

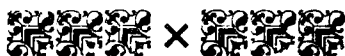


D-16715

T
624.18
M663
C.21



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra



Hormigón Arquitectónico

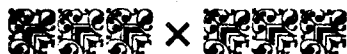
TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Diana María Mindiola Robayo



Guayaquil

Año

Ecuador

1997

Dedicatoria

A mi padre celestial

A mi padres: Félix y Fanny

A mis hermanas: Magda, Alba y Tany

A mi esposo: Alejandro

A mi hija: Allison


A mi sobrino: Isaac

Agradecimiento

Expreso mi agradecimiento por la colaboración en el desarrollo de la presente tesis a mis amigos que conforman el personal del Centro Técnico del Hormigón, entre ellos: Gina G., Jorge F., Ing. Leonardo C., Xavier A. y Félix; además mi gratitud para todos mis compañeros de aula y profesores, quienes directa o indirectamente me brindaron su apoyo a lo largo de mi carrera universitaria. De manera muy especial desco expresar mi más sincero agradecimiento y cariño para el Ing. Hugo Eguez A., director de la presente tesis; el Sr. Julio A. García, mi esposo y la Sra. Fanny Robayo, mi madre.

Declaración Expresa

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL " .

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'DM Mindiola', written over a horizontal line.

DIANA MARIA MINDIOLA ROBAYO

RESUMEN

Primeramente, se hace una descripción sobre las generalidades del hormigón arquitectónico, definiéndolo de manera particular, indicando las características arquitectónicas del mismo, mencionando algunos criterios generales de aceptación, medición, acabados, etc.. A su vez se dá a conocer la clasificación del mismo, de acuerdo al lugar de elaboración; siendo estos prefabricados o hechos in situ. No cabe duda que tanto el hormigón prefabricado como el colado in situ, pueden ofrecer acabados estilísticos con agradable estética, sin embargo cada uno de estos guardan ciertas restricciones en sus respectivas etapas de diseño y fabricación para que finalmente cumplan con las especificaciones requeridas.

Por otra parte, es de mucha importancia la calidad, procedencia y proporcionamiento de los materiales que se vayan a utilizar en la mezcla , de manera que la superficie a realizar sea lo más uniforme posible. Aparte, en lo que respecta a la transportación y colocación de la mezcla de hormigón al lugar de la obra, se deben considerar varias metodologías constructivas, las mismas que se ponen en práctica al momento de la fabricación del hormigón arquitectónico. Es preciso señalar que los mejores métodos para obtener un hormigón aceptable son seguir las indicaciones anteriores, incluyendo a estas el procedimiento de curado al hormigón de acuerdo con los resultados que se desee obtener.

Las cimbras o también llamados encofrados, determinan de manera particular la textura y la forma del hormigón arquitectónico. Se describen los diversos materiales utilizados como encofrados. Es preciso considerar las juntas, accesorios y selladores que sean necesarios utilizar y que inciden en el acabado de nuestro tipo de hormigón. De manera general se señala los métodos y formas de desencofrar.

Con posterioridad se comentan las consideraciones de diseño, incluyendo los criterios generales de diseño, acero de refuerzo; con las respectivas disposiciones de las normas, tolerancias a las que está sujeta este tipo de hormigón y los diferentes tipos de juntas que fueren requeridas de acuerdo al elemento que sea diseñado. Este conjunto de consideraciones hacen que la estructura actúe acorde y eficazmente de modo que sea capaz de sostener las cargas para las que fue diseñada.

La pluralidad de tratamientos que se pueden efectuar en una superficie de hormigón y combinando las distintas opciones, se puede alcanzar una gama muy amplia de posibles soluciones que nos permiten dar respuesta a casi cualquier exigencia que establezca el proyectista. Subsecuentemente se explica los parámetros generales que inciden en la estética tanto global como de acabados de una obra de hormigón, tratando de forma más detallada los que inciden sobre estos últimos.



Por último, se exponen diversas consideraciones sobre mantenimiento, durabilidad de los acabados y control de calidad. La ejecución de paneles de muestras representa la parte objetiva de la tesis, lo que a su vez permitio realizar el análisis respectivo de dichos paneles, para llegar a determinadas conclusiones.



INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material que por las cualidades que presenta y usos lo caracterizan como moderno y universal. Durante muchos años se ha investigado la apariencia del hormigón como una característica importante, tanto en elementos fundidos en sitio como en la industria de los prefabricados, dadas las ilimitadas ventajas técnicas, funcionales, constructivas y económicas que presenta como material de construcción. Sin embargo es necesario que la composición del hormigón y sus refuerzos sean estudiados en función de los esfuerzos a que estará sometido.

A parte de las prestaciones mecánicas, el hormigón presenta otras características que le permiten dar una respuesta satisfactoria a muy diversos requisitos de las construcciones como son: la durabilidad , el aislamiento térmico y acústico , resistencia al fuego y aspectos estéticos entre otros.

La presente tesis tiene como objetivo especificar dichos aspectos estéticos que en numerosos casos son un apartado básico a considerar en la construcción de edificios y estructuras. Además ,se tratará principalmente los requisitos del hormigón arquitectónico de características normales y especiales, descritas en las normas del American Concrete Institute existentes.

El hormigón arquitectónico ofrece al constructor posibilidades inimaginables para el diseño de fachadas, a través de una gran variedad de formas, colores, texturas y acabados. Hoy en día la tendencia del hormigón arquitectónico en las obras apunta hacia un mayor grado de libertad en el concepto total, sobre todo en la fachada.

Índice General

<i>Contenido</i>	<i>Pág.</i>
Resumen.....	V
Introducción.....	VIII
Índice General.....	X
Abreviaturas.....	XIII
 Capítulo 1 : GENERALIDADES DEL HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO	
1.1 Definiciones.....	14
1.2 Características Arquitectónicas.....	15
1.3 Clasificación.....	17
1.3.1 Hormigón Arquitectónico Premoldeado.....	17
1.3.2 Hormigón Arquitectónico Moldeado in-situ.....	24
1.4 Especificaciones generales.....	27
 Capítulo 2 : MATERIALES PARA EL HORMIGÓN Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS	
2.1 Cementos.....	29
2.2 Agregados.....	32
2.3 Aditivos.....	36
2.4 Pigmentos.....	41
2.5 Proporcionamiento.....	45

2.6	Transporte y colocación.....	47
2.7	Curado.....	50
Capítulo 3 : ENCOFRADOS		
3.1	Aspectos Generales.....	54
3.2	Materiales.....	56
3.3	Costos.....	62
3.4	Juntas.....	64
3.5	Accesorios y Selladores.....	67
3.6	Agentes desmoldantes.....	71
3.7	Desencofrado.....	78
Capítulo 4 : CONSIDERACIONES DE DISEÑO		
4.1	Criterios Generales de Diseño.....	81
4.2	Acero de Refuerzo.....	82
4.3	Tolerancias.....	84
4.4	Juntas.....	85
Capítulo 5 : ACABADOS		
5.1	Aspectos Generales.....	87
5.2	Tipos de Acabados.....	89
	5.2.1 Generalidades.....	90
	5.2.2 Tipología.....	91
5.3	Textura.....	113

5.4	Color.....	115
-----	------------	-----

Capítulo 6 : MANTENIMIENTO

6.1	Reparación de Defectos.....	119
6.2	Mantenimiento Preventivo.....	121
6.3	Limpieza.....	122
6.4	Intemperización.....	123

Capítulo 7 : CONTROL DE CALIDAD

7.1	Resistencia.....	128
7.2	Descascaramiento.....	128
7.3	Agrietamiento.....	129
7.4	Propiedades Acústicas.....	130
7.5	Resistencia al Fuego.....	132
7.6	Criterios de Aceptación y Rechazo.....	133
7.6.1	Observación.....	133
7.6.2	Paneles de Muestra.....	135
7.6.3	Especificaciones Técnicas.....	137

Capítulo 8	: ENSAYOS	143
------------	-----------------	-----

Capítulo 9	: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	156
------------	---------------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA	159
--------------------	-----



Abreviaturas

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Standart Testing Materials
PCI	Precast Concrete Institute

Unidades

Kg	Kilogramos
m	metros
cm	centímetros
mm	milímetros

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO

1.1 Definiciones

El hormigón arquitectónico de acuerdo con el " American Concrete Institute Manual of Concrete Practice, part 1, capítulo Cement and Concrete Terminology (ACI 116R-90)" [1], es el "*hormigón que está permanentemente expuesto a la vista y por consiguiente requiere de un cuidado especial en la selección de los materiales del hormigón y de la cimbra, así como también en el colado y acabado a fin de obtener la apariencia arquitectónica deseada*".

Una consideración necesaria para la aceptabilidad del hormigón arquitectónico es la apariencia visual de las superficies expuestas que deben tener un aspecto agradable, con variaciones mínimas de color y textura, y el menor número de defectos en la superficie al observarlas a una distancia de 6 metros u otra especificada. Aunque es difícil de describir o medir en términos exactos la apariencia, el diseñador debe establecer criterios de aceptabilidad a medida que concibe la estructura. Para producir un hormigón arquitectónico aceptable, la clave del éxito es la uniformidad, tanto de materiales como de equipo, de operaciones y de mano de obra.

La belleza natural de los agregados, es la que más frecuentemente se expresa en el hormigón a la vista. De modo que siempre y cuando sea factible estos y el resto de materiales que componen el hormigón deben provenir de una sola fuente y en el caso de materiales manufacturados o procesados de una sola tanda de producción., conservando así la gradación, forma, color y textura de los agregados.

Las variaciones de color y tonalidad se minimizan [10] si se toma en consideración varios aspectos como :

- El control apropiado de los componentes de las mezclas de hormigón y de la consistencia.

- Los programas uniformes de la entrega del hormigón.
- Las prácticas uniformes en la aplicación del preparado que se recomienda para las superficies del encofrado, así como la puesta y remoción de este.
- Velocidad uniforme y métodos comprobados para el colado y compactación del hormigón.
- Evitar las variaciones extremas de las condiciones climáticas en el momento del colado.
- Mantener uniformes los procedimientos y métodos de curado adecuado.
- Realizar las operaciones de acabado oportunamente .

1.3 Clasificación

Dependiendo del lugar de fabricación el hormigón arquitectónico puede ser :

- Premoldeado
- Moldeado in situ

1.3.1 Hormigón arquitectónico premoldeado

Son los elementos de hormigón ya sean simples, armados o pretensados, que se transportan y colocan en la obra una vez ya endurecidos. Estos elementos presentan una gran cantidad de

ventajas con respecto a los elementos moldeados en obra, debido primordialmente al control de las condiciones de fabricación que se puede tener con respecto a los primeros.

En la elaboración de hormigón prefabricado no se tiene que considerar como factores determinantes el clima, la accesibilidad al lugar donde se encuentra la obra, razones por las cuales se garantiza una perfecta calidad de acabado y una gran variedad de posibilidades en formas y tamaños.

La prefabricación de elementos de hormigón ha dejado de ser una técnica para construir de un modo repetitivo, cerrado y limitado, para convertirse en una auténtica tecnología abierta y moderna que se incorpora eficazmente al proceso constructivo, aportando a los mismo un nuevo atributo valorable estéticamente, gracias a la relativa facilidad con que pueden producirse una amplia gama de formas inimaginables; desde superficies con texturas agresivas hasta acabados delicadamente pulidos.

Los hormigones premoldeados permiten utilizar encofrados metálicos de calidad mucho mejor que los utilizados en la obra, con

ellos se consigue formas diversas y superficies no planas de un modo más económico y preciso que con los encofrados propios de la obra in situ. En las piezas prefabricadas se puede redondear aristas ,sustituir vértices con casquetes esféricos, disponer molduras, etc., de forma sencilla, aumentando las posibilidades de obtener superficies en las que la luz creará todo un juego de sombras que nos descubrirá todos los matices formales que apreciaremos como un valor estético.

Entre otras de las ventajas de la prefabricación es que:

- a) permite erradicar las juntas horizontales de hormigonado, causante en muchas ocasiones , del mal aspecto de los muros;
- b) poseen un alto grado de aislamiento térmico y de resistencia al fuego;
- c) tiene excelentes características acústicas;
- d) los procedimientos de producción estándar, dan como resultado calidad y uniformidad del producto final;
- e) la producción de elementos se efectúa simultáneamente a la ejecución de la obra, reduciendo el tiempo de construcción al mínimo, lo cual garantiza la máxima rentabilidad y reducción de costos.

Por otro lado se debe considerar ciertos inconvenientes en el uso de elementos premoldeados como por ejemplo; se requiere tener gran exactitud en las dimensiones; se debe terminar totalmente el proyecto antes de iniciar la obra; no se admite imprevistos de obra ya que entorpecería el cronograma de la misma e implica el empleo de equipos adecuados en ciertos casos especiales.

La repetición es un factor importante para poder obtener mayor economía en la producción de piezas prefabricadas, en consecuencia se reduce el alto costo de los materiales de encofrados. Para lograr una máxima reutilización de los moldes, los elementos se desmoldan de 12 a 48 horas después de colarse.

Los criterios que deben considerarse para el diseño arquitectónico y estructural de los elementos prefabricados de hormigón arquitectónico requieren ser estudiados detalladamente. Algunos de ellos serán analizados a medida que se desarrolle el proyecto.

Con respecto al diseño arquitectónico se tiene a consideración los siguientes criterios [17] :

- Superficies estéticas

- Uniones y conexiones
- Inserción de ventanas y cristalería
- Conservación de energía
- Propiedades acústicas
- Protección contra incendio
- Cubiertas

Los factores típicos encontrados en el diseño estructural [17] de unidades de hormigón prefabricadas incluyen:

- La forma y su influencia en el diseño de moldes y encofrados
- Propiedades del hormigón
- Sistemas de conexión y manejo
- Determinación de carga para su manipulación, transportación y colocación.
- Sobre cargas de servicio
- Diseño de refuerzos
- Conexiones
- Tolerancias
- Juntas

El orden de estas consideraciones no tiene la mayor importancia, pero el arquitecto o diseñador deberá tomar decisiones basadas en

sus efectos fundamentales sobre la calidad y economía final del producto.

Conjuntamente como se han ido desarrollando los productos prefabricados, también se han mejorado las técnicas de conexión y montaje. Los elementos son transportados desde la planta de fabricación hasta la obra, donde son elevados directamente a su posición final. La conveniencia en el manejo, transporte y colocación, determinará el máximo tamaño del elemento prefabricado. Es necesario considerar también:

- La geometría del elemento
- La resistencia estructural
- Disponibilidad de equipo y personal adecuado en planta y en obra
- Espacio necesario para movilización y manejo
- Lugar de almacenamiento disponible en condiciones óptimas
- Configuración de la edificación y de las edificaciones cercanas
- Condiciones de desencofrado

El empleo de paneles de muestra que permiten analizar y probar la técnicas constructivas, materiales, aplicación de acabados y técnicas de limpieza y reparación, variaciones de color y textura, entre otros.

ha facilitado la selección de los mismos para una obra específica. Su tamaño puede ser pequeño o modelo a escala real para determinar los criterios de aceptabilidad y cotización de unidades.

Son muchos los usos y aplicaciones que tiene el hormigón arquitectónico premoldeado [20], entre los cuales tenemos los siguientes:

- Paredes exteriores
- Paredes portantes y no portantes
- Acabado interior
- Aislamiento térmico y/o acústico
- Contenedores de instalaciones eléctricas y/o sanitarias (total o parcialmente)
- Paneles para recubrimiento de columnas
- Encofrados para elementos moldeados in situ
- Arte y escultura
- Trabajos ornamentales
- Mobiliario urbano
- Adoquines, bloques, baldosas y tejas
- Muros de contención
- Balcones, barandas, pasamanos, cercas y bordillos, etc.

El uso del hormigón arquitectónico prefabricado como un material estructural, proporciona al diseñador una nueva libertad para usar el sistema estructural del edificio, como una característica del diseño exterior. De tal manera que se ha incrementado el desarrollo de la prefabricación para elementos de puentes, especialmente en concretos de alta resistencia, permitiendo un gran margen de concepción arquitectónica y una elevación del nivel de exigencias de calidad .

1.3.2 Hormigón arquitectónico moldeado in situ

Se refiere al hormigón colado en obra, en la posición final que ocupará en la estructura de la edificación. A diferencia del hormigón prefabricado este, generalmente requiere un control continuo en el momento de colado, compactación y curado del mismo. Cuando se trata de hormigones elaborados en obra se deben considerar ciertos criterios en lo que se refiere al diseño arquitectónico para lograr resultados aceptables, entre estos tenemos [10]:

- Separación o división de las superficies de hormigón en áreas manejables mediante la incorporación de patrones rústicos o de juntas, o también mediante el empleo de tableros.
- Planeación sistemática para integrar las juntas de construcción a los requisitos estructurales y a las posibles secciones.
- Uso de encofrado con superficie texturizada, de acabados texturizados para hormigón, o de otras características de relieve.
- Eliminación de superficies de hormigón muy extensas, uniformes e ininterrumpidas.

Con el fin de producir una estructura capaz de soportar las cargas de servicio y los esfuerzos sin crear agrietamientos, descascaramientos o deflexiones excesivas que puedan desvirtuar el aspecto arquitectónico de la estructura, se realizan los diseños arquitectónicos y estructurales de tal manera que funcionen de forma armónica.

En el caso específico de vigas y losas se requiere de especial cuidado, porque todos los factores que producen tensión en el hormigón recaen sobre partes del elemento. En lo referente a columnas hay una diferencia con las vigas ya que no recibe altos

esfuerzos de tensión . Existe menos tendencia al agrietamiento vertical por que las dimensiones laterales son pequeñas, las que a su vez permiten el vaciado rápido del hormigón.

Generalmente un muro típico es largo y delgado, y puede ser alto. Por lo regular en estos se producen agrietamientos verticales, causados principalmente por la tensión axial debida a las restricciones que impone la contracción por secado o a los esfuerzos por temperaturas. El porcentaje de refuerzo es bajo, tanto vertical como horizontalmente debido a que tienen menores esfuerzos axiales o de flexión.

El empleo de paneles de muestra permitirá un amplio estudio de la factibilidad de construcción en cuanto a materiales, tratamientos y procedimientos. Para lo cual deberán ser construidos con los materiales y técnicas que se emplearán en la obra, incluida un área de reparación, que será juzgada con un mínimo de un mes de edad.

Entre los usos y aplicaciones que se tiene en este tipo de hormigón incluye [20] :

- Paredes de hormigón visto

- Pavimentos texturados o coloreados

1.4 Especificaciones generales

Las especificaciones y plano del proyecto son las guías principales en toda construcción de hormigón. En el nuestro caso, las especificaciones para los hormigones arquitectónicos pueden ser de dos tipos o una combinación de ambos [3]:

a) Comportamiento: se evalúa la apariencia del producto terminado para determinar si las cumple o no. Esto se logra por comparación de las superficies terminadas con la apariencia de maquetas aprobadas previamente a la construcción, con fotografías y otros ejemplos ilustrativos a que se hace referencia en las especificaciones, y con los requisitos de descripciones dadas en ellas.

b) Prescripción: se especifican métodos, materiales y procedimientos detallados. En los proyectos de agregado expuesto son una combinación de ambos, en la que se especifican las proporciones del agregado expuesto, la marca de cemento y la frecuencia mínima de vibrado, para asegurar hasta cierto punto el éxito sin especificar métodos reales de construcción.

CAPITULO II

MATERIALES PARA EL HORMIGÓN Y *PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS*

La selección y evaluación de los materiales componentes del hormigón arquitectónico no difieren de la buena práctica que debe seguirse en cualquier diseño de mezcla, pero a diferencia de los hormigones de uso exclusivamente estructural, los hormigones arquitectónicos, llamarán nuestra atención hacia detalles que puedan garantizar la continuidad del aspecto que se pueda lograr.

En el transcurso de este capítulo se describe características adicionales de los materiales componentes del hormigón arquitectónico.

