en estudio, quiere decir que tampoco hay anhídrido sulfúrico, (SO₃), y por lo tanto el añil no contribuye a aumentar las cantidades de SO₃ que existen o que se dan en una mezcla de concreto.

8.1.4 solubilidad en agua

Algunos pigmentos poseen cierto porcentaje de solubilidad en el agua; la solubilidad del pigmento en agua es un índice para poder determinar si el pigmento se disolverá con el agua de mezclado en la fabricación del concreto, o no se disolverá y pasará a formar parte de los finos. Para nuestro caso como se obtuvo del ensayo que solamente un 5.39% del añil es soluble en agua, puede decirse que una mínima parte del añil se disolverá con el agua de mezclado mientras que la mayor parte de éste pasará a formar parte de los finos. Posiblemente, debido a la consistencia de tipo cenizosa que posee el añil, es que no puede éste ser disuelto por completo en agua como otras sustancias.

8.2 CAPITULO IV ESTABILIDAD DE CURADO ATMOSFÉRICO Y RESISTENCIA A LA LUZ DEL MORTERO.

Al momento que se fabricó el mortero para hacer los especímenes que fueron sometidos a ambos ensayos con el pigmento, se pudo visualizar que el mortero fabricado con cemento blanco presentó una apreciable factibilidad a cambiar su tonalidad o color, ya que, con solo utilizar el porcentaje mínimo de pigmento aplicado, que para nuestro caso fue el 0.5% del peso del cemento, se puede apreciar un cambio en el color del mortero. Esto se debe a la poca cantidad de hierro presente en el cemento blanco y a los agregados que fueron utilizados, que para nuestro caso fueron la arena proveniente de la cantera del municipio de Aguilares.

Los especímenes que fueron pigmentados con el 0.5% del peso del cemento, cambiaron su tonalidad de blanca a un gris claro. Y según como se iba aumentando la cantidad de pigmento utilizada, así fue cambiando el color del mortero de claro a más oscuro, hasta llegar a un color azul mate o azul oscuro, el cual se consiguió con el 6% del pigmento expresado en peso del cemento. Lo anterior puede

analizarse como si la intensidad del color del mortero esté completamente ligada a la cantidad de añil adicionado a la mezcla, caso que también ocurre con otros colorantes para concreto tanto en forma de pigmentos colorantes o como líquidos. Se puede decir en este caso que el añil si cumple esta característica que es común a la mayoría de los colorantes para concreto existentes en la actualidad

Con respecto al curado del mortero, éste es un factor muy importante que afectó el color del mismo, aun al mortero sin pigmentar. Esto se apreció en la variación que tuvieron los especímenes que fueron curados en campo, ya que fueron éstos especímenes los que cambiaron su color a uno mas claro, lo que quiere decir que el sol, la luz y el viento son los responsables del cambio que sufrieron los especímenes. No así con los especímenes que fueron curados bajo condiciones de laboratorio, pues estos presentaron cierta decoloración pero que fue mínima en comparación con los otros.

En cuanto al ensayo de resistencia a la luz, el contacto de la radiación solar con el mortero pigmentado ocasionó un descoloramiento rápido del mortero, esto pudo ser debido a los rayos ultravioleta, lo que podría dar a entender que según las composición química del añil, al entrar en contacto con el cemento, los agregados y el agua, lo vuelve vulnerable a la luz solar, ocasionando consecuentemente la decoloración rápida del mortero pigmentado.

8.3 EFECTOS EN EL CONCRETO

El concreto se vuelve más plástico y negro:

A medida se fueron realizando las pruebas en el concreto con el pigmento, se pudo apreciar que el concreto presentó una consistencia más plástica o ahulada, a medida se aumentaba la cantidad de añil adicionada a la mezcla; esto se visualizó en la consistencia que presentaba el mismo. De igual forma, el concreto hecho a base de cemento blanco, presentaba un cambio más notable en su color que

aqueellos concretos fabricados con cemento gris; aclarando que cuando el concreto era pigmentado en su mayor dosificación, no presentaba un color azul claro, sino un color oscuro o azul oscuro pero que también dependía del tipo de cemento usado. Fue en el concreto hecho con cemento gris donde se volvió más oscuro, mientras que con cemento blanco el color tendió a ser mas claro. Esto tiene que ver con la composición química del cemento usado, así como las cantidades de hierro presentes tanto en el cemento como en los agregados.