2.1 Cementos

El cemento ejerce la principal influencia en el color de los acabados aparentes, ya que cubre la superficies expuestas del hormigón. En la mayoría de los acabados con agregado expuesto el color del cemento es de menor importancia, porque el agregado grueso representa la mayor parte de la superficie visible. Sin embargo, las diferentes características que posee el cemento pueden afectar el valor del tono deseado de cualquier hormigón arquitectónico.

El color del cemento proveniente de varias fuentes puede diferir desde un blanquecino, pasando por una amplia gama de gris claro a gris oscuro y una tendencia ocasional hacia un color tostado o café claro, canela y amarillo ante. Los últimos cementos son producidos mediante moliendas y operaciones de quemado especiales, utilizando materias primas normales; otros en cambio se producen entremoliendo pigmentos minerales en la fábrica de cemento. Estos cementos cumplen con las normas ASTM C 150 o ASTM C 595.

Puesto que el cemento es el ingrediente más importante del hormigón, su color tendrá un efecto importante sobre el color del hormigón.

El tipo de cemento que se utilice, depende de las características estructurales que se requieran. Se ha determinado en base a experiencias realizadas, que hay ciertas ventajas con el uso de cemento Tipo II. (Cemento normal de bajo calor de hidratación y mejor resistencia a las aguas agresivas) , debido a que es probable obtener baja pérdida de revenimiento, lo cual facilita su colocación. Tal vez el cemento Tipo II no pueda ganar resistencia con rapidez que el cemento Tipo I sino hasta los 28 días de edad pero su resistencia última debe resultar más alta. Deberá considerarse la coloración final que se obtenga en el hormigón endurecido, a fin de verificar posibles variaciones de color entre lotes de cemento.

Los requisitos especificados en las normas ASTM C 150, ASTM C 595, ASTM C 845, deben cumplir los cementos portland o los cementos especiales utilizados en la fabricación de hormigón arquitectónico [2].

Para obtener resultados favorables se recomienda el uso del mismo tipo de cemento, marca, que provenga de una sola fábrica y que sea elaborado de las mismas materias primas, y consecuentemente controlar y minimizar las variaciones de color. No obstante, estas preocupaciones no aseguran automáticamente la uniformidad del color, puesto que las variaciones en la

elaboración , manejo y equipo de entrega del hormigón también pueden tener efectos notables.

Para fines arquitectónicos o acabados con pintura de tono pastel en regiones tropicales se utiliza en ocasiones hormigón blanco. Para lograr mejores resultados, es conveniente usar cemento blanco con un agregado fino adecuado y, si la superficie es va a ser tratada, también agregado grueso. Este tipo de cemento tiene además la ventaja de no causar manchas, debido a su bajo contenido de álcalis solubles.

El cemento Portland blanco está hecho de materias primas seleccionadas, que contienen una pequeña cantidad de óxido ferroso y de manganeso. Suele usarse arcilla blanca junto con una caliza, libre de impurezas [18] .

Para obtener un hormigón durable y uniforme de color, lo mejor es usar cemento coloreado; este consiste en la mezcla de cemento blanco con un 2 a 10% de pigmentos. Se ajustan a la norma ASTM C 150, están disponibles en colores amarillo, café claro, negro, naranja, rosa y canela. Las especificaciones técnicas para usar este tipo de cemento la dan los mismos fabricantes. Algunos de estos cementos especiales tienen demandas usuales de mucha agua, que pueden resultar en bajas resistencias.

2.2 *Agregados*

En general se requiere que los agregados cumplan los requisitos de calidad exigidos para agregados de hormigón ordinario. A menudo, se añaden requisitos adicionales para limitar severamente la presencia de partículas que pueden causar manchas sobre las superficies de hormigón, principalmente compuestos de hierro y materiales inestables propensos a producir reventones durante los cambios de clima.

En el momento de escoger agregados, ya sea gravas o arenas, se debe considerar una diversidad de factores tales como el color, la resistencia, el tamaño, la forma, la gradación, la textura, la durabilidad, el costo y la disponibilidad, con el fin de poder alcanzar el resultado propuesto según las condiciones de exposición que tendrán. Cuando se requiera un grado de uniformidad de color muy elevado, se recomienda utilizar agregado grueso y fino de igual color.

Fuera de las características intrínsecas de los agregados, se debe considerar que la utilización de estos en el hormigón se hará bajo ciertas circunstancias atmosféricas, que deben tener presente específicamente al seleccionar el color y la textura del hormigón acabado con el fin de minimizar los efectos del medio ambiente; al mismo tiempo se debe evaluar la absorción y la forma de los

agregados, prefiriendo aquellos cuya forma permita un mayor grado de autolimpieza, como es el caso de los agregados redondeados.

Es común utilizar agregados de densidad normal o liviana que se ajustan a las normas ASTM C 33 y ASTM C 330, en acabados de agregado expuesto, para obtener como resultado combinaciones ilimitadas de color y textura. Entre dichos agregados se incluyen la grava natural, la grava triturada y los agregados de piedra triturada de diversos colores. Además se puede utilizar agregados artificiales como esquistos expandidos, arcillas, pizarras, escorias, vidrios y materiales de cerámica. Agregados como mármoles, alguna calizas, y otros materiales con cantidades de calcio elevadas, no son adecuados para superficies de agregado expuesto.

A menos que el acabado consista en una exposición de los agregados, el color del agregado grueso no es un factor significativo. La arena o agregado fino tiene mucho más efecto sobre la coloración final del hormigón; debido a que estas conservan mayor cantidad de residuos y polvo, aún después de su lavado. Dichas partículas producen un color adicional o también con la acción del tiempo aparecen en la superficie del hormigón desvalorando el aspecto estético.

En el caso de hormigones blancos, la selección de los agregados se torna más exigente, debido a la gran diferencia que puede haber entre el color del agregado y el cemento blanco. Los agregados gruesos tienden a crear sombras cuando las secciones más delgadas de mortero blanco no pueden ocultarlo. Es preciso tener mucho cuidado en el apilamiento de los agregados, pues contaminarían la mezcla de hormigón y reducirían la intensidad de color de los mismos.

El tipo de arena usado en el hormigón blanco afecta en mayor grado su color. Las partículas finas de arena actúan como pigmentos en la pasta de cemento. Para obtener un máximo de blancura puede ser usado una arena blanca o de color amarillo pálido. En vista de que la mayoría de arenas naturales carecen de la blancura requerida, también se puede elaborar arena fina para obtener el color blanco deseado. Generalmente estos agregados consisten en moler piedra caliza o arena de cuarzo [18].

Para lograr un hormigón blanco uniforme, se debe hacer una mezcla rica en cemento, con un alto contenido de arena fina y agregado grueso de igual gradación. Cabe señalar que una elevada proporción de arena es recomendado para reducir las variaciones de color, por el contrario una baja proporción de arena previene las formaciones de ratoneras. Entonces es necesario decidir cual

es más importante para eliminar un propósito particular, considerando que siempre haya uniformidad de color y evitando la segregación de partículas.

El tamaño máximo del árido, aparte de las condiciones exigidas por otro tipo de requisitos, entre estos durabilidad, trabajabilidad, etc., vendrá también condicionado por la superficie total expuesta y la distancia desde la que es observable dicha superficie si no se desea que sean apreciable las partículas, de forma que se podrá aumentar el tamaño máximo del árido a medida que aumente la distancia. A continuación tenemos una escala de visibilidad sugerida que va en función del tamaño del agregado [12].

Escala de visibilidad sugerida

<i>Tamaño del agregado</i>	<i>Alcance de percepción de la textura , (metros)</i>
1/4 a 1/2" (6.4 a 12.7 mm)	6 - 9
1/2 a 1" (12.7 a 25.4 mm)	9 - 23
1 a 2" (25.4 a 50.8 mm)	23 - 38
2 a 3" (50.8 a 76.2 mm)	38 - 53

Los límites de gradación del agregado grueso usado en hormigones arquitectónicos expuestos pueden variar de 1/8 a 1 1/2 pulgadas o 3 a 4 mm según sea el efecto arquitectónico deseado. Las granulometrías abiertas pueden incluir agregado grueso en un rango reducido de tamaños, por ejemplo de 40 a 20 mm (1 1/2 a 3/4 pulgadas), de 25 a 10 mm (1 a 1 1/2 pulgadas), de 20 a 9 mm (3/4 a 3/8 pulgadas), u otros. Estos límites son controlados más estrechamente que los de un hormigón convencional [10].

2.3 Aditivos

En la actualidad, el uso de aditivos se ha convertido en una práctica obligatoria al momento de diseñar el hormigón. Debido a que la presencia de estos, permite obtener condiciones específicas para el manejo y tratamiento del hormigón. Los aditivos pueden definirse como ingredientes, diferentes al cemento, agua y agregados, que son añadidos a la mezcla inmediatamente antes, durante o después del mezclado para mejorarle alguna característica, contrarrestar posibles deficiencias, lograr mayor economía o desarrollar propiedades especiales.

En el caso de hormigones arquitectónicos, las características tales como trabajabilidad, acabado, resistencia, durabilidad, impermeabilidad y resistencia

al desgaste, adquieren mayor importancia y puede mejorarse drásticamente con el uso de el aditivo o la combinación apropiada de aditivos.

Los aditivos se clasifican de acuerdo con el fin específico que van a ser utilizados en el hormigón, al respecto en la norma ASTM C 494 se ha establecido los requisitos de aceptabilidad, los aditivos recomendados generalmente en el hormigón arquitectónico son [2]:

- ▶ Aditivos reductores de agua y retardantes de fraguado
- ▶ Aditivos incorporadores de aire
- ▶ Aditivos retardantes
- ▶ Superplastificantes
- ▶ Adiciones minerales y puzolanas
- ▶ Aditivos colorantes

Detalladamente hay más información sobre los aditivos y los efectos que causan al hormigón, en el reporte ACI 212.3R.

Los **aditivos incorporadores de aire** deben ser ensayados conforme a la norma ASTM C 260. La principal misión de los aditivos inclusores de aire es la de crear pequeñas burbujas de aire cuya granulometría es del orden de 50 hasta 200 micras de diámetro, regulares y uniformemente repartida en la masa, que

generalmente es incorporada durante el proceso de mezcla, con el fin de incrementar la trabajabilidad , reducir la cantidad de agua de amasado y aumentar la resistencia a la helada.

Para hormigones arquitectónicos expuestos a ciclos de hielo y deshielo se recomienda utilizar los valores de la tabla 3.4.1 del ACI 301-7 que determina el contenido total de aire para varios tamaños de agregado grueso para un hormigón de peso normal [21]. En climas apacibles se recomienda utilizar pequeños porcentajes de aire incorporado para mejorar la trabajabilidad especialmente en mezclas rígidas.

Tabla # 1

Contenido de aire total recomendado para varias granulometrías de agregado grueso para un hormigón de peso normal expuesto al hielo y deshielo

Tamaño máximo nominal de agregado grueso (pulg)	Contenido total de aire Porcentaje por volumen
3/8	6 - 10
1/2	5 - 9
3/4	4 - 8
1	3.5 - 6.5
1 1/2	3 - 6
.2	2.5 - 5.5
3	1.5 - 4.5

Los **aditivos reductores de agua y retardantes del fraguado** se producen de ciertos compuestos orgánicos o la combinación de compuestos orgánicos e inorgánicos, ambos reducen el requerimiento de agua de mezclado del hormigón para un revenimiento dado y modifica el tiempo de fraguado. La reducción de demanda de agua puede ser el resultado tanto de disminuir la relación agua/cemento para un revenimiento dado y el contenido de cemento, así como el incrementar la trabajabilidad para una relación agua/cemento y contenido de cemento. Cuando se reduce la relación agua/cemento se incrementa la resistencia a la compresión y se reduce la permeabilidad.

En el caso de hormigones arquitectónicos, los **aditivos retardantes** son utilizados para incrementar la trabajabilidad del hormigón de tal manera que mejora la docilidad, principalmente con mezclas especiales o de agregado grueso, además para retardar el fraguado inicial con el fin de que se reduzcan al mínimo las juntas frías. Es importante evitar las dosis elevadas de estos en especial en cementos blancos o amarillos, ya que pueden causar problemas de fraguado, agrietamiento o decoloración. Cuando se ha retardado el fraguado en el hormigón, es necesario considerar en el diseño de la cimbra el efecto de la presión adicionalmente.

En general las **adiciones minerales o las puzolanas** tienen un efecto plastificante sobre el hormigón fresco, se puede adicionar normalmente a hormigones arquitectónicos siempre y cuando no se produzca ninguna alteración perjudicial en el aspecto arquitectónico deseado. Estos aditivos se ajustan a la norma ASTM C 618. De acuerdo a las necesidades puede utilizarse cenizas volantes, las cuales oscurecerán el color de la mezcla y a su vez mejoran la trabajabilidad considerablemente.

Existen dos tipos de agentes colorantes para obtener un hormigón integralmente coloreado: aditivos colorantes y pigmentos de óxidos minerales. El mejor método para lograr un color integral uniforme es a través del uso de **aditivos colorantes**. Estos agentes colorantes son verdaderos aditivos reductores de agua y controladores de fraguado, que cumplen con los requisitos de la norma ASTM C 494.

El componente del aditivo se mezcla con los agentes colorantes finalmente molidos para asegurar la dispersión pareja del color en todo el proceso de mezclado del hormigón, eliminando rayas. Debido a las propiedades del producto, los aditivos colorantes incrementan la resistencia del concreto a todas las edades y mejoran al mismo tiempo las características de trabajabilidad, colocación y acabado. De acuerdo a experiencias pasadas se ha observado que

también reducen el sangrado, la lechada y la eflorescencia, mejorando realmente la calidad del hormigón y suministrando simultáneamente estabilidad de color y resistencia a la decoloración. Estos se formulan y se venden únicamente para uso del hormigón.

Los **aditivos superplastificantes** pueden ser usados para reducir grandemente el contenido de agua de la mezcla de hormigón, sin que afecte el tiempo de fraguado y por el contrario incrementa la trabajabilidad del hormigón para su colocación [21] .

2.4 Pigmentos

Los pigmentos de óxidos minerales son polvos muy finos que se usan también muy frecuentemente en la industria de la construcción para crear hormigón íntegramente coloreado. Estos pueden ser de origen natural o sintético, siendo más conveniente estos últimos por su mayor regularidad, permanencia, poseen tonos más atractivos y mejor comportamiento, estos cumplen con los requisitos de ASTM C 979.

Por lo general se emplean en situaciones donde la igualdad exacta del color y la uniformidad del mismo no son críticos, por ejemplo, para bloques de hormigón, adoquines y tejas para techos.

Varios de los requisitos que deben de cumplir los pigmentos para ser utilizados en las mezclas de hormigón son los siguientes [21]:

- ◆ Poder colorante y regularidad de tono

En general se requiere que el producto confiera el color deseado aplicado en dosis de 1 a 3 % del peso del cemento y no mayor del 5 %, ya que rara vez pasado este valor producen mayor intensidad de color, en tanto que si pasan del 10 % pueden afectar la resistencia mecánica al producir un mayor requerimiento de agua.

- ◆ Mojabilidad y fácil dispersión

Puesto que los pigmentos no se mojan uniformemente o tienden a flotar, es difícil obtener una dispersión apropiada durante el ciclo de mezclado. Esto puede dar como resultado rayas y parches no uniformes en el color.

- ◆ Deben mantener estabilidad a los agentes atmosféricos y a la luz, como también frente a la cal y los álcalis del cemento.

- ◆ Limitado contenido de sales para evitar la eflorescencias.
- ◆ Neutralidad química con el concreto

Su incorporación no debe afectar el fraguado y endurecimiento, ni provocar hinchamientos en el hormigón.

La adición de pigmentos en bruto también eleva la demanda de agua de la mezcla de concreto, reduce con ello su resistencia a la compresión y crea una mayor posibilidad de agrietamiento por contracción. En un intento por remediar esto, con frecuencia se agregan los pigmentos en bruto con aditivos reductores de agua y controladores de fraguado. En estos casos se debe tener en cuenta que esos aditivos podrían traer consecuencias si no han sido formulados específicamente para el hormigón coloreado, por lo tanto se recomienda realizar pruebas para contar con resultados o registros de comportamiento que indiquen la estabilidad del color en el hormigón.

La tabla 6.6.2 del ACI 212-3R contiene un lista de pigmentos que pueden ser usados para conseguir una variedad de colores. En la tabla # 2, [21] tenemos una lista de los pigmentos recomendados para su empleo como colorantes en el hormigón.

Tabla # 2

Colores	Nombre de los pigmentos	Observaciones
Rojo	Oxido férrico Ocre rojo	
Pardo	Oxido férrico Tierra de siena Tierra de sombra	Tierra que conviene evitar
Amarillo	Hidróxido de hierro Cromato bórico Ocre amarillo	Desconfiar del amarillo de zinc
Verde	Oxido de cromo hidratado Oxido de cromo Tierra de Verona	
Azul	Oxido de cobalto Azul cobalto	Evitar el azul ultramar
Violeta	Violeta de manganeso Violeta ultramar	
Blanco	Dióxido de titanio	No usar blanco de zinc
Negro	Oxido de hierro Carbón negro	Varían en tonos de grises a negros

Es importante tomar en consideración las siguientes recomendaciones que se dan para el uso de agentes colorantes o pigmentos en un hormigón visto.

- Para lograr una buena homogeneidad es recomendable dispersar primero el pigmento en el cemento, mezclándolo luego con los áridos para finalmente incorporar agua.

- El pigmento negro de humo es un tanto difícil de manejar, debido a la porosidad de la superficie y a su vez produce varios tonos de negro. El tono del color depende de la cantidad que se emplee de estos materiales. No debe emplearse el negro humo común.
- Se debe determinar los efectos de los pigmentos sobre los requerimientos de agua y de contenido de aire.

2.5 Proporcionamiento

Lo más apropiado para que una mezcla de hormigón logre la resistencia y la trabajabilidad requerida es contar con que un diseño de la misma tenga los porcentajes de cemento, agua, y agregados correctos.

Excepto en el caso de las mezclas hechas con graduación discontinua, las dosificaciones se realizan de la misma manera que para hormigones ordinarios.

Se considera óptimo mantener la **relación agua/cemento por debajo de 0.46 por peso** y además limitar el **revenimiento a no más de 10 cm**. En general, la consistencia del hormigón para cualquier colado debe de ser constante de uno a otro lote, con el propósito de lograr un color uniforme en producto terminado.

Cuando se usen pigmentos minerales es necesario hacer ensayos para garantizar la obtención del color requerido de hormigón una vez que este se endurezca y seque. Debido a la ganancia excesiva de agua en la parte superior de los colados, hay una tendencia al oscurecimiento y un aumento del alveolado, para contrarrestar dicho problema se debe secar los colados de hormigón gradualmente hacia la parte superior para tener como resultado un aspecto más uniforme.

Para hormigones de agregado expuesto, el diseño de mezclas debe ser diferente del hormigón común, a menudo, se requiere el uso de mezclas con graduación discontinua para proporcionar un porcentaje más alto del agregado grueso, con una mejor distribución del mismo en la superficie del hormigón, y obtener así una apariencia más agradable a medida que se expone el agregado. El empleo de un solo tamaño de malla o de una variedad estrecha de tamaño de agregado grueso, con un pequeño porcentaje de arena de hormigón o, a menudo, arena de mampostería para mejorar la trabajabilidad, da como resultado una distribución más uniforme del agregado expuesto.

La relación del agregado fino con el agregado grueso debe ser de 1:2.5 a 1:3, en mezclas de granulometría abierta, y el agregado fino suele ser arena de

mampostería . Esto es necesario para lograr textura y color uniformes cuando se desea una concentración elevada de agregado grueso en la superficie.