El concreto pigmentado con añil, según los ensayos realizados con el concreto, Produce un aumento en la trabajabilidad ya que tiene la habilidad de actuar como un fluidificante y reductor de agua al mismo tiempo.

Al momento en que se estaban realizando las mezclas, se adicionaba el agua que era necesaria para producir un revenimiento de 4 pulgadas en el concreto, medido por medio del cono de revenimiento.

Esto se observó al momento de estar punteando⁴⁹ la mezcla, pues al agregar una poca cantidad de agua a la mezcla, producía que el revenimiento aumentara en una proporción bastante grande, lo que se podría interpretar que al entrar en contacto el añil con mas agua, ocasionaba que la mezcla se hiciera mas fluida o deslizante, lo que causaba un aumento grande en el revenimiento del concreto en fabricación. Lo que puede también tomarse en cuenta, es el fenómeno de que no todo el añil es soluble completamente en agua, y este es un efecto que pudo ocasionar ese gran aumento en la consistencia del concreto.

⁴⁹ Termino técnico que significa agregar el agua necesaria aparte de la de diseño que pueda producir el revenimiento deseado.

Aumenta el tiempo de fraguado.

El añil, por ser un elemento orgánico de tipo natural, y conociendo los resultados obtenidos del ensayo de tiempo de fraguado se puede afirmar que produjo un retardo en el tiempo de fraguado, tanto inicial como final. Estos tiempos aumentaron a medida se iba aumentando la cantidad de añil que se adicionaba al concreto. Y según se iba adicionando mas añil a la mezcla así fue aumentando el tiempo inicial y final de fraguado. Esto también tiene relación con el tipo de cemento usado, y como era de esperarse, el concreto hecho a base de cemento blanco comenzó a fraguar antes que los concretos hechos con cemento gris; y de igual manera con los tiempos finales de fraguado.

La norma especifica que el pigmento no debe retardar por mas de una hora y media el tiempo final o inicial de fraguado; para nuestro caso solamente cuando se usó la mínima cantidad de pigmento (0.5%) es que los tiempos de fraguado cayeron dentro del rango que permite la norma.

En el momento en que se retiraba el agua de sangrado del cilindro de concreto fabricado para ese ensayo, se pudo apreciar también que el añil tiene el mismo efecto de plastificar o ahular el mortero, al igual que con el concreto. Este es un factor que también se afectó con el tipo de cemento usado, pues como el cemento blanco es un cemento puro, tiende a generar mayor calor de hidratación en las mezclas de concreto que los cementos mezclados.⁵⁰

Aumenta el contenido de aire.

El añil produjo un efecto de disminución del peso del concreto, por lo que se puede interpretar que el añil produce un aumento en el contenido de aire al concreto, pues a mayor cantidad de añil, el porcentaje de aire aumenta en la mezcla de concreto, pero no estrictamente, pues esto tiene relación con el ensayo químico de

⁵⁰ Se les llama cementos mezclados debido a que están constituidos por otros elementos como el filler la puzolana la escoria de alto horno, que son agregados al cemento que solo lleva clinker y yeso.

solubilidad del pigmento en agua, pues como se producían burbujas en los recipientes que contenían la solución con añil, era de esperarse que se produjera u efecto de aumento en el contenido de aire del concreto. La norma solo permite un 1% de variación en el contenido de aire del concreto pigmentado con el máximo rango, (10%); para nuestro caso ninguno cemento cumplió con este requisito, pues el concreto hecho con cemento gris varió en un 363.63% mas que la mezcla de control. Con respecto al concreto hecho con cemento blanco, como no fue posible hacerlo, pero basta con saber que el concreto pigmentado al 6% era 169% mayor que el de la mezcla de control, por lo tanto se puede asegurar que el concreto pigmentado al 10% del peso del cemento tampoco pasará esta prueba.

Disminuye la resistencia a la compresión y por consiguiente a la flexión.

Por ser un elemento natural, que por el contrario de los otros colorantes para concreto que son minerales o sintéticos, éste pigmento ocasionó bajas en la resistencia a la compresión y flexión del concreto, pues así como hace que disminuya el peso del mismo, era de esperarse que también bajara la resistencia del concreto. Esto pudo apreciarse en los especímenes de concreto que fueron pigmentados con el 6 y 10% de pigmento al ser ensayados a la compresión y a la flexión. Según la norma ASTM C - 979-99, la resistencia del concreto pigmentado con el máximo rango de dosificación, que para nuestro caso fue del 10%, no debe ser menor que el 90% de la resistencia de un espécimen de control sin pigmentar; según datos de especímenes hechos con cemento gris, el pigmento no cumple con este requisito, pues la resistencia a la compresión a los 28 días del concreto pigmentado es el 28% de la resistencia del concreto sin pigmentar de la misma edad de fabricaron. Por tanto el concreto colorado con añil y hecho a base de cemento gris, no cumple con este requisito pedido por la norma.

Con respecto al cemento blanco, también puede afirmarse que su resistencia se ve afectada drásticamente, pues aunque no se

fabricaron y ensayaron especímenes a los 28 días de edad con el 10% de pigmento, con solo saber que el concreto pigmentado con el 0.5% del peso del cemento, posee una resistencia a la compresión que es el 82% del de la mezcla de control, ¿cómo no se vería afectada la resistencia si se pigmentara con el 10% del peso del cemento!. Por tanto no podría ser usado un concreto pigmentado con añil en una estructura donde se requiera una alta resistencia a la compresión o a la flexión.

Con respecto a la temperatura del concreto pigmentado, no se puede afirmar que el añil produzca un aumento en la temperatura del concreto, pues como se mencionó anteriormente, existen muchos factores que hacen que pueden hacer variar la temperatura de un concreto. Pero algo es seguro, que el concreto hecho a base de cemento blanco posee una mayor temperatura en su estado fresco, que uno hecho con cemento gris; esto como ya se explicó, se debe a que el cemento blanco solo posee clinker y yeso, y todo cemento puro posee el mismo efecto.

Con respecto al factor económico, debido al precio que posee el añil y a la cantidad que se requiere para colorear una cantidad de concreto, puede afirmarse con toda certeza que el añil es un producto que aumenta el costo del concreto, pues en nuestro medio su proceso de extracción es bastante complicado y tedioso, además de que a veces no se cuenta con los utensilios o herramientas necesarias para su correcta extracción.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

Así como todo tipo de pigmento colorante para concreto es sometido a ensayos para ver si cumple con los estándares establecidos por la ASTM, así también se llevó a cabo la correspondiente investigación del pigmento añil, para saber si puede ser clasificado como un pigmento apto para usarse en concreto. A estas alturas de la investigación ya se tiene un visión clara del comportamiento que tiene el añil al ser mezclado con el concreto, y según los resultados obtenidos, se extrajeron las siguientes conclusiones.

El añil es una planta que posee su propia historia, así como sus logros mas destacados en nuestro país. Ha sido un valioso instrumento en la industria textil, farmacéutica y cosmética entre otras.

Según pudo observarse, el añil no es capaz de resistir las inclemencias del tiempo, esto incluye los cambios climáticos como lluvia viento radiación solar etc. Pues el pigmento tiende a deteriorarse muy pronto ocasionando consecuentemente la perdida prematura en el color del concreto. Esto debido a las reacciones químicas que tienen lugar cuando el cemento se esta hidratando y fraguando, a la composición química de los agregados, y al tipo de agua utilizada.