Al momento de realizar la mezcla la temperatura juega un factor importante en las características del hormigón, posteriores a la colocación. Está debe mantenerse constante; el rango de temperatura óptima para que un hormigón arquitectónico sea de color uniforme es de 18° a 29°C. Las temperaturas mayores de 27°C producen una elevada velocidad de fraguado, líneas de flujo visibles y juntas frías cuando la programación de la colocación no está coordinada con la producción del concreto [2].

2.6 Transporte y colocación

Esta etapa es el factor principal en la obtención de un hormigón arquitectónico aceptable. Se deben cumplir y seguir cuidadosamente los métodos de transporte y colocación que se indican en el ACI 304, con excepción de alguna que otra modificación con respecto a los hormigones arquitectónicos.

En la transportación, principalmente se debe evitar la contaminación del hormigón arquitectónico con otras mezclas, una solución a esto sería contar con

un equipo bien organizado de transporte. Tal vez la uniformidad del color se vea afectada si alguna parte del equipo a sido sustituida por otra de diferente tipo.

Con respecto al transporte de las unidades prefabricadas hacia la obra, puede ser que el polvo de la carretera cause manchas antiestéticas en la superficie de estas y puesto que muchas veces resulta difícil remover tales manchas, es mejor evitarlas, cubriendo los miembros durante el transporte. El bloqueo y apoyo inapropiados durante el transporte son las causas más comunes de agrietamiento de los miembros.

Los métodos apropiados de colocación no solo prevendrán la segregación y la aparición de áreas porosas, sino que también evitarán el desplazamiento de las cimbras y del refuerzo, asegurarán adherencia firme entre las capas, minimizarán el agrietamiento por contracción de fraguado y producirán una estructura de buena apariencia.

Por otro lado la colocación debe ser suficientemente lenta para permitir una vibración apropiada, y, sin embargo, suficientemente rápida como para impedir las juntas frías. La mejor manera de consolidar o eliminar las burbujas de aire atrapadas en la masa de hormigón es mediante el vibrado.

Generalmente se coloca el hormigón en capas de 30 a 45 cm de espesor, dependiendo del ancho de la cimbra y de la cantidad de refuerzo. El vibrador debe penetrar en sentido vertical hasta el fondo de la capa, a distancias uniformes, preferiblemente por lo menos 15 cm, vibrando un 50 % más del tiempo necesario (de 10 a 30 segundos), este no debe introducirse a menos de 60 cm de cualquier borde principal. A medida que se coloca una nueva capa se revibra la inferior

Algunas veces se emplean mezclas muy densas, como las de granulometría abierta, para producir efectos arquitectónicos especiales. Estas suelen requerir vibradores más potentes y tiempos de vibración más prolongados. En el momento en que el nivel del mortero alcanza la parte superior del agregado debe suspenderse la vibración, para evitar que se formen burbujas en el mortero entre las capas.

Si las cimbras son lo suficientemente rígidas, resultan satisfactorios los **vibradores de encofrados**, estos deben ser capaces de transmitir la vibración en forma más o menos uniforme sobre un área considerable y son fijados firmemente a la cimbra o encofrado. Antes de emplearlos en trabajos importantes deben someterse a prueba.

El revibrado es beneficioso para los últimos metros de la parte superior del colado, luego del sangrado pero antes del fraguado inicial se revibra para darle *más densidad al hormigón y reducir las bolsas de aire y de agua que se encuentra pegadas al encofrado*. En casos de mezclas ásperas, con granulometría abierta para producir un agregado expuesto, no debe emplearse el revibrado. En cuanto a la uniformidad y consistencia del hormigón exigidos para el hormigón arquitectónico, es preferible que haya vibración en exceso y no en defecto [5].

2.7 Curado

Durante el tiempo de fraguado, se produce pérdida de humedad por efecto de la evaporación. Se define como curado al proceso mediante el cual se mantiene un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto, durante la hidratación del cemento, de manera que se desarrollen las propiedades deseadas.

La necesidad de curar el concreto está presente en todo vaciado que se realice. El mantenimiento de la humedad durante las primeras edades del concreto es una condición de la buena práctica constructiva. Por lo tanto, si en un elemento

normal la falta de curado produce problemas, mucho más grave será su ausencia en hormigones especiales como el arquitectónico.

Los métodos utilizados y los tiempos de las operaciones de curado se deben mantener iguales, con el fin de producir un color uniforme en el hormigón. Es necesario evitar cualquier efecto negativo posible, ensayando en un modelo fundido en obra los métodos propuestos. Los procedimientos standard de curado se describen en el ACI 308 [2].

El hormigón que se seca rápidamente será más claro, cuando se evita un secado temprano, el color es más oscuro. Si la aplicación del curado se retrasa, el color variará con el tiempo de dicho retraso y las condiciones climatológicas a las que se exponga el hormigón durante ese periodo.

Generalmente los elementos como vigas, columnas y partes inferiores de las losas son curadas en su cimbra o encofrado. Dependiendo del tipo de material del encofrado, como por ejemplo la madera, hay la posibilidad de que causará manchas a la superficie del hormigón, con el fin de evitarlas se les aplica un sellador líquido, de acuerdo con las indicaciones del fabricante. Es importante reducir al mínimo las variaciones de color producidas por el secado rápido de la

superficie y los cambios bruscos de temperatura, siguiendo las recomendaciones del ACI 306R-88, del ACI 306.1-90 y del ACI 305R-91.

Cuando el curado no es uniforme, el resultado será una decoloración, esto ocurre comúnmente cuando se aplica en forma dispareja una membrana de curado o cuando el papel impermeable o una hoja de plástico que cubre el hormigón, no está traslapado o anclado apropiadamente alrededor de los bordes. En cada caso podría haber un secado y una velocidad de hidratación no uniformes.

Al utilizar el método de curado húmedo, hay que tener cuidado de que el agua no manche. Para el hormigón que contiene cloruro de calcio, se recomienda especial atención cuando se use una hoja de plástico para el curado, ya que es vulnerable a una decoloración moteada de la superficie. En general para evitar la decoloración, la hoja plástica tiene que estar bien ajustada contra la superficie del hormigón en todos los puntos o completamente estirada, sin arrugas en el plástico. Una cubierta arrugada produce puntos claros y oscuros.

Cuando se usa curado mediante membrana, es preciso hacerlo con material incoloro, generalmente de tinte fugitivo. También pueden ser los compuestos de membrana líquida causantes de manchas y decoloraciones, para prevenir estos

problemas es conveniente consultar al fabricante respecto al efecto que sus componentes pueden tener en dicho trabajo, el material debe ser ensayado sobre una superficie que no vaya a quedar expuesta, para asegurarse de la calidad del mismo.

El clima es un factor muy importante en el proceso de curado, sea caliente, seco o con mucho viento. Razón por la cual el curado debe iniciarse lo más pronto posible y aún en ciertos casos antes de completar el colado del hormigón arquitectónico, con el fin de evitar las variaciones de color debido al secado irregular y para evitar el agrietamiento por contracción plástica.

Para hormigones arquitectónicos de agregado expuesto el proceso de curado debe hacerse por encharcamiento o por otros métodos de curado húmedo. Fijándose siempre que el mojado sea uniforme, sin dejar que un área se seque antes que otra. Nunca para este caso debe emplearse compuestos líquidos de curado por aspersión, ni considerar cualquier otro aditivo que no sea el de inclusión de aire [5].

CAPITULO III

CIMBRAS

3.1 Aspectos Generales

El tratar de resaltar la importancia del encofrado o la cimbra en la elaboración de hormigón arquitectónico es fundamental, ya que las posibilidades de éxito o de fracaso muchas veces dependen del mismo. La disposición de los tableros y resaltes verticales u horizontales, la prevención y distribución de las juntas, la presencia o ausencia de relieves, etc., son detalles que deben cuidarse al extremo y estar impuesto a priori por el ingeniero o arquitecto y de ser posible,

mediante planos diseñados y acotados al efecto, para su correcta interpretación y ejecución.

En general, la cimbra es el molde temporal dentro del cual se coloca el hormigón y es aquí donde se compacta por diversos medios, de manera que el acero quede totalmente recubierto y protegido. El molde debe contener la masa de hormigón sin filtraciones y sin distorsiones mayores que las admisibles. Además de soportar las presiones que se ejercen en el proceso de colocación del hormigón y las cargas presentes durante la construcción, la cimbra debe también proteger al concreto durante el colado y soportar el peso hasta que este adquiera la suficiente resistencia para contribuir estructuralmente. Una vez alcanzada esta etapa, el molde debe ser tal que permita ser removido para usarse posteriormente en otras obras.

El hormigón arquitectónico requiere cimbras más herméticas y mejor fabricadas que las que generalmente se usan en el hormigón estructural, sin embargo, el diseño estructural de estas cumple los mismos requisitos que se exigen para cimbras de otras construcciones de hormigón. Las cimbras para hormigones arquitectónicos deben tener la suficiente rigidez para minimizar las deflexiones y hacer que las variaciones en la superficie plana sean menos evidentes.

Las consideraciones básicas para elegir la cimbra son: si es o no absorbente y si la absorción será uniforme. Otros factores necesarios son la inventiva, los conocimientos y la capacidad del contratista para interpretar los parámetros y seleccionar el sistema con que mejor se logre el resultado deseado dentro del presupuesto del propietario. Los materiales, las texturas y patrones del recubrimiento de la cimbra o encofrado están gobernados primordialmente, bien sea por requisitos directos de la especificación o por los prescritos para producir superficies que se ajusten la maqueta elaborada con anterioridad a la construcción [8].

3.2 *Materiales*



Hay una variedad de materiales útiles [10] para la cimbras y/o forros, entre estos se incluyen la madera, el plywood, los metales como: aluminio, acero, magnesio, el plástico reforzado y sin reforzar, los moldes desechables de yeso y los forros de hule. Como es de esperarse cada uno de estos materiales tienen sus ventajas y también algunos inconvenientes que los limitan.

La madera, que es un material tradicionalmente usado para la construcción de cimbras y moldes, puede trabajarse y comprenderse fácilmente. Las diferentes texturas que transmite al hormigón se debe a la madera puede tener una

superficie lisa, o puede estar aserrada con acabado rugoso o sopleteada con arena.

La madera es muy absorbente, para lo cual se recomienda aplicar un sellador a la superficie, con el objeto de reducir la absorción. Esto es importante cuando se utilizan piezas de madera cortadas para obtener elementos de hormigón con las huellas de la cimbra. Las diferencias de absorción producirán una disminución en la relación agua/cemento, lo que a su vez causa alteraciones permanentes en el tono o color del hormigón descimbrado, volviéndolo de un color más oscuro en la superficie.

A medida de la utilización de la madera, el efecto de oscurecimiento en la superficie de hormigón va disminuyendo, es así que si se compara el color del hormigón desde el primer uso de la cimbra hasta el último hay una diferencia considerable.

Como se sabe, la madera es una sustancia orgánica natural, por lo que dichas sustancias pueden dar como resultado superficies de hormigón más oscuras y también causar empolvamiento.

Las características de descimbrado de la madera dependerán de la clase de madera, del tiempo y las condiciones de exposición durante su almacenamiento, así como de otros factores.

Por lo general , la madera se utiliza pocas veces debido a que tiene poca durabilidad, que puede duplicarse si se forra interiormente con chapas o láminas de acero, además tiene inconvenientes como por ejemplo, que sus dimensiones no son estables debido a las variaciones volumétricas de la madera, al desajuste de los sistemas de fijación, el número elevado de clavos, refuerzos y rigidez que implica, la mano de obra que requiere y los muchos desperdicios de la madera debido aun sobre dimensionamiento en buen número de elementos.

Sin embargo, la madera también presenta una serie de ventajas en el uso de cimbras como por ejemplo; que permite la fabricación de encofrados a un costo relativamente económico; la exclusiva ejecución de piezas con formas geométricas complicadas y pequeñas; el poder aislante ventajoso en tiempo frío, pero inconveniente en tiempo de calor, aún cuando el regado en verano no crea ningún problema; y permite gran evacuación de aire, gracias a su porosidad.

Es aconsejable obtener la madera para la cimbra de la misma fuente de aprovisionamiento, para lograr un color uniforme en la superficie del hormigón.

El plywood, proporciona muchas ventajas al diseñador de cimbras. Los tamaños estándar de las láminas reducen las juntas en las superficies de recubrimiento, a la vez que las juntas a prueba del intemperismo y de altas temperaturas proporcionan suficiente resistencia al calor y a la humedad, lo cual hace del plywood un material apropiado para todas las aplicaciones de cimbra, incluso las más delicadas.

El plywood tratado con resinas fenólicas, proporciona un superficie uniforme y casi impermeable. El sopleteado con arena sobre la superficie del plywood proporcionará una textura de fibra rugosa al hormigón.

El acero, como material de cimbra para hormigones arquitectónicos presenta dos ventajas: es impermeable y proporciona un color uniforme al hormigón. Sin embargo, es necesario el uso de un agente descimbrante que contenga un inhibidor de corrosión, para evitar que aparezcan manchas.

El revestimiento de acero debe ser: limpiado con ácido a fin de eliminar la escama de laminación cuando se va colar cemento blanco o de color claro y bastante grueso para soportar la carga entre sus elementos de apoyo con el fin de mantener las deflexiones dentro de los límites aceptables. Por otro lado, la

cimbra de acero galvanizado puede causar adherencia del hormigón, por lo tanto, debe evitarse su uso.

Las aleaciones de aluminio y magnesio, dan buenos resultados cuando son compatibles con el hormigón. Los antecedentes de uso de estos materiales con la misma mezcla de hormigón, la misma cimbra e iguales condiciones de curado, son el mejor y único indicador que se conoce de la compatibilidad.

Los plásticos, gracias a su superficie impermeable y su capacidad de ser moldeados con cualquier patrón o textura, desempeñan un papel importante en la práctica del cimbrado del hormigón arquitectónico. No causan la decoloración que es tan común con la mayoría de los materiales para cimbra del tipo absorbente. Son empleados para obtener superficies brillantes de hormigón, que deben tratarse con precaución, pues expuestas a la intemperie, pierden el brillo debido a los efectos de humedecimiento y secado, así como de congelación y descongelación.

Los plásticos pueden ser: reforzados y no reforzados

1.- Los plásticos reforzados contienen fibra de vidrio en diversas formas, para incrementar la resistencia a la flexión de los materiales resinosos. Para hormigones arquitectónicos estos plásticos tienen buena aceptación.

2.- Los plásticos no reforzados pueden obtenerse en forma de hojas con superficie lisas o texturizadas las cuales se transfieren al hormigón y cambian la apariencia de la superficie del mismo. Son empleados generalmente como forros con un sistema de cimbras para ajustarse a todos los requisitos estructurales de contención del hormigón.

El hule, especialmente preparado para vaciados se derrite dos veces y en su estado líquido se vacía en patrones o matrices hechos de distintos materiales. Los moldes de hule se emplean cuando se han de colar formas complicadas y cuando se tienen que reproducir esculturas o detalles clásicos. Debido al costo inicial del material, se suele usarlo en combinación con algún mortero u otro material secundario de moldeo en forma de recipiente, que resulte apropiado.

Existe un sistema comercial que consiste en el uso de una película de hule muy delgada que se estira al vacío sobre un molde o sobre la superficie de una cimbra; después del colado, el molde o la cimbra pueden desprenderse inyectando aire a presión. Con esta técnica, la textura que resulta es elegante y se eliminan muchos de los defectos que aparecen cuando se cuelan formas complicadas aplicando técnicas más convencionales.

Los moldes de yeso, se utilizan para ciertas peculiaridades y detalles arquitectónicos, como nichos, pequeños domos, etc., el yeso puede sobreponerse al perfil usando plantillas de zinc reforzadas con marcos de acero o de madera. El hormigón se cuela sobre estos moldes y después se rompe el yeso y se retira de la superficie de hormigón terminada. El uso de un aditivo desmoldante asegurará un desprendimiento impecable. Es obvio que los moldes de un solo uso son relativamente costosos y deben emplearse sólo para un cimbrado que no se tenga que repetir o cuando no es posible cimbrar formas complicadas mediante métodos más comunes.

3.3 Costos

Los costos de los materiales de cimbrado son tan elevados que las mejores ganancias se obtienen del tiempo y del dinero empleados en la planeación de métodos, para así lograr un uso repetitivo de las cimbras, al mismo tiempo que se evitan daños en la estructura debido a cargas imprevistas de los elementos, daños mecánicos o por congelación.

La complejidad de los volúmenes y la elaboración de las superficies, no son siempre más costosas. Debido a que una cimbra puede servir muchas decenas de veces, necesitando modificaciones mínimas, esta parte del costo de la obra

especificado como desfavorable , se distribuye en la totalidad de la obra de tal manera que el costo de la originalidad estética está en función del rendimiento de la cimbra.

Los factores que determinan el costo de la cimbra van de acuerdo con el proceso de elaboración hasta el descimbrado y deben ser analizados de manera individual.

1.- El costo de los materiales de la cimbra; cuando se usan materiales inadecuados para la construcción de la cimbra, ya sea que carezca de un control correcto de los pedidos de materiales o que haya retraso en la devolución de equipos patentados, esto puede ocasionar gastos superfluos que tienen un efecto adverso sobre el costo de la cimbra. Así, una de las medidas más importantes que puede tomar el director para controlar el costo consiste en una buena planeación para evitar toda clase de gastos innecesarios.

2.- El costo de la colocación de la cimbra;

3.- El costo del descimbrado; se puede hacer una comparación de costos para la colocación de la cimbra y el descimbrado para varios diseños, los cuales se estiman sobre las horas-hombres por pie cuadrado, en base a experiencia con tipos similares de formas y a un detallado análisis del tamaño de la cuadrilla, operaciones especificadas y del tiempo requerido desde que se inicia el descimbrado hasta que este preparado para la próxima colocación. El tiempo

total en horas multiplicado por el número de hombres de la cuadrilla nos da el total esperado en horas-hombres. El área de contacto formada en cada colocación, dividida para el estimado de horas-hombre nos da una relación de producción en pies cuadrado/horas-hombre. Esta cifra debe considerar condiciones promedio sobre un periodo representativo.

4.- Las consideraciones especiales para cumplir con los requisitos de seguridad ocupacional y administración sanitaria, referentes al andamiaje y otros aspectos.

Es importante la fijación de dichos costos por separado, de manera que el ingeniero diseñador determine la forma en que afecta la reutilización de la cimbra al costo total.

3.4 Juntas

Las juntas en la cimbra son de vital importancia en las obras de concreto arquitectónico, porque una junta, dondequiera que esté, se la refleja en las superficies aparentes. El uso de las juntas con entrecalles es la manera más sencilla y práctica de ocultar estas marcas que son estéticamente objetables. La entrecalles deben existir en todas las juntas de construcción y de control, y

deben incluirse como una característica arquitectónica de la estructura terminada.

Principalmente debe prevenirse los escurrimientos que se dan cuando se permite que el agua que contiene el cemento se escurre en la cimbra, el resultado de esto será [13]:

- * variaciones de color y textura
- * una mancha en la superficie
- * una superficie rica en agregados, que con el tiempo puede causar la decoloración, aún después del tratamiento adicional de la superficie
- * un aspecto más oscuro, que deriva de la menor disponibilidad de agua para la hidratación

Las juntas de la cimbra pueden hacerse hasta cierto punto a prueba de escurrimiento de lechada, por diversos métodos como:

- * mojando la madera desde varias horas antes del colado, a fin de que se expanda,
- * cerrando las juntas mediante cimbras forradas con un material de revestimiento por separado

- * alternando las juntas de la cimbra con las de la estructura, mediante el empleo de empaques de hule comprimibles sensibles a la presión colados entre las cimbras
- * el calafateo de la superficie con refuerzo de tiras de madera.

En el caso de una remoción de la superficie, como sopleteado mediano con arena, puede emplearse una cinta sensible a la presión en la parte interior de la cimbra. Siempre y cuando se tenga mucho cuidado con los desplazamientos de la cinta en el momento de la colocación del hormigón, ya que podrías causar defectos difíciles de reparar. Con la ayuda de goma se estabiliza la cinta y se evita los movimientos.

Las rebabas son salientes delgadas de hormigón endurecido que se proyectan desde la cara del muro. A pesar de que pueden desprenderse o pulirse al ras, es preferible evitarla, ya que la reparación produce un aspecto desigual de la superficie acabada y tal vez, manchas debidas a la eflorescencia de las rebabas. En otros casos las rebabas sirven para crear efectos específicos de diseño, como un lomo pulido o de acabado rústico.

3.5 *Accesorios y selladores*

El ACI 303 [2] , proporciona ciertas recomendaciones en cuanto al uso de accesorios y selladores de la cimbra para hormigones arquitectónicos.

Amarres:

1.- Los amarres recomendados para cimbras no deben dejar ningún metal corrosivo a menos de 4 cm de distancia de la superficie terminada, se los ubica por grupos:

- a) Amarres de elementos simples y continuos para espesores específicos de muros y características positivas de hendiduras.
- b) Amarres de pernos hembras en partes del muro donde se deja una pieza macho interior con rosca, y los dispositivos exteriores de sujeción se quitan y se vuelven a usar.
- c) Amarres de perno macho donde los dispositivos exteriores de sujeción son reutilizables, con una unidad hembra con rosca, sacrificable, que se deja dentro del muro.

2.- Los requisitos de descimbrado y acabados tempranos pueden determinar el sistema de amarres de la cimbra.

3.- El espaciamiento de los amarres depende de su resistencia, la resistencia de la cimbra, la velocidad de colado, la deflexión permisible y los requisitos arquitectónicos.

4.- Los amarres están disponibles por su resistencia, en diferentes categorías. Las resistencias se eligen para igualar el diseño de la cimbra, el espaciamiento arquitectónico deseado y la velocidad de colocación.

5.- Cada tipo de amarre deja un agujero característico. Los amarres de resorte de alambre dejan agujeros pequeños, de aproximadamente 6 mm de diámetro y con profundidad nominal de 25 mm. A veces se disponen como cribas de madera o de plástico para expresiones arquitectónicas o cuando se requieren hendiduras más profundas, hasta de 50 mm. Los conos incrementan el diámetro del agujero hasta 25 mm y se emplean para reducir el escurrimiento de lechada en las partes en que el amarre pasa a través de la cimbra. El agujero característico de los pernos hembra depende de la clase de resistencia de los amarres, que tienen diámetros del orden de 20 a 40 mm. Los pernos macho requieren de un cono, por lo que existe un recubrimiento de hormigón cuando se dejan en el muro. Estos conos pueden ser de 25 a 50 mm de diámetro. Los amarres de tracción pueden ser de 10 a 40 mm de diámetro y dejan un diámetro similar al de la varilla, que atraviesa por completo el muro.

Los amarres de resortes (sin conos ni otros sellos especiales) no son los más adecuados para hormigones arquitectónicos, ya que presentan un aspecto rústico, sin acabado.

La remoción de los amarres también requiere de ciertos cuidados, en vista de que podrían causar defectos en las superficies de hormigón. Al respecto el ACI 303 recomienda:



- ✓ Los amarres deben ser retirados lo más pronto posible después del descimbrado. Una vez que se lleva a cabo la remoción de la cimbra, los amarres sin recubrimiento o los que tienen tendencia a manchar deben romperse pronto, y los extremos que queden en el hormigón deben tratarse para evitar las manchas de óxido.
- ✓ Los amarres de resorte de acero inoxidable son los que presentan menos problemas de manchado y se cortan por lo menos 25 mm más adentro de la superficie terminada.
- ✓ Los amarres con recubrimiento plástico deben romperse y sus extremos debe ser tratados para evitar las manchas que produce la corrosión.

✓ No debe emplearse amarres de alambre torcido, ya que es casi imposible lograr una superficie que dure mucho tiempo sin manchas si no se cortan dentro del muro los extremos ahogados y se resanan después en un área más bien grande.

✓ Para reducir el descascaramiento, la remoción de los conos debe postergarse hasta que el hormigón tenga la resistencia adecuada. Una vez retirados los conos, el extremo del amarre debe recubrirse inmediatamente con mortero fresco apisonado o tapar con taquetes estándar.

Selladores:

Los selladores para cimbras [2] se aplican en forma líquida sobre las superficies de contacto, ya sea durante su manufactura o en campo, para uno o más de los siguientes propósitos:

- 1.- Protegen y prolongan la vida útil de la parte de la cimbra de madera o plywood que estará en contacto con el hormigón.
- 2.- Evitar variaciones de color y empolvamiento de la superficie de hormigón.
- 3.- Alterar la textura de las superficies de contacto.
- 4.- Facilita la separación del hormigón durante el descimbrado.

5.- Ayudar a obtener un espesor uniforme de la superficie de nivelación cuando se emplee un retardador de hormigón superficial.

6.- Evitar la corrosión en cimbras de cara de acero.

La selección de un sellador para cimbra depende de varios factores como: del material con que ésta se haga, de las características requeridas de la superficie de hormigón, de cuantas veces se utilizará la cimbra y del ambiente que la rodea durante el uso. Sin embargo, la experiencia es la norma más creíble y valiosa para la evaluación y selección.

3.6 Agentes desmoldantes

La apariencia del concreto depende de la naturaleza de la superficie de contacto de la cimbra y del método empleado para el descimbrado de tal manera que la selección y aplicación de aceites y aditivos desmoldantes requieren de un cuidado especial. Dicha selección depende de varios factores [8]:

- ▶ Compatibilidad del agente descimbrante con el material o sellador de la cimbra.
- ▶ Posible interferencia con la última aplicación de otros materiales de construcción sobre el área de contacto con la cimbra.

- ▶ Decoloración y manchado de la superficie de hormigón.
- ▶ El efecto del tiempo de descimbrado sobre la facilidad para descimbrar y las manchas.
- ▶ El efecto del clima en la facilidad de descimbrar.
- ▶ Uniformidad de comportamiento.
- ▶ Cumplimiento de los reglamentos ambientales de la localidad.

De preferencia para todas las condiciones en que el acabado sea aparente, el aditivo desmoldante proporciona una capa impermeable entre la superficie de la cimbra y el hormigón. Este recubrimiento ya sea barniz de poliuretano, una pintura a base de goma, o una goma laca, proporciona la base sobre la cual se aplica el agente desmoldante o el aceite, de tal manera que pueda contrarrestarse una perforación o un daño imprevisto. Por supuesto es necesario que la cimbra presente una superficie uniforme, con el propósito de evitar una variación del color en el acabado.

Los diversos tipos de agentes descimbrantes pueden clasificarse de acuerdo a su influencia característica en la superficie de hormigón, independientemente de la marca patentada:

- a) Los aceites genuinos (puros) son de origen mineral, vegetal o animal (de pescado) y no están mezclados con agentes naturales o sintéticos activos de la

superficie. Las superficies de hormigón pueden presentar más alveolado, pero tienden a ser más uniformes en cuanto al color.

Cuando se usan en exceso, los aceites a base de petróleo con excepción de las lacas, estos pueden penetrar en la superficie de hormigón y causar manchas evidentes, reducción de la durabilidad de la misma, debido a la reacción química entre los componentes secundarios del aceite y los álcalis de los cementos y adherencia defectuosa a otros materiales.

b) Los aceites puros que contienen hasta un 2% de agentes emulsificantes o humectantes, producen superficies de hormigón con menos alveolado y menos diferencias de color. Una cantidad excesiva o una aplicación desigual del producto pueden causar retardo o coloraciones distintas. La distribución irregular del emulsificante en la mezcla afectará el color de la superficie de hormigón. El porcentaje de emulsificante en emulsiones de agua en aceite es un valor crítico, y la emulsión debe utilizarse tal como se vende, sin diluir. Dichas emulsiones fueron desarrolladas en principio, para utilizarse con cimbras de madera, y deben formularse especialmente para usarlas en cimbras de acero.



c) Las ceras insolubles en agua utilizadas como agentes descimbrantes tienen excelentes características desmoldantes, pero su aplicación está limitada por la temperatura tanto del ambiente como de la cimbra que sea superior a 10°C (50°F). La cera común es difícil de aplicar de manera uniforme. Las ceras emulsificadas (solubles en agua) pueden aplicarse con brocha, con rodillo o mediante aspersion sobre la cimbra.

d) Cuando se aplican recubrimientos volátiles se emplea una ligera base de parafina o nafténica sin refinar como vehículo para los otros componentes, tales como ceras, silicones, resina sintéticas y aún jabones insolubles en agua. Puesto que el vehículo se evapora, no existe el riesgo de que se manche la superficie o de que aparezcan defectos mecánicos si se aplica de manera uniforme y con limpieza. Cabe señalar que esta solución suele ser costosa y no es un descimbrante tan eficaz como los otros.

e) Los aditivos descimbrantes químicamente activos contienen compuestos que reaccionan con la cal libre presente en el hormigón fresco y producen jabones insolubles en agua, impidiendo la formación de una película superficial en la entrecara cimbra-hormigón. Estos jabones son muy resbalosos y ayudan a reducir las cavidades de aire en la superficie de la cimbra mientras están húmedas y actúan como agentes descimbrantes al

secarse. Se obtiene superficies muy uniformes en cuanto a color y tienen un acabado liso o mate. La aplicación de agentes químicos debe ser muy cuidadosa, ya que producen considerable empolvamiento y decoloración de la superficie de hormigón cuando se rebasan los límites de las recomendaciones de los fabricantes. Son ventajosos con respecto a los aceites porque permanecen activos más tiempo de que los aceites normales han sido absorbidos o se han evaporado de la superficie de la cimbra.

f) Otros agentes descimbrantes que no pueden estar dentro de las categorías anteriores deben ser cuidadosamente evaluados antes de ser usados.

Existe cierta influencia de los materiales de la cimbra con el comportamiento de los agentes descimbrantes, razón por la cual deben ser seleccionados de acuerdo al material elegido para elaborar la cimbra, el ACI 303 recomienda para los diferentes materiales lo siguiente:

Cimbras de madera y de plywood: es preferible sumergirlas en agua en vez de emplear agentes descimbrantes, pero es difícil hacerlo en obra. Se aplica aceites comerciales que son capaces de penetrar en la madera, dejando la superficie ligeramente grasosa al tacto, pero sin exceso de aceite. Y el efecto sobre el color del hormigón es menor, al igual que la adherencia.

Cimbras metálicas: para el acero los agentes descimbrantes deben contener un inhibidor de corrosión y deben estar libres de agua. Para el aluminio, se usa las emulsiones de lanolina, aceite de palma u otros aceites. En el caso de superficies ásperas en las cimbras de acero pueden acondicionarse contra la adherencia frotándolas con una solución líquida de parafina en queroseno o limpiarse y lubricarse con aceite no secante y exponerse después al sol durante uno o dos días.

Cimbras de plástico reforzado con fibras de vidrio o los forros de plástico para cimbras: pueden usarse sin emplear agentes descimbrantes, gracias a sus acabados duros y uniformes, sin embargo, después de varios usos, estos materiales se hacen ásperos y sí requieren el uso de un agente descimbrante. Este puede ser una emulsión de base oleosa o una cera casera de alta calidad, o también un aceite similar al combustible diesel que no manche.

Cimbras de hule: no requieren de agentes descimbrantes cuando están totalmente limpias y han sido humedecidas con agua antes de colocar el hormigón. Sin embargo, es preferible recubrir el hule con una delgada película de aceite de ricino, aceite vegetal, lanolina o emulsión de cera en agua. No deben emplearse ni aceites minerales, ni agentes descimbrantes a base de solventes oleosos, ni cera de parafina, pues reblandecen el hule.

Cimbras de espuma plástica: como el poliestireno, se ven afectadas por los solventes de petróleo. En este caso deben someterse a prueba los agentes descimbrantes a base de agua o de aceite de parafina.

Cimbras de hormigón: a pesar de estar enrasadas, uniformes y pulidas requieren de un agente descimbrante como los aceites de petróleo ligeramente coloreados o emulsiones de aceite. También pueden recubrirse con una o dos capas de resina epóxica para luego encerarse. No se debe usar el aceite saponificable.

Moldes desechables de yeso: siempre y cuando estén completamente secos, se puede aplicar dos capas de laca blanca en la superficie, con el propósito de impermeabilizarlos e impedir la absorción. Antes de la colocación del hormigón, el molde de yeso debe cubrirse con una ligera capa de grasa lubricante blanda amarilla, que no manche, o con una grasa lubricante adelgazada hasta un punto en que pueda aplicarse con brocha, mediante la adición de una mezcla de queroseno y ácido esteárico cristalizada.

Los agentes descimbrantes se utilizan primero en maquetas o en superficies no expuestas para determinar su comportamiento, antes de hacerlo sobre las superficies expuestas. Para lograr un comportamiento satisfactorio se requiere

una aplicación apropiada, de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes con respecto a la velocidad de aplicación, que depende del tipo de agente descimbrante y las condiciones de la superficie de la cimbra, la cual de estar completamente limpia; y al método de empleo óptimo por la uniformidad que se obtiene en la capa de recubrimiento y por su bajo costo.

3.7 Descencofrado

La remoción cuidadosa de la cimbra tiene especial importancia en el caso de hormigón arquitectónico para impedir daños, tanto a la superficie ordinaria como a cualquier diseño superficial intrincado, con el objeto de obtener una superficie aceptable. Es por esto, que el hormigón debe tener una resistencia mayor la especificada para el descimbrado, ya sea mediante el diseño de la mezcla o dejando el elemento en la cimbras por más tiempo. Se debe establecer un balance entre estas dos soluciones, ya que sin un diseño adecuado de la mezcla el hormigón puede presentar agrietamientos [2].

Normalmente se recomienda no utilizar cuñas, y cuando se debe de usarlas estas no deben ser metálicas. Una vez retirada la cimbra o encofrado, el hormigón debe protegerse para impedir cualquier daño, incluyendo las operaciones normales de construcción.

El tiempo de descenofrado tiene un marcado efecto en el acabado de la superficie del hormigón. En el caso de hormigón blanco o de colores, es preferible mover las cimbras de las superficies semejantes al cabo de periodos de tiempo similares, ya que puede esperarse distintos tonos en dos superficies de hormigón en las que las cimbras adyacentes han sido retiradas a diferentes edades.

Las esquinas y líneas con bordes agudos requieren de una atención especial al retirar la cimbra, ya que a edad temprana corren el riesgo de que se descascaren. En general los procedimientos de descimbrado deben cumplir con la norma del ACI 347, que exige uniformidad en todas las operaciones para obtener los mejores resultados.

Las superficies de hormigón deben permanecer protegidas mientras continua el proceso constructivo, debido a que las condiciones ambientales, los cambios de temperatura y las operaciones normales de construcción pueden alterar su calidad final.

Los cambios bruscos de temperatura en el hormigón pueden causarle daños inesperados a este. Esto suele ocurrir particularmente cuando se ha empleado retardadores de superficie en secciones grandes y agua entubada fría a presión,

para lograr la exposición del agregado. De acuerdo con la norma ACI 306, cuando se protege al hormigón de temperaturas muy bajas la velocidad de enfriamiento debe ser gradual y no exceder de 22°C (40°C) durante 24 horas después de cesar la aplicación de calor. El agrietamiento de la cimbra desde la superficie del concreto ha logrado con éxito dicha velocidad de enfriamiento y ha minimizado la ocurrencia de agrietamiento en forma de mápa causada por el choque térmico.

La uniformidad de la superficie de hormigón arquitectónico también depende de los selladores de la cimbra y los agentes descimbrantes utilizados, los cuales deben ser semejantes en cantidad y tipo, y además del mantenimiento y limpieza cuidadosa de la cimbra.

CAPITULO IV

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

4.1 Criterios generales de diseño

Los criterios generales de diseño que se aplican en hormigones arquitectónicos prefabricados, así como los hormigones arquitectónicos moldeados in-situ [17], consideran los principales aspectos para lograr una perfecta armonía y lograr la mayor eficiencia al producir edificios resistentes a cargas , esfuerzos y al medio que los rodea. Sin embargo, se debe considerar la posibilidad de que algunos detalles no cumplan con los requisitos.

Los siguientes son algunos ítems típicos de diseño que hacen difícil lograr una apariencia agradable y que se los debe considerar importantes en el momento se diseñar: paneles grandes de superficies planas, sin separación de juntas visibles, fajas rústicas, patrones o superficie con textura; empleo de hormigón blanco o de color en paneles grandes de superficies planas sin interrupciones; uso de hormigón que requiere pigmentos de coloración cuando el que viene a la obra procede de una planta de hormigón premezclado comercial que está sirviendo simultáneamente a otros clientes; y el uso innecesario de diseños complicados, particularmente con detalles frágiles en el miembro, propenso a rotura durante la remoción de cimbras y las operaciones subsecuentes.

4.2 Acero de refuerzo

Es importante la ubicación del acero de refuerzo para facilitar la colocación del hormigón y para reducir la posibilidad de que aparezcan manchas de corrosión, la distancia mínima libre entre las varillas y el recubrimiento mínimo para vigas, según se permite en el Reglamento ACI 318, debe incrementarse a los siguientes valores [2]:

- a) La distancia libre horizontal entre varillas debe ser de 5 cm, 1.25 veces el diámetro de la varilla, o 1.75 veces el tamaño máximo de agregado, lo que sea mayor.

b) La distancia horizontal libre entre varillas y la cimbra debe ser de 5 cm, 1.25 veces el tamaño de la varilla, o 1.5 veces el tamaño máximo de agregado, lo que sea mayor. Cuando se emplean listones biselados, el recubrimiento mínimo especificado en el Reglamento ACI 318 es adicional al peralte de la tira. En el caso de remover la superficie mediante tratamiento después del descimbrado, como el martelinado, debe suministrarse más recubrimiento.

Las disposiciones del Reglamento ACI 318 son aplicables, excepto por que queda modificado en los incisos a) y b) anteriores.

En algunas ocasiones se utiliza refuerzo con revestimiento para impedir la oxidación. En cuanto sea posible, hay que evitar que los apoyos del refuerzo se localicen en sitios adyacentes a superficies expuestas. Si es necesario usar apoyos en tales superficies, estos deberán hacerse de plástico, de bloques prefabricados de hormigón, o de acero inoxidable, para asegurar la ausencia de manchas de corrosión en la superficie. Cualquier recubrimiento plástico debe ser investigado en cuanto a su durabilidad si va a quedar expuesto a la intemperie o a la luz del sol.

Los alambres de amarre del refuerzo deben ser de acero inoxidable suave preferentemente. Los mismos que serán doblados hacia el interior del hormigón.

4.3 Tolerancias

Las tolerancias deben ser establecidas como parte del diseño del hormigón arquitectónico, que incluye: tolerancias de los productos, tolerancias en el moldeo y/o erección del elemento y tolerancias en la interface [17].

Las principales razones que se consideran para establecer las tolerancias serían las siguientes:

- 1.- Estructural: para asegurar que es diseño estructural cuente apropiadamente con factores sensitivos para variaciones en el control dimensional. los ejemplos incluyen una condición de carga excéntrica, áreas de sostén, localización de anclaje y localización de acero de refuerzo y acero pretensado.
- 2.- Ejecución: para asegurar una aceptable perfomancia de las juntas y en la interface de los materiales de la estructura acabada.
- 3.- Visual: para asegurar que las variaciones sean controlables y que resulten de manera agradable como estructura.
- 4.- Económico: para asegurar una producción con rapidez y tranquilidad.
- 5.- Legal: evitar la usurpación de las líneas de propiedad y establecer un estándar con el cual el trabajo puede ser comparado en el evento de una disputa.

6.- Contractual: establecer un rango conocido de aceptabilidad y también para establecer responsabilidad para el desarrollo, logro y el mantenimiento de tolerancias mutuamente acordadas.

4.4 Juntas

Las juntas de construcción son necesarias para dividir la estructura en segmentos que puedan construirse de manera lógica y a su eficaz.