Colorear con añil algún concreto o mortero, seria una opción que resultaría en lo absoluto mucho mas cara que el utilizar otro tipo de pigmento colorante; y aunque si en dado caso, el añil hubiese resultado técnicamente viable, su costo haría que no fuera rentable el uso del pigmento en obras civiles o arquitectónicas, pues no sería un precio competitivo en concursos licitaciones etc.

Según su composición química y ensayos practicados según norma ASTM C -979-99 no puede aplicar como un colorante para concreto pues no existe una viabilidad técnica positiva que pueda afirmar que el añil pueda ser utilizado de tal forma. Esto se debe a que la mayoría de ensayos o análisis realizados al pigmento resultaron negativos,

incurriendo en un incumplimiento de la norma base, pues el pigmento añil ocasiona una baja en la resistencia del concreto, la cual es una característica crítica y delicada que todo Ingeniero o constructor espera del concreto. También afecta las propiedades de tiempo de fraguado, contenido de aire, consistencia y peso volumétrico del concreto.

Todos los ensayos realizados dieron respuestas que hacen que las hipótesis y supuestos planteados sean falsas, y esa es la razón por la cual no se siguió con la aplicación del pigmento.

En resumen: el añil NO puede ser utilizado en un concreto en el cual se esperen propiedades mecánicas muy optimas o estándar, no puede usarse en la coloración de bloques y adoquines de concreto porque afecta sus propiedades mecánicas y no actúa como lo hacen los otros colorantes; o dicho de otra manera el pigmento no cumple en un 95% con lo estipulado en la norma base ASTM C - 979-99. Además puede afirmarse también que el pigmento no puede ser utilizado en ningún otro tipo de prefabricado de concreto que cumpla una función estructural o estética, pues el adicionar añil a cualquiera de esos elementos afectaría sus características físicas, mecánicas y estéticas

Se menciona las características estéticas debido a que el añil no produce un color duradero y resistente a todas las situaciones a las que se ven expuestos los elementos mencionados anteriormente.

Y finalmente, no puede usarse el añil para la hechura de un pavimento de concreto, debido primordialmente a que un pavimento debe ser abierto al trafico a la mayor brevedad posible, y debe resistir esfuerzos de flexotracción, mientras que con la adición del añil como colorante, esas dos características se ven afectadas grandemente, ya que el añil ocasiona un retardo en el fraguado del concreto y le baja la resistencia a la flexión.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- ⊙ En caso de se desee seguir la investigación, y se quiera utilizar el añil solamente con un fin decorativo temporal y no estructural, podría probarse agregar algún tipo de aditivo acelerante de fraguado para contrarrestar el efecto que ocasionaba el añil en esta propiedad.

- ⊙ Al momento de hacer ensayos con pigmentos, es preferible usar un mismo tipo de cemento, así como utilizar agregados de la misma procedencia y lote, la misma clase agua, esto para evitar variaciones en los ensayos.

- ⊙ Realizar los ensayos con los equipos necesarios y adecuados, que se encuentren en óptimas condiciones para proporcionar resultados fidedignos de las pruebas.

- ⊙ Tratar de buscarle otro tipo de mercado al añil, debido a que en el mercado de la construcción no pudo tener una aplicación positiva como colorante de concreto.

FUENTES DE CONSULTA.

FUENTES DE CONSULTA

Referencias en Internet:

- 🌐 elsalvador.com_hablemos on line "Guía Practica para el cultivo de Añil".
- 🌐 www.cessa.com.sv/historia.asp
- 🌐 www.librys.com
- 🌐 http://www.cnca.gob.mx/disvisu/art07/art07.html
- 🌐 www.mag.com.sv
- 🌐 Según: www.añil/ficha.htm

Revistas:

- 📄 "cultura 86"
"Los campesinos, el añil y la tierra en el período colonial tardío"
- 📄 Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto AC
"Revista 143"
- 📄 Dadney, Charles M."
"Cinco Formas de Colorear Concreto",
Publicado en la revista Concrete Construction, Vol. 27, num., 1
- 📄 Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto
"Especificaciones Técnicas para los Concretos a la vista de Cemento Blanco",
- 📄 Instituto Salvadoreño del Cemento y El concreto información sobre relación entre f`c del concreto con el MR, tomada del **ACI 318** y publicado en la revista #32 del ISCYC

Tesis y Libros:

-  Instituto Americano del Concreto
Manual Practico Para Concreto ACI 318 - 89 2ª parte Cap. 3
"Instituto Mexicano Del Cemento y El Concreto", primera edición.
-  ACI 303R-91
Guide to Cast- In-Place Architectural Concrete Practice
Reported by ACI committee 303
-  Sociedad Americana de Pruebas de Materiales ASTM
Annual Book of ASTM Standard 2001
Section 4, volume 04
-  Steven H. Kosmatka
Finishing Concrete Slabs with Color and Texture
Portland Cement Association, 1991
-  Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
"Concreto Arquitectónico"
-  Diego Sánchez, Bhandar
1996, **Tecnología del concreto para la Arquitectura.**
Editores, Sta. Fé de Bogotá,
-  Thomas D. Larson
Num. 4620 **Concretos de Cemento Pórtland y Asfálticos.**
Compañía Editorial Continental México D.F.

-  Duran Hernández Gilberto Armando [Saúl Monterrosa Cruz, Minny del Carmen Villalta]
1999, **Estudio de La Contracción Lineal de los Bloques de Concreto y su influencia en el Agrietamiento en Paredes de Mampostería.**
Tesis UCA San Salvador mayo de 1999.
-  Ciro Herman Alvarenga Romero,
1998, **Investigación de la calidad del cemento.**
Tesis UCA San Salvador abril de 1998.
-  Carlos Fernando Membreño Velásquez,
1999, **Investigación de la resistencia a la compresión de morteros estructurales con base en la norma ASTM C - 109/C-109M.**
Tesis UCA San Salvador Abril de 1998.
-  Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones
1999, **Curso de Pavimentos de Concreto**
San Salvador, Marzo 1999
-  Fabrica de Bloques y Adoquines "Bloquitubos S.A de C.V" de El Salvador.
2002, Manual técnico para el uso de bloques de concreto.
-  Barrera V. Hugo, OO. CC.U de Santiago de Chile, Ing. Civil en Obras Civiles,
"Estudio Teórico-Experimental de la Técnica de Hormigones Colorados con Pigmentos Chilenos",
Chile,1999

 Hernández Ayala, Edwin Alexander **“Evaluación de las variables de secado, para la conservación de las hojas de la planta de añil, (Índigofera Sp)** “Tesis de Ingeniería Química, Universidad De El Salvador, Diciembre 2003

 Salazar Marxelly, Aldo Francisco.
PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ÍNDIGO DE LA PLANTA DEL AÑIL
Tesis de Ingeniería Química, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas,
Octubre 2002. El Salvador.

 Sociedad Americana de pruebas y materiales,
“Paints, Related Coatings and Aromatics” Volume 06.02
especificación D-1208

 Kumar Mehta y Paulo Monteiro
1993 **“Concrete, Structure, Properties and Materials”**-
Prentice Hall, Inc.

Información proporcionada por empresa:

 Información referente a bloques y adoquines coloreados y texturizados, proporcionada por la Fábrica de Bloques y Adoquines Saltex de El Salvador.

 Información sobre concreto estampado y pavimentos, Obtenidas de Ponencia de Constructora Funes, en el Segundo Foro de Vivienda “La vivienda de Interés Social en el Nuevo Milenio”, Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto, El Salvador, Agosto de 2003.

ANEXOS

A.1 Normas y especificaciones de la ASTM

A.2 Información proporcionada por la Concretera Salvadoreña

A.3 Datos numéricos obtenidos durante los ensayos de laboratorio

A.4 Resultados de ensayos de resistencia a la flexión y compresión del concreto.

A.5 Representación Grafica de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio practicados al concreto.

A.6 Gráficos y datos estadísticos de los tiempos de fraguado del concreto

A.7 Hoja de análisis químico para determinar el porcentaje de Indigotina del añil