Los criterios que se deben considerar en el diseño de juntas incluyen [17]:

- 1.- Requerimientos estructurales
- 2.- Apariencia arquitectónica
- 3.- Función de la construcción
- 4.- Exposición (orientación y condiciones climáticas)
- 5.- Factores económicos

Por otra parte detalles como el ancho, tipo, localización, número, selección de materiales y tratamiento arquitectónico para las juntas son decisiones que se toman con respecto a los criterios de diseño.

Los diferentes tipos de juntas se utilizan de acuerdo al elemento que se construya, para el caso de muros y pisos se requieren juntas de control con el objeto de regular y localizar agrietamientos y separación debido a cambios de volumen.

Las juntas de aislamiento se utilizan en los pisos para separarlos de los muros, las columnas u otros elementos estructurales que ofrecen restricción al movimiento. Para tratar arquitectónicamente estas juntas cuando se unen superficies en un mismo plano, el método más sencillo y práctico son los listones biselados, tomando en consideración que estos reducen el tamaño efectivo de los elementos como el recubrimiento sobre el acero de refuerzo. Para lo cual, debe proveerse recubrimiento adicional que compense esta falla. Cuando la estructura es grande o tiene cambios drásticos en su masa o exposición, debe considerarse su división en unidades más pequeñas o aisladas mediante la separación real o de juntas de expansión.

CAPITULO V

ACABADOS

5.1 Aspectos generales

Los factores primordiales a considerar en el momento de seleccionar entre las diferentes posibilidades de acabados son [6]:

- Factores económicos, que implican un mayor o un menor costo según el material y el acabado que se quiera dar a la fachada.
- Aspectos constructivos tales como la facilidad de utilización y rendimiento.
- Aspectos funcionales como la factibilidad de aplicación.

- Conocimiento de las diversas posibilidades y alternativas, para no descartar ninguna falla de información.
- Aspecto relacionados con la selección de acuerdo al gusto o preferencias personales.

En lo referente a las fachadas, se presenta en el medio una variedad de materiales con características propias y diferentes métodos de colocación, mantenimiento, etc., con ventajas relativas según la configuración, textura y color. Para los criterios de selección de un determinado tipo de acabado final para la fachada de alguna edificación, debe abarcar otros aspectos tales como los suministros, la adaptabilidad del material a la fachada, la durabilidad, el mantenimiento, los costos, etc., y al mismo tiempo las condiciones arquitectónicas de cada proyecto.

De igual manera cuando se vaya a tomar la decisión de algún acabado, se deben considerar tanto el lugar como las condiciones propias de exposición. Conviene tener muy presente los efectos visuales y las texturas deseadas, determinando con precisión desde que distancia van a ser apreciadas y los niveles reales de iluminación e intemperismo que tendrán, para no buscar unos grados de detalles que posteriormente no serán identificados en la obra u obtener unos acabados que varíen bajo las condiciones atmosféricas.

5.2 Tipos de acabados

Se presentan dos posibilidades pudiendo ser procesos con acabado directo, que obtienen la forma directamente de la cimbra, o procesos con acabado indirecto, los cuales requieren de otra actividad adicional luego de ser descimbrados [6].

Acabados Directo: Estos engloban las texturas obtenidas por la aplicación de encofrados o cimbras cuya superficie imprima desde el momento del vaciado, algún dibujo o diseño decorativo al elemento. Es habitual observar en elementos de hormigón diferentes texturas logradas mediante el uso de diferentes materiales como encofrados. En este grupo entran los hormigones estampados. Esta consideración no excluye los hormigones con superficie lisa, la cual se logra con encofrados de madera tratadas (selladas y lijadas), metálicos y de plástico usados para obtener superficies pulidas.

Acabados Indirectos : Dentro de este grupo podemos considerar los métodos que permiten lograr texturas que se obtienen en la superficie vista del elemento, mediante la aplicación de un proceso que remueva la capa superficial (pasta y/o mortero) del elemento de

hormigón, dejando expuestos los agregados. Los procesos aplicables pueden ser:

Físicos: que incluyen el tratamiento de la superficie con chorro de agua o de arena a presión, martelinado, cincelado, esmerilado, martillado y en general cualquier otro tipo de proceso mecánico de remoción superficial.

Químicos: donde podemos englobar; el lavado de la superficie con ácido u otras sustancias, el uso de retardadores aplicables sobre el encofrado para facilitar la remoción de la capa superficial, etc.



5.2.1 Generalidades

Dependiendo de la intensidad con la que se aplique el tipo de texturizado seleccionado, podemos variar los diferentes acabados que se obtienen, por esta razón son incontables los tipos de texturas que pueden obtenerse [17].

Sin importar el tipo de acabado, es recomendable aplicar un agente descimbrante que no produzca manchas de ningún tipo, para prevenir una coloración desigual del hormigón arquitectónico. Es preciso aplicar una capa uniforme, sin burbujas

o excesos del mismo, especialmente en las juntas o ranuras. De igual manera se debe controlar la compatibilidad entre el agente descimbrante y los materiales de la superficie del encofrado, así como cualquier factor que pueda producir problemas en la adherencia de posteriores tratamientos, como pinturas o sellantes.

5.2.2 *Tipología*

Acabado liso o llano:

Este tipo de acabado refleja la apariencia natural del hormigón sin intentar simular ningún otro tipo de material o producto constructivo. Si bien es uno de los acabados más simples y más económicos, no es tan fácil obtener un resultado perfecto.

El acabado liso o llano requiere de la máxima calidad y mantenimiento tanto de los moldes como del hormigón. Las variaciones de color tienden a ser más pronunciadas cuando la superficie de la cimbra es cristalina o impermeable.

Hay ciertas dificultades para lograr uniformidad en el color cuando se trata de superficies de hormigón grises, marrones, o pigmentadas; aunque el uso de cemento blanco permite mayor uniformidad.

Un mínimo de variación de color o cualquier irregularidad serán consideradas como imperfecciones en este tipo de acabado, en vista de que son más notorias; pero deben considerarse dentro de las limitaciones del mismo. Es por esto que los criterios de aceptación en el acabado liso o llano son más flexibles.

Debido a que las superficies lisas están cubiertas por una película de cemento endurecido, el color del acabado dependerá del color del cemento. La arena no tiene un efecto significativo a no ser que presente un alto porcentaje de finos o sea intensamente coloreada.

El color del agregado grueso tampoco será significativo, a menos que el panel requiera una consolidación extremadamente pesada. Bajo esta circunstancia puede ocurrir una transparencia del agregado que disminuirá uniformidad a la superficie, debido a que se emplean agregados oscuros o intensamente coloreados que se aprecian a través de una capa superficial de cemento claro. Su efecto puede

reducirse utilizando agregados de tonalidades claras con cemento blanco.

El hormigón liso o llano es más susceptible al agrietamiento cuando se expone a ciclos de mojado y secado. A pesar de que afecta a la superficie, pero no de manera estructural, puede acentuarse con la acumulación de suciedad o contaminación en las grietas. Como es de esperarse el agrietamiento es más pronunciado en el hormigón blanco que en el gris, así como es mayor en las superficies horizontales que en las verticales. Su efecto puede reducirse con un apropiado diseño de la mezcla, empleando un mínimo de contenido de agua/cemento.

Es posible que se presenten oquedades como resultado de burbujas de aire o agua que quedan atrapadas en la superficie de la cimbra durante el proceso de endurecimiento de hormigón. Este problema es más notorio en superficies verticales o en curvas que en las superficies horizontales. Si estas oquedades son de un tamaño razonable, de 3 a 6 mm, es preferible que se las considere como parte de la textura de la superficie, porque al rellenarlas pueden presentarse grandes variaciones de color. Razón por la cual, se

recomienda realizar pruebas de reparación en los paneles de muestra para así determinar grados de aceptación en las variaciones de color y textura de la superficie.

Para una verdadera economía, las superficies lisas o llanas deben emplearse sin ningún tratamiento adicional después del encofrado, que no sean una posible limpieza o mínima reparación. Además, las cimbras deben permitir un aprovechamiento máximo, para disminuir el alto costo de su fabricación.

Muchas de las limitaciones estéticas de este acabado pueden disimularse con un adecuado manejo de la mezcla, las formas y cimbras, e introduciendo efectos de sombreado y profundidad.

Agregados expuestos a través de retardantes químicos o chorro de agua:

Es un tipo de acabado que permite exponer la belleza natural, color y textura del agregado grueso, sin dañar al mismo. Existen diferentes grados de exposición:

1.- Exposición ligera: cuando solo la capa superficial de cemento y arena se remueve lo suficientemente como para exponer los bordes del agregado grueso más cercano.

2.- Exposición media: cuando la remoción del cemento y arena permite que el agregado grueso aparezca hasta un área aproximadamente igual al de la matriz.

3.- Exposición intensa: cuando se remueve la capa de cemento y arena de manera que el agregado grueso se convierta en el rasgo más importante de la superficie de hormigón.

Mediante la aplicación de retardantes químicos a la superficie de la cimbra se consigue controlar el tiempo de fraguado de la pasta de cemento de la superficie, de manera que el agregado pueda exponerse con mayor facilidad cuando el encofrado se remueva a las 24 horas. De esta forma, cuando la masa de hormigón esta totalmente endurecida, se puede retirar la capa de cemento, bajo la acción del retardante, por lo general, mediante un chorro de agua a alta presión, cepillado con cepillo de fibra o por una combinación de ambos, exponiendo el agregado a una profundidad deseada.

Ya que la acción retardante afecta solo al mortero de cemento superficial, la apariencia de la superficie acabada estará determinada por la forma y tamaño del agregado, su posición después de la consolidación y el grado de exposición del mismo. Está es la mejor técnica para resaltar el brillo y colores naturales de los agregados. El diseño de la mezcla, la gradación, características físicas de los agregados y la compatibilidad de los colores del agregado y la matriz serán factores importantes.

Es preferible que los agregados sean de forma redondeada, ya que los angulares pueden desprenderse al aplicar agua a alta presión. Si se desea una apariencia más uniforme se puede combinar el color de la matriz con el de los agregados y así disimular cualquier irregularidad.

Los retardantes también se aplican en las superficies producidas sin moldes. Para esto se emplean retardantes en atomizador, que se rocían durante la fase de consolidación, siguiendo un proceso adecuado. En el caso de utilizar retardantes la exposición debe iniciarse inmediatamente después de haber retirado las cimbras.

La aplicación del chorro de agua a alta presión y cepillado sin la acción de un retardante se desarrolla sobre superficies que no han sido encofradas o en aquellas que fueron descimbradas mientras estaban en estado plástico. Este proceso no es común, en vista de que se requiere un personal especializado debido a la complejidad del proceso. El tiempo apropiado para la aplicación debe determinarse para cada hormigón así como sus condiciones de curado, a fin de obtener la cantidad deseada de relieve sin pérdida de agregado.

La resistencia mínima que recomienda el ACI 303, para el hormigón antes de la remoción de la superficie retardada es de 70 a 105 Kg/cm², que equivale a 7 a 10.5 MPa. De igual manera la resistencia mínima para el hormigón sometido a chorro de agua a alta presión es de 105 Kg/cm² (10.5 MPa).

Al finalizar el proceso de exposición se recomienda limpiar la superficie con una solución de ácido muriático del 5 al 10 %, una o varias veces para retirar cualquier suciedad. Este tipo de acabado se emplea principalmente en exposiciones medias o intensas. Su reparación y mantenimiento es relativamente fácil y tiene como

ventaja adicional que la superficie de la cimbra no es un factor importante.

Forros o recubrimientos :

Se puede lograr una gran variedad de formas, patrones o texturas y diseños a través de forros ya sean estos de madera, acero, yeso, plástico, elastómero o poliestireno expandido. Estos forros pueden estar incorporados a la cimbra o simplemente estar sujetos a ella.

La calidad del acabado dependerá de la calidad del forro. A través de ellos se puede obtener una apariencia uniforme en acabados lisos, o una gran variedad de diseños en acabados texturados. Su mayor ventaja es que se pueden simular otros tipos de acabado, como el martelinado o esmerilado a un costo menor; logrando más uniformidad y ofreciendo superficies con eficiente resistencia a la intemperización.

Al seleccionar el tipo de textura y/o forro adecuado debe considerarse las necesidades específicas del proyecto; número de usos, en especial si el patrón tiene algún tipo de calado. El costo del forro depende también de la veces que se emplee y del grado de

facilidad de su manejo. Al momento de descimbrar debe evitarse astilladuras o fracturas en el hormigón especialmente en la esquinas.

Así como en las diferentes cimbras, la variación en la humedad del forro producirá alteraciones en la coloración de la superficie de hormigón. Por otro lado, debe considerarse el efecto de las variaciones de temperatura en los forros, especialmente si son plásticos.

Otra consideración importante es el método de sujeción del forro a la cimbra. Al respecto es preferible que estos se adhieran con pegamento o grapas ya que el empleo de clavos o tornillos pueden dejar una huella en la superficie del hormigón. También se considera el tamaño de los forros disponibles para determinar el diseño de las juntas y la combinación de los mismos.

En cuanto a los forros de poliestireno y los elastoméricos su mayor aplicación es ornamental. Los primeros se emplean en moldes que no se repiten para lograr formas muy elaboradas, de patrones abstractos o con grandes relieves. Los segundos se emplean para texturas de grandes detalles o perfiles por su facilidad de remoción.

Estos forros no requieren agentes desmoldantes pero es indispensable una limpieza adecuada previa a su reutilización.

Sopleteado abrasivo o con arena :

Se lo conoce también como lavado con chorro de arena, es un tratamiento superficial común y no una operación difícil. Rara vez este proceso remueve, en realidad, deformaciones en la textura superficial o marcas de hidratación, en el caso de los grados más fuertes, el hormigón debe ser lo suficientemente fuerte (al menos 140 Kg/cm^2 de resistencia a la compresión) como para prevenir que las partículas de agregado grueso se salgan de su sitio.

Puede usarse para obtener un terminado de agregado expuesto, pero con la desventaja de que produce una superficie mate en las superficies de agregado grueso. Los varios grados de chorro de arena se describen, por lo general, como sigue:

- 1.- Cepillado: Remueve la capa de revestimiento, expone el agregado fino sin descubrirlo o sin relieve, que significa aquí como la proyección del agregado grueso, a partir de la matriz, después de la exposición.

2.- Ligera: Se expone el agregado fino y algo del agregado grueso.

Color uniforme, con un relieve máximo de 1.5 mm.

3.- Mediano: Se expone, generalmente, el agregado grueso, con un relieve máximo de 6 mm.

4.- Pesado: Se expone el agregado grueso hasta una proyección de un tercio de su dimensión, revelando entre 9 y 12 mm. La superficie será rugosa y dispareja. El 80 % de la superficie visible, será el agregado expuesto, por lo cual debe tenerse en cuenta una mezcla con mayor cantidad de agregado grueso, preferiblemente agregados como cuarzo, granitos o silíceos. Para este tipo de exposición alta se realiza el proceso durante las primeras 24 a 27 horas de edad.

La uniformidad en el grado de exposición esta en función de la experiencia y habilidad del operario, que deberá ser mayor mientras más ligera sea la exposición. La aplicación se debe realizar de abajo hacia arriba, teniendo presente que la boquilla este perpendicular a la superficie y a una distancia de aproximadamente 0.6 m.

La técnica del cepillado permite remover y corregir pequeñas imperfecciones o variaciones de la superficie, sin embargo no

presenta un acabado uniforme a menos que se observe desde cierta distancia.

Por lo general, se realiza con más frecuencia la exposición ligera, ya que el costo se incrementa a medida que aumenta el grado de exposición. Dicha exposición permite un acabado arenoso muy similar al de la piedra caliza.

Los materiales que se emplean para este tipo de acabado son: arena silícica, carburo de aluminio y partículas de escoria negra. Para obtener un resultado uniforme, aunque a un costo mayor, suele emplearse materiales más suaves, como la corteza del nogal, que solo remueven la superficie de cemento y arena afectando ligeramente al agregado grueso.

El tipo y la granulometría del abrasivo determinan el tratamiento de la superficie y deben ser iguales durante todo el proyecto. En vista de que el sopleteado con arena cambia el color final del agregado, es preciso realizar pruebas de este tipo en los paneles de muestra.

El tiempo adecuado para efectuar este tipo de acabado depende del cronograma de trabajo, factor económico, de la apariencia deseada y de la resistencia del agregado. A medida que el hormigón se endurece y gana resistencia, se dificulta el sopleteado a grados mayores, elevando así los costos de operación.

Las exposiciones medianas o pesadas suelen grabar de mayor manera los agregados gruesos, en especial si son de colores oscuros y tienen una apariencia brillante. Esto producirá una apariencia mate y los colores se verán más claros. La profundidad del sopleteado deberá ajustarse a la resistencia de los agregados y de los abrasivos. Además se recomienda para este grado de exposiciones, el uso de un retardante de superficie, con el objeto de reducir el tiempo de sopleteado y la abrasión de los agregados finos. Si el hormigón es blanco requiere de abrasivos a prueba de manchas.

La ventaja de este acabado es la facilidad de reparación o corrección de cualquier variación en la superficie expuesta. En el caso de presentarse oquedades de tamaño aceptable, de 3 a 6 mm, es recomendable aceptarlas como parte de la superficie, por que su reparación acentuará las variaciones de color y textura.

Por último, los agregados gruesos se limpian con una solución de 5 al 10 % de ácido hidroc্লórico, removiendo los residuos que queden. Esta solución se aplica en la superficie, previamente humedecida, durante 1 o 2 semanas, mediante un cepillo o rociador. La superficie se humedece para evitar la penetración del ácido, debiendo enjuagarse inmediatamente después de la aplicación del mismo.

Grabado ácido :

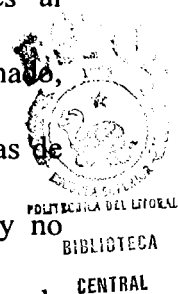
El grabado ácido disuelve la pasta superficial de cemento, descubriendo la arena y un mínimo porcentaje de agregado grueso. Es empleado para exposiciones ligeras o medianas, proporcionando un aspecto arenoso parecido al de la piedra caliza. Se debe utilizar agregados gruesos resistentes al ácido, tales como el cuarzo y el granito. Las piedras calizas, las dolomitas y los mármoles se decoloran y se disuelven debido a su alto contenido de calcio. Este tratamiento no debe efectuarse hasta que el hormigón alcance una resistencia de 316 Kg/cm^2 , o a la edad de 14 días.

La superficie de hormigón debe humedecerse completamente con agua limpia antes de aplicar el ácido para evitar un grabado muy profundo y luego enjuagarla después de la aplicación del ácido. Con

esto se previene los problemas en el hormigón como eflorescencia u otros defectos en la superficie.

En el caso de superficies expuestas de metal, en especial si es galvanizado, debe protegerse con recubrimientos resistentes al ácido, tales como los cloruros vinílicos, el caucho clorado, estireno butadieno, pinturas y esmaltes bituminosos y cubiertas de poliestireno. La dosis adecuada debe proteger la superficie y no permitir la penetración del ácido, ya que atacaría a los refuerzos de acero.

La compatibilidad entre el color del cemento y los agregados es más significativa si se trata de una exposición ligera. Razón por la cual, es preferible colores que reflejen más uniformidad, como el marrón, beige, amarillo o rosado. El color gris no permite una textura uniforme, a menos que se empleen agregados y cementos de ese mismo color. Por experiencias anteriores las superficies lucen brillantes y limpias al inicio, pero a medida que se exponen a la intemperie pierden estas cualidades.



La reparación es un tanto complicada y no luce tan uniforme como la exposición de agregados por retardantes químicos, aún así presenta un mínimo de oquedades de fácil reparación.

Martelinado:

Las superficies martelinadas se producen mediante herramientas neumáticas equipadas con una martelina, un cincel o un peine, o aditamentos con múltiples puntas. Para disminuir el costo del martelinado se prefieren herramientas de múltiples cabezas. El tipo de herramienta se determinará de acuerdo con el efecto deseado para la superficie. Cada una produce un acabado específico, removiendo la capa superficial de hormigón endurecido y fracturando a los agregados gruesos de la superficie.

Estos tratamientos exponen el color del agregado, pero no necesariamente su forma, afectan la apariencia y el brillo del agregado. El color tiende a ser más claro con las fragmentaciones, en especial en tonos grises plateados y blancos, mientras que en los materiales oscuros tiende a opacarse.

El acabado puede variar de un ligero escamado a una profunda perforación con cincel. No se puede martelinar con facilidad sobre agregados tan duros como el cuarzo y el granito, razón por la cual es preferible trabajar con dolomitas, piedras calizas y mármol. Estos agregados suaves permiten el empleo del peine y no de herramientas punteadas. Es necesario que el operario tenga una gran experiencia y habilidad en trabajos con este tipo de herramientas, ya que así se logrará uniformidad en la textura.

Puesto que la mayoría de los martelinados retiran aproximadamente 5 mm de material, debe suministrarse recubrimiento adicional al hormigón. Para evitar el desprendimiento de los agregados se requiere una resistencia de 281 Kg/cm^2 a la compresión y una edad mínima de 14 días. En muchos casos se logra mejor uniformidad a la edad de 21 días y se deja secar la superficie.

El martelinado en las esquinas tiende a causar bordes irregulares. Si se desean esquinas agudas, el martelinado se detiene a 25 ó 50 mm de distancia de la esquina. Para este tipo de tratamiento son más apropiadas las esquinas achaflanadas.

Canales Martelinados o Fracturado:

Este tipo de acabado se logra moldeando nervaduras en la superficie del panel que luego son martelinados de manera irregular para exponer los agregados logrando un efecto delineado e intensamente texturado. El tamaño de los canales no debe pasar de 25 mm ni ser inferior de 15 mm , porque es difícil fracturar superficies de mayor tamaño y por el contrario se desprenderían de la superficie totalmente.

La orientación y dirección de los canales dependen del diseño que puede ser uniforme o irregular, en cualquier caso debe planearse con cuidado para evitar un sombreado o intemperización irregular.

El acabado es muy costoso, pero se justifica si las superficies se aprecian a corta distancia, en paneles a nivel de planta baja, o si se emplea en interiores. El efecto puede simularse a un costo menor mediante el uso de forros, a través de los cuales se crean los canales que luego son tratados con retardantes o sopleteado abrasivo para exponer los agregados, para lograr el efecto de exposición a la intemperie que caracteriza al acabado.

Empotramiento en arena :

En el caso que se requiera una apariencia arquitectónica masiva y definida, se utiliza agregado grueso de un diámetro de 25 mm a 200 mm, expuestas mediante un empotramiento en arena. Esta técnica consiste en colocar manualmente las piedras en una "cama" de arena u otro material que actúe como tal; en la parte inferior del molde a una profundidad que permita su incrustación o empotramiento en un 25 a 35 % de la superficie del hormigón del elemento. De tal manera que se expone el material con un efecto de juntas de mortero.

Al respecto, es importante asegurar la obtención de la densidad adecuada en las esquinas y orificios al igual que en las superficies planas.

Si se emplean piedras de diferentes colores, se debe evitar las concentraciones de un solo color o la creación inintencionada de patrones. Todo el agregado expuesto debe tener un solo tamaño para lograr una mayor uniformidad.

Pulido o Esmerilado :

El pulimento se realiza normalmente con pulidoras motorizadas y no conviene hacerlo sino hasta que el hormigón haya alcanzado una resistencia de por lo menos 210 kg/cm^2 . Se puede pulir a mano con esmeril de alarife, inclusive hormigones de corta edad, siempre y cuando el pulimento no vaya más allá de un simple contacto con el agregado grueso.

Con este acabado se obtiene, una superficie suave y lisa en superficies con exposición de agregados y excelentes condiciones de resistencia la intemperización y requiere un mínimo de mantenimiento, por lo que se recomienda en áreas de gran tráfico o zonas de polución.

En la selección de los agregados se considera la dureza y el tamaño de los mismos. Como es lógico los agregados suaves serán más fáciles de pulir en comparación con los agregados duros. El área de la matriz debe ser mínima, ya que los agregados se pulen de mejor manera.

El equipo puede variar desde una simple pulidora manual hasta una máquina de múltiples cabezas, la cual permite pulir elementos de

mayor tamaño a menor costo. Este proceso se puede realizar en seco ó preferiblemente en húmedo, removiendo aproximadamente 3 mm de la superficie del hormigón.

Los mejores resultados en cuanto a uniformidad y apariencia se obtienen por medio de la compatibilidad y combinación de los colores de la matriz y los agregados. El pulimento puede combinarse con muchos tratamientos para mejorar la condición de la superficie.

Pintado :

Las pinturas tienen ciertas características de trabajabilidad que varían según su tipo, marca, especificaciones y precio. Cada una esta formulada para trabajar sobre ciertas condiciones específicas, que dependen de su calidad. Para permitir una adherencia total de la pintura, la superficie debe tratarse para lograr una ligera rugosidad y los aditivos o agentes descimbrantes empleados en el encofrado deben ser totalmente compatibles con la misma.

Si se aplican en superficies exteriores, la pintura debe ser impermeable al agua en estado líquido, pero permeable al vapor de

agua; considerando que la superficie de hormigón no permita que este vapor penetre en el interior de la edificación. Para esto se emplean recubrimientos epóxicos, de poliéster o poliuretano. Generalmente las pinturas látex sirven para exteriores. Para un acabado uniforme debe seguirse estrictamente las instrucciones de los fabricantes.

Los elementos de hormigón de alta resistencia no requieren de pintura, la cual es utilizada por razones decorativas.

Piedra artificial precolada :

La piedra artificial precolada es una variante del hormigón arquitectónico premoldeado manufacturado para imitar la piedra tallada natural. Es aplicada a trabajos ornamentales de mampostería y en detalles arquitectónicos para cornisas, antepechos, dinteles, balaustradas, etc., que no pueden ser tallados en piedra natural o en el caso de que requieran muchas piezas del igual tamaño.

La piedra artificial precolada ahorra dinero y tiempo, ya que es mucho más económico moldear y tallar. Las especificaciones para

este tipo de acabado se encuentran en las secciones de mampostería en los tratados de construcción.

5.3 *Textura*

Es la propiedad que permite obtener una mayor plasticidad del material, específicamente de sus componentes y al mismo tiempo que disimula mejor las consecuencias del intemperismo en cualquier elemento de hormigón. Además define la escala de la edificación y permite expresar la naturaleza de los ingredientes del hormigón.

La textura de la superficie resalta el diseño de la edificación y proporciona sensibilidad al hormigón. Como regla general, se puede afirmar que las superficies texturizadas poseen mayor uniformidad que las superficies llanas o lisas. Además, la textura permite disfrazar pequeñas diferencias o irregularidades que puedan presentarse en la superficie del hormigón. Por otro lado, las texturas se obtienen a través de moldes y forros texturizados, exponiendo los agregados gruesos mediante cualquier técnica, ya sea antes o después del fraguado del hormigón y mediante herramientas manuales o mecánicas que modifiquen la superficie del hormigón ya endurecido.

Para seleccionar una textura adecuada se tienen que considerar los siguientes factores [6]:

1.-El ***área de la superficie a tratar.***-es importante tener muy presente la escala de trabajo y la relación de la superficie a tratar con la textura, con el fin de establecer un equilibrio; por ejemplo, no es recomendable utilizar texturas muy gruesas en áreas muy pequeñas. El dividir grandes superficies planas en otras de menor tamaño mediante una textura rústica puede disimular pequeños defectos o imperfecciones.

2.- ***La distancia de visibilidad*** .- dependiendo del tamaño del agregado, existe una distancia máxima para la cual resulta visible la textura. Según esto, se debe efectuar ensayos lo más próximos a la realidad con el fin de garantizar que el efecto buscado, se vaya a apreciar como se pretende. En cualquier caso que se trabaje la textura de la superficie de hormigón, se deben considerar el observador final y sus posibilidades de apreciación.

3.- ***La orientación de la elevación del edificio.***- este factor esta determinado específicamente por los niveles de iluminación y de sombras, lo que incide altamente en la apreciación de las diferentes texturas, además de indicar como se expondrá a la intemperie.

4.- ***La forma del agregado y las características de la superficie*** .- en lo referente a la forma del agregado, estas inciden directamente sobre la textura resultante de acuerdo con las diferentes posibilidades (redondeadas,

irregular, angulares, lisas, alargadas, etc.). Las características de la superficie pueden ser determinantes para lograr ciertos efectos. Básicamente pueden ser lisa, pulida, pareja, granular, cristalina, porosa, picada y brillante. Tanto la forma como la superficie del agregado determinarán la reflexión de la luz y la intemperización a la que será expuesta la textura del hormigón.

5.- *El método de exposición* .- hay que considerar el proceso por medio del cual se vaya a exponer el agregado, debido a que cada método le imprime unas características determinadas a su apariencia y color, pudiendo afectar la textura deseada. Al mismo tiempo se debe tener presente la forma de aplicación por parte del operario.

5.4 *Color*

Existen dos procesos básicos para obtener hormigón coloreado: la incorporación de pigmentos en la pasta en estado plástico y el tratamiento y/o la exposición de los agregados que contribuirían al color resultante. En aquellos casos específicos cuando se requiera de alta uniformidad e intensidad en el color, se pueden combinar los sistemas, utilizando un pigmento que coloree a la matriz y unos agregados de color similar. En situaciones como está se recomienda utilizar cemento blanco que garantiza un color más uniforme.

Los pigmentos utilizados en la coloración del hormigón tienen como función única impartir un color específico a la pasta de cemento y agua, su naturaleza y propiedades características fueron descritas detalladamente en el capítulo dos del presente proyecto [9].

Cuando se utilizan los pigmentos para darle color al hormigón, se debe evaluar:

- La calidad y la cantidad del pigmento a utilizar.
- La estabilidad del pigmento.
- La dosificación, la calidad de los materiales, la uniformidad, el proceso de curado, tipo y color del cemento y la relación agua/cemento.

En el caso de tratamiento de superficies de hormigón vaciado, se debe tener presente que cuando se tenga el hormigón con superficie natural, domina el color del cemento, pero a medida que las superficies son tratadas, el color depende cada vez más de los agregados, tanto de los finos como gruesos. Los hormigones con colores debido a los agregados gruesos, son los más seguros y económicos. Si el color depende de los agregados finos hay que dosificar muy bien la mezcla.

Si el color depende del agregado grueso, se debe considerar:

- La correcta selección de estos, con una durabilidad suficiente y una forma adecuada para las necesidades.

- Producir una muestra real del agregado, con el respectivo color de matriz a utilizar, siguiendo el proceso de producción propuesto, teniendo en cuenta los efectos que podrían causar los diferentes tipos de acabados.
- Los niveles de iluminación y el ataque atmosférico. Se deben considerar las condiciones reales en las que va a quedar expuesto el material, con el fin de prever los posibles cambios que tendrá. Se sabe que la matriz, por sus características específicas de densidad y porosidad, tiende a recoger mucho polvo del ambiente, razón por la cual se debe minimizar su área, o utilizar una matriz relativamente oscura que oculte el efecto negativo.

Un aspecto importante a tener en cuenta en hormigones de color es evitar la aparición de manchas o zonas de coloración diferente. Al respecto puede ser crítica la aparición de eflorescencias que son manchas de color blanquecino (primarias a corto plazo, secundarias a más largo plazo), que se producen fundamentalmente por migración por los poros del hormigón hacia la superficie exterior del mismo, del carbonato cálcico que resulta del fraguado del cemento. Para impedir dicha acción es mejor conseguir hormigones poco porosos y muy densos e impermeables, características que son también aconsejables desde otros puntos de vista como durabilidad [4].

El hormigón de color puede ofrecer un sinnúmero de variaciones y de posibilidades, dependiendo, en esencia, de las características de sus componentes. Las variaciones más significativas se obtienen por : Variar el color de la matriz o del mismo agregado, trabajar con un tamaño diferente de agregado, un acabado distinto, o una técnica de exposición diferente.

CAPITULO VI

MANTENIMIENTO

6.1 Reparación de defectos

Una reparación pobre en el hormigón arquitectónico puede lucir peor que el defecto inicial, debido a esto es que solo los defectos que rebasen los límites de variación establecidos por la calidad del modelo de preconstrucción deben ser reparados. La reparación debe iniciarse inmediatamente después del descimbrado, siguiendo rigurosamente las especificaciones con respecto al modelo aprobado.

La reparación de superficies de hormigón arquitectónico es un arte, para lo cual requiere de un experto en el asunto y la selección cuidadosa del diseño de mezcla, los materiales y las técnicas de reparación, para que el resultado final sea una estructura aceptable, durable y agradable en apariencia [2].

Resulta fácil la reparación de superficies de acabado con chorro de arena y de acabado liso, sin embargo es más dificultoso las reparaciones en superficies con retardantes químicos. Las mezclas de prueba son esenciales para determinar las cantidades exactas para la mezcla definitiva de reparación. La selección apropiada de dicha mezcla debe empezarse después de que estén reparadas las muestras (paneles de 25 cm x 25 cm), los cuales son curados en un mínimo de 7 días (preferiblemente 14 días), siguiendo un secado normal hasta 28 días. Esto es importante porque el curado y el blanqueamiento de la superficie de cemento tienen un efecto sobre el acabado del color.

La selección de las técnicas y materiales para la reparación dependen de lo siguiente [17]:

- La extensión del daño.
- La función del elemento en la edificación.
- Disponibilidad del equipo y el personal adecuado.
- Consideraciones económicas.

- ✓ La velocidad necesaria para la reparación.
- ✓ La importancia de la apariencia.

Puesto que, las técnicas y materiales de reparación del hormigón arquitectónico son afectadas por una variedad de factores incluyendo los ingredientes de la mezcla, acabado final, tamaño y localización del área dañada, condiciones de temperatura, edad del miembro, textura de superficie, etc., es preciso establecer métodos de reparación, que son detallados en el "*Manual for Quality Control for Plants and Production of Architectural Precast Concrete*" del PCI.

6.2 *Mantenimiento preventivo*

La conservación del color y la textura originales de un hormigón arquitectónico, pueden prolongarse mediante la aplicación de recubrimientos líquidos transparentes, que reduzcan la absorción de humedad de la superficie y las consecuentes manchas por el intemperismo. Sin embargo no es recomendable el uso de dichos recubrimientos a menos que sean necesarios. Al respecto, se emplea recubrimiento transparente para los siguientes fines:

- 1.- Reducir el ataque de materias químicas industriales acarreadas por el viento hasta la superficie del hormigón.

- 2.- Impedir que se manche la superficie; sin embargo, algunos recubrimientos atraen a los contaminantes acarreados por el viento.
- 3.- Facilitar la limpieza de la superficie.
- 4.- Impiden el oscurecimiento de la superficie al mojarse.

Los recubrimientos pigmentados, que no sean pinturas ni tintes también pueden aplicarse en aquellas superficies en las que se desee alterar el color natural del hormigón, sin modificar la textura.

Todos los recubrimientos que existan en el mercado deben estar garantizados por el fabricante contra cambios de color después de la exposición.

6.3 Limpieza

La labor de limpieza final, al igual que la reparación es un método que puede llevar a cabo bajo las circunstancias establecidas en los paneles de muestras aprobados[20]. Los trabajos de limpieza se deben efectuar una vez que todos los procesos, incluyendo el de reparación hayan sido completados.

Es preciso tomar las debidas precauciones al momento de realizar la limpieza, es así que primeramente se recomienda, hacer una prueba con el agente

limpiador si es el caso, en una pequeña sección del panel de muestra, para asegurar que no se produzca un daño permanente en la superficie de hormigón o materiales adyacentes. Aproximadamente se tendrá resultados de la eficacia del método de limpieza en un periodo de una semana o menos.

En el caso de requerir una limpieza química, que emplee ácido muriático, fosfórico u otro producto comercial, la superficie de hormigón será humedecida con anterioridad para prevenir que el ácido penetre en la misma. Del igual manera es indispensable retirar el producto químico con bastante agua limpia para evitar algún efecto posterior. Es posible que se produzca una ligera decoloración debido a la acción del 5 al 10 % del ácido muriático, por lo tanto la aplicación del mismo debe ser uniforme sobre toda la superficie, con el fin de evitar variaciones en el color entre el área limpia y el resto de la superficie.

6.4 *Intemperización*

La intemperización es el o los cambios en la apariencia de una superficie con el paso del tiempo [20]. La cual es medida de acuerdo al grado en que afecta a la apariencia original de la superficie. La combinación de polvo, impurezas y contaminantes que existen en el aire con la acción del viento y la lluvia

producen cambios visuales al interactuar con los materiales de la superficie de la edificación.

Cuando se vaya a diseñar elementos de hormigón arquitectónico se debe considerar su combinación con otros elementos, para lograr una correcta evacuación del agua. Las manchas o imperfecciones que se producen debido a las concentraciones o absorción de suciedad por una ineficiente evacuación del agua son los problemas más comunes causados por la intemperización.

La lluvia es uno de los agentes atmosféricos que, si bien permite la limpieza de las superficies de hormigón de manera natural, puede convertirse en un agente transportador de impurezas y suciedad. Razón por la cual, es preciso determinar mediante el estudio de la zona las diversas causas de dichos problemas como: la localización y concentración de depósitos de agua lluvia, las propiedades del agua en contacto con las superficies, las fuerzas del viento y la gravedad, y por último la geometría, textura y grado de absorción de las superficies.

Si no se toman las medidas necesarias y las debidas precauciones, la intemperización puede afectar también a las unidades de hormigón

arquitectónico premoldeado en el proceso de almacenamiento, considerando la ubicación y orientación final que tendrán en la obra.

La importancia de un adecuado diseño de elementos que resistan la acción de la intemperie, además de sistemas de evacuación como los drenes, goteros y estrías verticales, se incrementa cuando la atmósfera está contaminada o cuando una o más de las siguientes características se presentan: grandes superficies, superficies llanas o ligeramente texturadas, unidades de colores tenues o pálidos, y unidades esculpidas en forma elaborada o con superficie inclinadas.

Cuando el ambiente es relativamente limpio los problemas de intemperización son muy leves. Estos se pueden prevenir dándole ciertas características a los elementos de hormigón arquitectónico como:

- Pendientes de adecuado diseño
- Texturas ásperas de colores oscuros o grises
- Superficies casi verticales o superficies ligeramente esculpidas
- Superficies esmeriladas o pulidas
- Paneles de fachada subdivididos por un determinado número de juntas

El efecto de la intemperización se puede predecir realizando un amplio estudio de edificaciones cercanas, para determinar las condiciones locales de contaminación, velocidad y dirección del viento, frecuencia de lluvias, temperatura y humedad relativa del ambiente, etc. Todos estos factores que de alguna manera afectan la forma en que se mojan o secan las superficies de hormigón deben analizarse para lograr un modelo adecuado que permita la mínima acción de la intemperie.

CAPITULO VII

CONTROL DE CALIDAD

Se puede decir que en una obra de hormigón arquitectónico se ha tenido éxito, cuando los volúmenes y los planos de la edificación están bien alineados, cuando hay uniformidad en el color y la textura de la superficie de hormigón, cuando se ha tomado alguna precaución para proteger al hormigón de los efectos del polvo y de la lluvia ácida o se puede por lo menos limpiar fácilmente de los efectos que ellos ocasionan y cuando se ha logrado un control efectivo de la propagación de grietas. Cada uno de estos aspectos contribuye a la superficie acabada del hormigón arquitectónico [3] .

7.1 Resistencia

La resistencia mecánica del hormigón, es una función de la relación de agua/cemento de la pasta conglomerante, del grado de consolidación, del tipo y la calidad del cemento y de la eficiencia del curado y por último de la edad [17].

Actualmente se acepta que el mejor índice de la calidad del hormigón es su resistencia a la compresión a 28 días, medidas en probetas preparadas, curadas y ensayadas bajo condiciones estrictamente normalizadas.

Para obtener resistencias apropiadas en este tipo de hormigones la relación agua/cemento dese ser menor de 0.5 por peso, de donde se obtiene resistencias experimentales de más de 30 MPa. Cabe señalar que en el caso de hormigones coloreados, la adición de ciertos tipos de pigmentos reducen el valor de la resistencia, para lo cual se debe tomar las medidas necesarias y lograr buenos resultados.

7.2 Descascaramiento

El descascaramiento de las estructuras es causado por cargas concéntricas muy elevadas, por lo general en las juntas que han sido diseñadas o construidas

inadecuadamente, por lo que permiten movimientos normales lineales de rotación. La erosión se inicia con desconchamientos en varias áreas, a 1,6 ó 3,2 mm de la superficie del hormigón. Si esta erosión no es reparada, se puede extender a toda una sección. Entre otras de las causas posibles del descascamiento tenemos [10]:

- El empleo de hormigón con bajo contenido de aire, en áreas expuestas a un clima invernal severo.
- La utilización de hormigón de alto revenimiento.
- El empleo de métodos de curado inapropiados, o ausencia del mismo.
- Una insuficiente protección del curado fresco sometido a baja temperatura.

Por el contrario las medidas aconsejables para prevenir el descascamiento son:

- Evitar revenimientos mucho mayores de 10 cm.
- Utilizar hormigón con aire incluido, del 4 al 6 %
- Evitar el uso excesivo de la llana.
- Dar declive al hormigón para que tenga un buen drenaje.
- Asegurar un curado adecuado.

7.3 Agrietamiento

Entre los factores que influyen en el agrietamiento del hormigón son [10]:

- Las cargas de gravedad o laterales que producen tensión, cortante y torsión en los elementos.
- La restricción de la contracción por secado.
- La fluencia.
- Los esfuerzos térmicos (axiales o de flexión)
- El asentamiento de la sección.

De igual manera el agrietamiento puede reducirse mediante :

- El postensado
- Suministro de juntas de aligeramiento de esfuerzos.
- Limitación del esfuerzo de tensión flexionante en el refuerzo (máximo recomendado $Z = 31250$ ecuación 10.4 del Reglamento ACI 318).
- Empleo de materiales especiales, tales como cemento compensadores de contracción y agregados con características de baja concentración, o bien dosificaciones seleccionadas de estos materiales.

7.4 Propiedades Acústicas

El propósito básico de la acústica arquitectónica es de brindar un ambiente satisfactorio en donde los sonidos deseados son escuchados claramente por los

oyentes indicados y que los sonidos no deseados (ruido) sean apartados o absorvidos.

Un buen diseño acústico utiliza superficies reflexivas y absorventes, barreras de sonidos y aisladores de vibración. Varias de las situaciones acústicas pueden ser descritas en términos de [17]:

- a) Fuente de sonido, fuerza y camino
- b) Camino de transmisión de sonido; y
- c) Receptor de sonido

Un ambiente acústico satisfactorio es en el cual el carácter y magnitud de todos los sonidos son compatibles con la función del espacio. Las personas son seres adaptables a la sensación de calor, luz, olor, y sonido con sensibilidades que varían muy ampliamente. De manera que los niveles de sonido que el oído humano puede detectar son de 10 decibeles (sonido de las hojas) hasta 120 decibeles que son tolerados por muy poco tiempo (ruido de un motor de un Jet).

La tecnología a permitido el aislamiento del ruido por medio de la construcción de paredes con materiales seleccionados y construcciones de cielo y suelo. Las vibraciones generadas por equipo mecánico son aisladas de la estructura del edificio mediante unos aisladores mecánicos o por materiales compresibles.

7.5 *Resistencia al fuego*

Con el propósito de salvaguardar la vida y la protección de la propiedad, los códigos de la construcción requieren que sea considerado en el diseño de cualquier edificio la resistencia al fuego.

La resistencia al fuego se define como el tiempo durante el cual el muro de hormigón es capaz de constituir una pantalla contra las llamas y los humos, sin sobrepasar la temperatura superficial de la cara no expuesta, de 150 °C [17].

El grado de resistencia al fuego depende directamente del tipo de material a emplear para la elaboración del elemento de hormigón, tipo de ocupación, tamaño del edificio, espesor equivalente de la pared o muro, su localización, la cantidad y el tipo de equipo de detección al fuego y represión que tengan las arquitecturas.

Los índices de resistencia al fuego de los componentes de edificios son medidos y especificados de acuerdo con un standard en común de la norma ASTM E119.

Los códigos de la construcción especifican los índices requeridos de resistencia al fuego para varios tipos de construcción y ocupación. Su desenvolvimiento es definido por las autoridades como el tiempo máximo en que cada componente sobrevivirá si fuera sujetado a un ensayo standard. Los ensayos standard provocan exposición al fuego arbitraria, carga arbitraria y resistencia arbitraria.

7.6 Criterios de aceptación y rechazo

Además de todos los requisitos que se aplican a todo trabajo de hormigón y que cumple con las normas respectivas, un criterio necesario para la aceptación o rechazo de un hormigón arquitectónico es la apariencia visual de las superficies expuestas. Aunque desafortunadamente, esta apariencia es difícil de describir o medir en términos exactos, se puede calificarlos con las observaciones hechas a un panel de muestra previa a la obra definitiva.

7.6.1 Observaciones

La aceptación final de un hormigón arquitectónico considera básicamente eliminar problemas de mayor predominancia que se encaran en el momento de la inspección final como son: grietas, los

defectos superficiales, los agujeros de sopladura u hormigueros, y las variaciones de color [3].

Grietas.- en hormigones vaciados en sitio, las grietas se asocian, generalmente con la contracción del fraguado. Es preferible prevenirlas incorporando suficientes juntas de control de agrietamiento en el diseño arquitectónico, o de lo contrario suficiente refuerzo con el mismo propósito, con el fin de minimizar su ancho potencial.

Los defectos de la superficie.- comprenden áreas de colmena, agrupaciones de hormigueros, reventones de agregados, daño local causado por el manejo, etc. La aceptabilidad de dichos defectos superficiales resulta difícil de definir, y depende grandemente de la distancia del ojo del observador o inspector a la superficie del hormigón.

Hormigueros.- estos forman parte del hormigón lo mismo que el cemento y la arena, se pueden minimizar más no eliminarse, mediante el uso de técnicas apropiadas para la vibración del hormigón. Como con otros defectos superficiales, el tamaño y distribución de tales huecos debe juzgarse sobre la base de la vista

potencial y no sobre la de una inspección a un palmo de la superficie.

Variación de color.- Aún tomando todas las precauciones, se teme que haya cierto grado de variación de color. A menudo el problema es minimizable mediante la colocación selectiva de las unidades de prefabricación sobre la base de color o de textura, en lugar de la del programa de carga y entrega.

Sin embargo, la variación de color proviene a menudo de condiciones variables de curado. Por lo tanto, el tiempo, la luz solar y la exposición a los elementos pueden emparejar la variación en una gran área. En ocasiones, la variación de color se reduce al someter a la superficie a una serie de ciclos de mojadura y secamiento, por medio de manguera.

7.6.2 *Paneles de muestra*

Debido a que es imposible que las especificaciones comuniquen por completo los deseos del diseñador o arquitecto, se procura generalmente que una muestra o referencia de diseño forme parte de la especificación. La muestra de referencia del diseño debe tener por lo menos un área de 50 x 50 cm y 5 cm. de espesor, para indicar en

forma adecuada el color, la textura deseada, así como el grado de exposición en lo que se refiere a agregados, la misma que puede ser preparada bajo la dirección del arquitecto o el diseñador. Es importante que dicha muestra de referencia sea colada de manera similar a la posición en la que se colocará el hormigón definitivo.

El propósito principal de los paneles de muestra es complementar la especificación escrita; con lo que se logra un entendimiento más estrecho entre el diseñador, fiscalizador y el constructor. Cabe señalar que también puede ser utilizado para fines de cotización.

Para nuestro caso de hormigones arquitectónicos es frecuente que las especificaciones exijan al constructor la fabricación de un modelo a escala real, antes de iniciar la construcción, realizada con los materiales, equipos y procedimientos de construcción propuestos, incluyendo las cimbras; para determinar la factibilidad de su uso, antes de decidir las especificaciones arquitectónicas particulares del proyecto.

El modelo a escala puede tener deliberadamente variaciones en el terminado para demostrar un rango de aceptabilidad, y requiere

juntas entre los paneles de la cimbra y los agujeros de amarres del mismo. Además debe incluirse deliberadamente las imperfecciones que requieran de un área de reparación, a fin de que sea posible demostrar las operaciones de corrección. Las reparaciones deben tener por lo menos un mes de edad antes de poder juzgar si son aceptables o no.

Este modelo a escala puede ser construido en el sitio de trabajo o cerca de él, de manera que sea disponible fácilmente para comparación con el trabajo futuro de la obra. Inclusive podría ser una parte no vistosa de la estructura al nivel del sótano.

7.6.3 *Especificaciones técnicas*

Las especificaciones técnicas de un proyecto transcriben en un documento los requerimientos del diseñador, así como : el tipo de materiales, dosificaciones, acabados, procedimiento de curado, juntas, limpieza, etc., entre otros. A continuación se presenta una lista de los varios ítems que suele cubrir el control de calidad, la misma es solo a manera de referencia, puesto que para cada

proyecto debe realizarse una de forma muy particular en base a los requerimientos del diseñador [3].

Preliminar:

Estudio de planos, especificaciones y códigos de construcción.

Organización de tareas entre los representantes del ingeniero.

Tolerancias permisibles

Calibraciones, equipo, organización y métodos.

Dosificación:

Ensayos de los agregados

Dosificación de la mezcla

Cálculos de la mezcla

gradación de los agregados de la mezcla; dosificación;

rendimiento contenido de aire

Materiales (se aplica a todos los materiales)

Identificación; cantidades; aceptabilidad; uniformidad;

condiciones de almacenamiento; métodos de manejo;

programación de los ensayos

Cemento

Muestreo para el ensayo de laboratorio

Protección contra la humedad

Agregados

Ensayos de aceptabilidad : materia orgánica, resistencia a la abrasión, otros ensayos.

Ensayos de control: Humedad, absorción, peso específico, pesos unitarios, vacíos.

Almacenamiento

Agua

Aditivos

Acero de refuerzo: tamaño, flexión, condición superficial, proximidad con la superficie de hormigón.

Accesorios

Aditamentos

Pigmentos: case de los colores; mezcla total e íntima del color con el cemento, aplicación uniforme y pulimento, curado.

Otros materiales

Antes del hormigonado

Alineamiento y niveles

Excavación: cimentaciones

Localización, dimensiones, forma; drenaje, preparación de superficies

Encofrados

Tipo especificado de encofrado

Localización

Alineación: provisión para el asentamiento

Estabilidad (soporte, apuntalamiento, amarres y espaciadores)

Aberturas de inspección

Preparación de superficies

Limpieza final

Refuerzo en su sitio

Tamaño (diámetro, longitud, dobleces, anclajes de los extremos)

Localización (número de barras, espaciamiento libre mínimo, recubrimiento mínimo de la superficie para evitar efectos de adherencia o de manchadura)

Traslapos

Estabilidad (alambrado, sillas, espaciadores)

Limpieza (sin óxido suelto, ni pintura, aceite, mortero seco, etc.,)

Aditamentos (localización, estabilidad, limpieza)

Hormigonado

Dosificación

Cemento, agregados , agua, aditivos, otros.

Verificación del revenimiento de hormigón

Amasado

Control de consistencia

Vigilancia del contenido de aire

Verificación de la temperatura del hormigón

Transporte

Vaciado

Vibración para minimizar los hormigoneros

Compactación

Juntas

De contracción

De construcción y articulaciones

De expansión y aislamientos

Color y textura de la superficie de acuerdo al modelo

Acabados de superficies hechas sin encofrados

Alineamiento de superficies , primer alisamiento, grietas de
contracción plástica.

Acabados de superficies hechas con encofrados

Condición de la superficie después de desencofrar (hormigeros, peladuras, agujeros de amarres líneas melladas de los encofrados, reparación de defectos, tratamiento de superficie, sin secamiento de la superficie.

Ensayos a realizar

Después del hormigonado

Protección contra daños

Impacto; sobrecargas, melladuras de superficies, manchas de goteo.

Tiempo de remoción del encofrado

Curado

Duración, métodos

Juntas

Limpieza y sellamiento



CAPITULO VIII

ENSAYOS

El siguiente capítulo es considerado de mucha importancia, básicamente varias de las conclusiones a las que vamos a llegar en la presente son consecuencia de los diferentes ensayos realizados.

Se decidió elaborar cinco diferentes paneles de hormigón arquitectónico, con igual tamaño cuyas dimensiones son de 80 x 80 x 10 cm. Debido a que el objetivo de las losas son para muestras, sin fines estructurales, no requieren de armadura.

Para fines de identificación a cada una de las losas de hormigón arquitectónico elaboradas las llamaremos:

Losa 1 .- Tipo de acabado: Empotramiento en arena

Losa 2 .- Tipo de acabado: Agregado expuesto a través de retardante químico, con un grado de exposición intenso

Losa 3 .- Tipo de acabado: Superficie con agregado expuesto de grado ligero

Losa 4.- Tipo de acabado: Superficie revestida de mortero blanco

Losa 5.- Tipo de acabado: Hormigón coloreado

Las dosificaciones empleadas para los paneles de muestra fueron realizados de la siguiente manera:

El primer paso fue determinar las proporciones de los componentes de los paneles:

Cemento	(Rocafuerte Portland Tipo 1E)
Agregado grueso	(Piedra homogenizada 5 - 25 mm)
Agregado grueso	(Grava del río Quevedo 3/4 a 3")
Agregado fino	(Arena homogenizada 0.15 - 4.8 mm)
Agregado fino	(Arena silicea del Oriente ecuatoriano)
Agua	(agua potable)
Pigmentos	
Aditivos	(Plastificantes y retardantes)

Para lo cual se tomó como referencia un diseño de hormigón convencional de resistencia a la compresión conocida de 280 Kg/ cm² .

Dosificación de hormigón con cemento gris

Materiales	Kg/m ³
Grava (piedra homogenizada)	1070
Arena	880
Cemento tipo 1E	280
Agua	205
Pozzolith 258- N	1.4

Dosificación para mortero con cemento blanco

Materiales	Kg/m ³
Arena	1260
Cemento	645
Agua	280
Plastificante	2.6

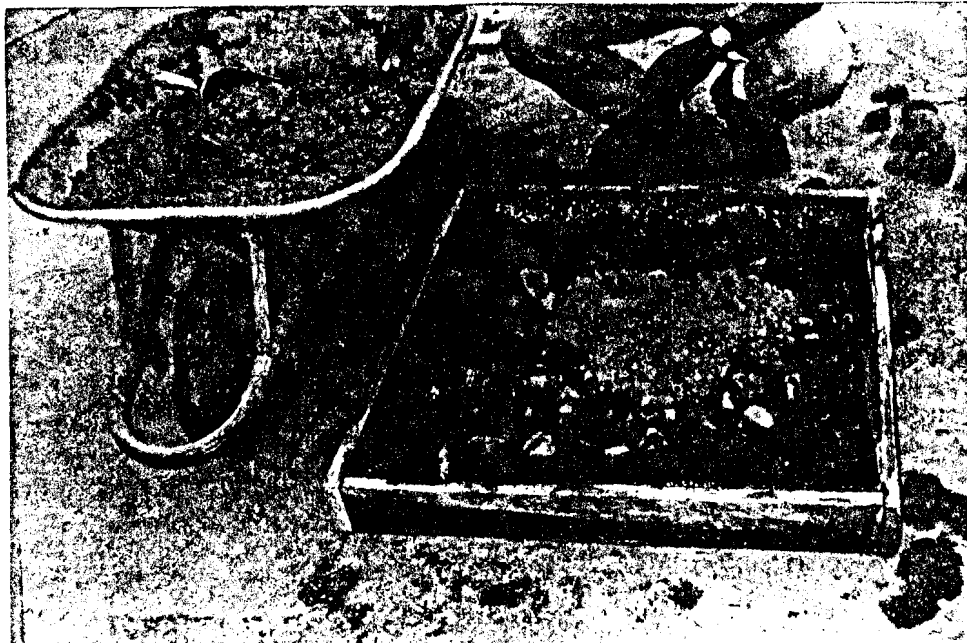
Metodología para la elaboración de los paneles o losas de muestra de hormigón arquitectónico

Losa # 1 .- En primer lugar se armó el encofrado, ubicándolo en un área totalmente plana con un plástico en el fondo, sobre el cual se colocó la cama de arena como

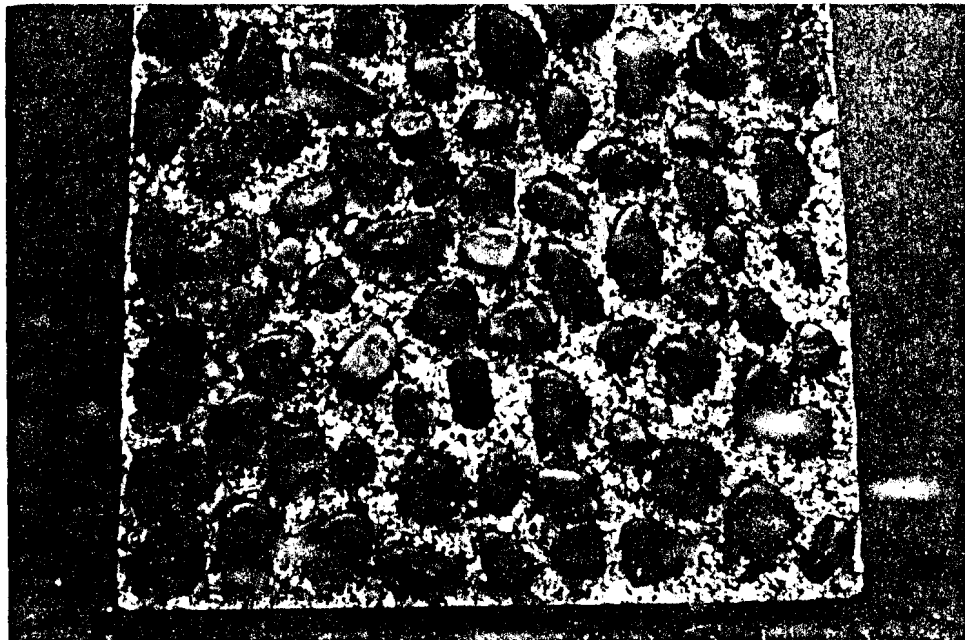
muestra la fotografía # 1. Una vez extendida la arena se acomoda las piedras que serán expuestas finalmente, de manera que la mitad del volumen de estas quede enterrada en la arena y la otra mitad descubierta para que se produzca la adhesión con el hormigón.

Previamente humedecida, vertimos la mezcla de hormigón, uniformemente, se utilizo un vibrador eléctrico, se niveló la superficie y por último se aliso. Al día siguiente se inicio el período de curado, que se sostuvo por los siguientes 15 días. Posteriormente desencoframos y volteamos el panel, luego se lavo la arena que cubría la grava de río con un chorro de agua. El acabado final lo dimos con la aplicación de un barniz transparente en dos etapas.

La fotografía # 2, nos muestra el singular acabado que opaca lo tradicional, la típica textura de la grava de río, muestra su brillo particular, que contrasta dentro de una matriz de hormigón gris acompañada de arena en una amplia gama de granulometría. La grava es proveniente del río Quevedo, seleccionada para la ocasión, posee una textura pulida creada por su ambiente natural, sus colores varían desde el amarillo verdoso hasta el gris oscuro, pasando por café en todas sus tonalidades. La forma de la grava no es homogénea, se presentan informalmente redondeadas, triangulares, trapezoides, ovoides, etc., donde la forma y colocación de cada una de ellas va a reflejar el elevado nivel artístico del diseñador.



Fotografía # 1 : Vaciado de hormigón sobre cama de arena, donde se han colocado ya los agregados a exponer.



Fotografía # 2 : Losa de hormigón con agregado expuesto mediante empotramiento en arena.

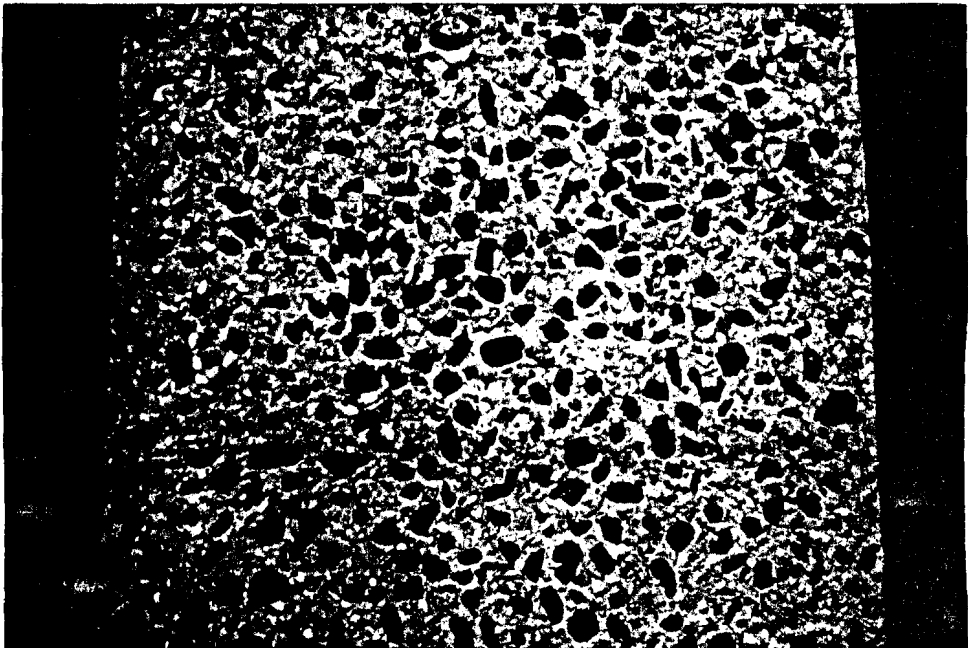
Losa # 2.- Este panel es vaciado con su cara expuesta hacia arriba, a diferencia del anterior. Una vez listo el encofrado vertimos la mezcla de hormigón, seguidamente introducimos un vibrador en forma vertical a distancias uniformes por toda el área. Antes de la nivelación, colocamos el agregado seleccionado que será expuesto posteriormente, siempre tratando de evitar que no se profundicen más de lo debido.

En este caso el agregado seleccionado es la grava del río Quevedo, con tamaños que van de 19 a 25 mm, de formas diversas pero con una textura homogénea característica de piedra de río. Utilizando una regla, el agregado quedó embebido totalmente en la losa de hormigón, como se puede observar en la fotografía # 3. La aplicación del retardante químico se la realiza inmediatamente después de enrasar la superficie de hormigón, con la ayuda de una bomba se rocía de manera uniforme el retardante sobre la superficie. Gracias a la acción del retardante, luego que han transcurrido unas cuatro horas, la superficie de la losa permanece fresca, fácilmente cepillamos y lavamos toda el área con el fin de eliminar los finos que estén en la superficie, de tal forma que lleguemos al grado de exposición requerido.

Las bondades de los materiales que se utilizaron crean una apariencia estética pero sencilla que ha sido reafirmada con un toque de recubrimiento transparente, en este caso vidrio líquido, logrando una disparidad entre la grava de río y la piedra homogenizada, como se observa en la fotografía # 4.



Fotografía # 3 : Se observa la grava de río totalmente embebida en la losa de hormigón, al momento de enrasar la misma.



Fotografía # 4: Losa de hormigón arquitectónico con agregado expuesto mediante retardante químico

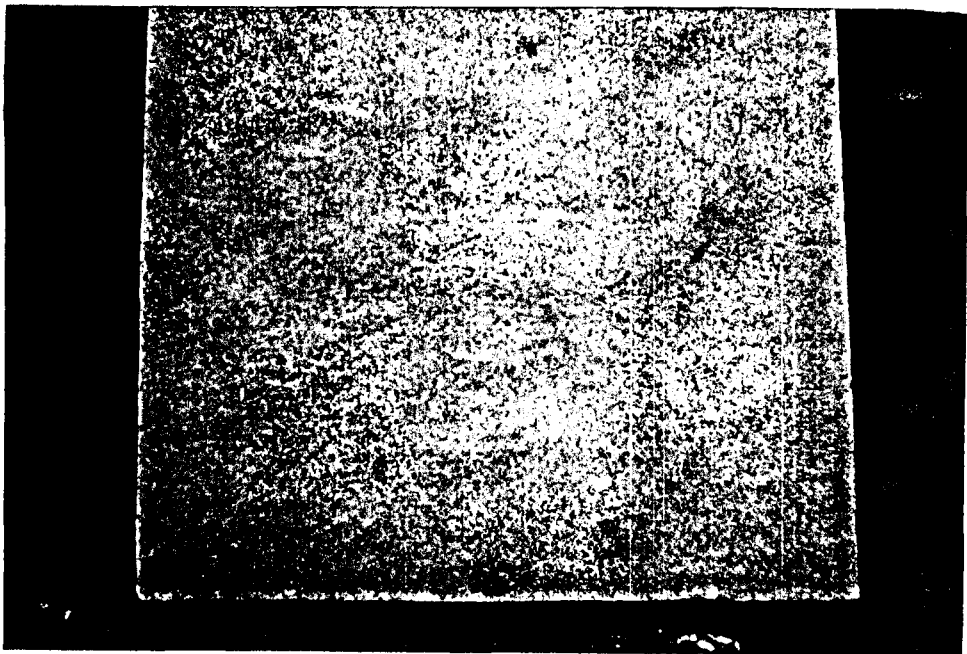
Losa # 3.- En esta ocasión variamos el tipo de agregado expuesto, debido a que el grado de exposición es ligero se utilizó un material de tamaño pequeño, como lo son las conchitas trituradas procedentes de la arena de mar, de la península de Sta. Elena.

Luego de seleccionar el material, se procedió a lavarlo y a tamizarlo por la malla # 30, donde el retenido en dicho tamiz es la fracción del material que utilizamos. Cabe mencionar que el procedimiento para la fabricación de todos los paneles es puramente experimental y por razones de economía solo la superficie vista fue realizada con cemento blanco. El vaciado de la losa, se efectuó en dos capas, en vista de que el molde tiene 10 cm de alto, 8 cm corresponden a la mezcla de hormigón con cemento gris y los 2 cm restantes a la mezcla de mortero blanco que contiene las conchitas trituradas.

Empleamos un plástico en el fondo del encofrado para facilitar la labor de desmoldar, una vez listo el encofrado vaciamos la capa de hormigón gris, haciendo uso del vibrador eléctrico se procedió a vibrar y a nivelar esta capa, transcurridos unos minutos, vertimos la capa superior y se extiende cuidadosamente sobre la superficie de manera que este totalmente nivelada. Seguidamente rociamos la superficie con un aditivo retardante y luego de cuatro horas, con un chorro de agua muy suave lavamos la fina capa de cemento blanco, hasta lograr el grado de exposición deseado. El

proceso de curado no difiere en nada con respecto a la práctica que se siguió en los diseños anteriores.

La fotografía # 5, nos muestra una superficie de hormigón en la que se exponen características definidas de las conchitas como textura, color y forma, que producen el efecto estético que actúa bajo circunstancias específicas del observador, tales como distancia, velocidad, etc.,.



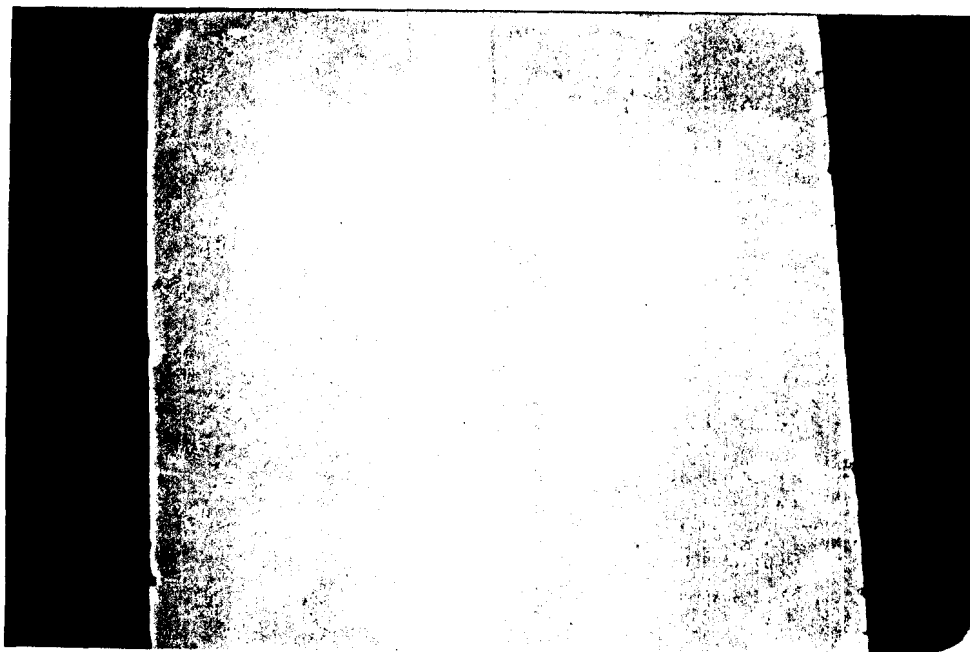
Fotografía # 5 : Superficie de hormigón con agregado expuesto (conchitas trituradas) de grado ligero.

Losa # 4 .- Se empleó el mismo procedimiento de fabricación de la losa # 3, con la diferencia que la capa superior es un mortero de cemento blanco con arena silícea y no se aplicó ningún tipo de retardante a la superficie terminada. El acabado final, lo conseguimos usando una lijadora eléctrica, que permitió eliminar la lechada de cemento en la superficie.

La fotografía # 6 , muestra el especial acabado del panel en cuestión, el que fue obtenido combinando factores que inciden principalmente en el color y la textura, tal como lo es la blancura del cemento y la pureza del agregado fino.

Era necesario realizar una comparación de acabado aplicándole un tipo de recubrimiento líquido, específicamente se empleó vidrio líquido en la mitad derecha de la superficie, en dos etapas. Los resultados como era de esperarse fueron una tonalidad variada en cuanto a la superficie que no tiene el recubrimiento.

Ambos acabados pueden lograr la atención de cualquier observador y por consiguiente cubren en su mayoría las exigencias estéticas que pueda imponerse un diseñador.



Fotografía # 6 : Losa de hormigón revestida con mortero blanco, la mitad derecha de la superficie ha sido recubierta por vidrio líquido que le da un tono de color diferente.

Losa # 5.- Conforme a lo estudiado, el hormigón coloreado crea un estilo diferente al ya tradicional de las pinturas como colorantes de los elementos de hormigón. El hacer uso de pigmentos minerales en la mezcla de hormigón, resulta en ciertos aspectos económico, cuidando la calidad y verificando la procedencia y la colocación se puede asegurar buenos resultados.

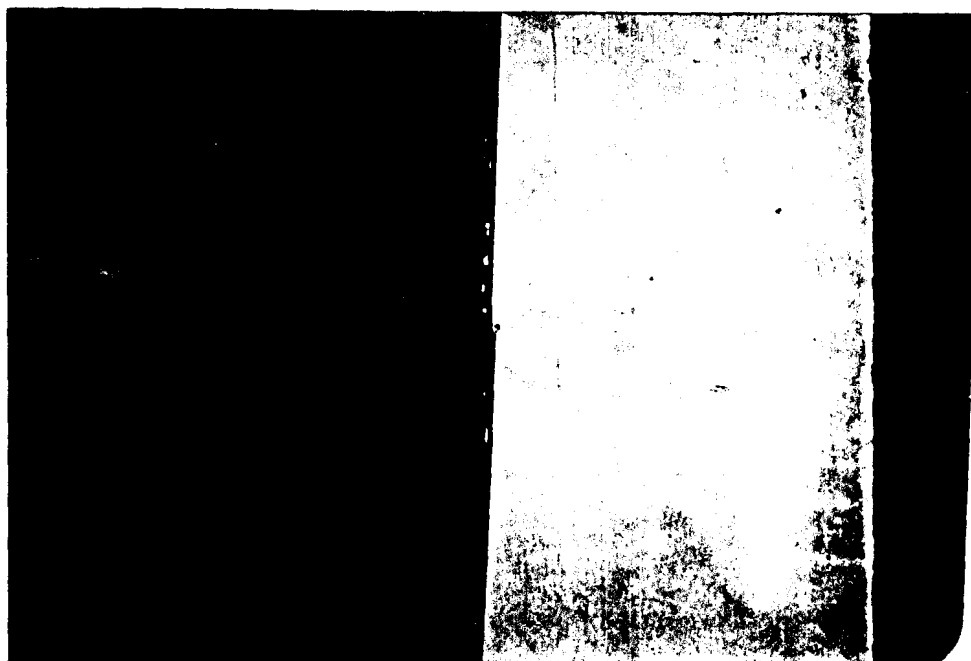
Los materiales utilizados para esta losa son: Cemento blanco (Náre, colombiano), arena silícea, arena homogenizada Huayco, piedra homogenizada Huayco, un aditivo incorporador de aire y pigmento rojo.

Conociendo con anterioridad que hay dos formas de obtener hormigón integralmente coloreado; se dividió el panel de 0.80 x 0.80 m en dos partes iguales. En la primera mitad se siguió el procedimiento de colocar el pigmento al momento de realizar la mezcla de hormigón, en una proporción del 10 % del peso del cemento. La mezcla resultante da un tonalidad rosado pálido, el acabado final se da con la llana, de manera que la superficie queda totalmente lisa. Es posible llevar a cabo cualquier otro tipo de acabado en una superficie como está, quedando solamente a criterio del diseñador.

La otra mitad se elaboró con la mezcla de hormigón blanco, sus componentes básicos en este caso la arena silícea, la piedra homogenizada y el cemento blanco. Luego de

colocarlo, vibrarlo y alizarlo esperamos unos minutos y cuando aún el hormigón no ha fraguado espolvoreamos el pigmento por toda la superficie de la manera más uniforme posible. Haciendo uso de la llana se obtiene una superficie completamente lisa. El curado del panel es muy importante para evitar los agrietamientos por retracción que son característicos.

Finalmente como se observa en la fotografía # 7, la mitad izquierda del panel presenta un color rosado intenso, se observa manchas blancas que son producidas por la mala calidad del pigmento utilizado y la mitad derecha presenta una superficie con un color rosado pastel casi homogéneo en su totalidad.



Fotografía # 7: Hormigón coloreado por dos métodos; espolvoreado en la superficie y mezclando el pigmento en la pasta de cemento.

CAPITULO # 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- La presentación o la estética de una estructura de hormigón simple o armado depende, en gran mayoría, de un adecuado proyecto en el que; se resalte la belleza natural de los ingredientes del mismo, se seleccione el apropiado método de acabado y además de manera importante el esmero en su ejecución.

2.- En los hormigones decorativos con agregado expuesto, el contraste entre la matriz de hormigón y el agregado propiamente, puede ser mucho más acentuado mediante el uso de agregados de colores opuestos al del cemento, ya que este es el compuesto que hace prevalecer en mayor grado su color dentro de la masa de hormigón. Con el mismo propósito queda a criterio del diseñador hacer uso de algún tipo de

recubrimiento transparente, en la superficie del agregado para proporcionarles una apariencia húmeda y natural.

3.- No cabe duda que el uso de cemento blanco en hormigones arquitectónicos es muy común, sin embargo puede ser un material muy caro y por ende de lujo. En estos casos la elaboración y aplicación de morteros de cemento blanco para enlucidos, puede ser una solución práctica, durable, económica y agradable a la vista para fachadas interiores y exteriores.

4.- Para garantizar la durabilidad de los hormigones arquitectónicos, es recomendable que el proyectista realice siempre un estudio adecuado de los distintos factores que inciden en la misma, como por ejemplo, la calidad de los agregados, tipo de cemento, relación agua cemento, el uso de aditivos entre otros.

5.- En el caso de hormigones coloreados, se recomienda hacer varias pruebas previas a la etapa constructiva, con los diferentes pigmentos a utilizar y considerar las posibles variaciones de consistencia, resistencia y principalmente la variabilidad del color, así como también las manchas que puedan afectar el acabado final de la superficie; considerando que un elemento fundido en sitio tiene un factor de riesgo, inherente a su única y primera vez, que no admite una segunda oportunidad.

6.- La aceptabilidad en el mercado de los elementos prefabricados de hormigón arquitectónico, asentará el interés de los diseñadores para la creación de más y mejores métodos de acabados de acuerdo con las necesidades de los consumidores.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Manual of Concrete Practice. Part I . 1996. ACI 116 R-90. Pag. 15
- 2.- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Manual of Concrete Practice. Part 3 . 1996. ACI 303 R-91. Pag. 14
- 3.- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Manual de Inspección del Hormigón. Publicación SP-2, Detroit 1985 . pag 269 - 290
- 4.- AGUADO ANTONIO - ALEJANDRO JOSE. Hormigones Arquitectónicos. Revista Cemento-Hormigón (IECA), N° 722 Agosto 1993. Pag. 874 - 895.
- 5.- ARNOLD PHILLIP, " Getting ahead with colored concrete: Ideas for improving landscape projects". Concrete Construction, September 1988.
- 6.- BUCHNER GERALD, " Concreto Coloreado ". IMCYC Construcción y Tecnología, Diciembre 1991 , Vol IV , N° 43 , Pag 20 - 24.
- 7.- ESQUEDA HUIDROVO, " El concreto precolado en la arquitectura " . IMCYC Construcción y Tecnología, Mayo 1992 , Vol IV , N° 48 , pag 33-40
- 8.- HURD M. K. , " Formwork for Concrete " . Fifth edition, Detroit 1989. ACI Committee - 347. Pag 472.
- 9.- KEEHN ROD, " Mortero de Color ". IMCYC Construcción y Tecnología, Julio 1992 , Vol V , N° 50 , Pag 18 - 22.

- 10.- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO, " Concreto Arquitectónico colado en obra ". ACI 303. 1992 , Pag 90.
- 11.- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO, " Concreto Arquitectónico ". (Noriega - Limusa) 1990 , Pag 65.
- 12.- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO, " Problemas del Concreto, causas y soluciones ". 1990 , Pag 266.
- 13.- INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGON, "Prefabricación de elementos sencillos de hormigón ". Aportes técnicos N° 15, Santiago 1985 , Pag 88.
- 14.- MINDESS SIDNEY - YOUNG FRANCIS , " Concrete Practice ", Prentice-Hall , INC New Jersey 1981, Pag 117-202, 236-339.
- 15.- NEVILLE ADAM, " Tecnología del Hormigón " . IMCYC Tercera Edición 1992 , Pag 93-193 , 244. 1214 pp.
- 16.- PELAEZ LUIS GUILLERMO, " Concreto Arquitectónico : Alternativa vigente a través de su constante renovación ". Reunión del concrete 1990, ASOCRETO, Tomo I. Pag 14.
- 17.- PRECAST - PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, " Architectural Precast Concrete " . Second edition 1989. Pag 360.
- 18.- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, " Color and Texture in Architectural Concrete ", 3d Concrete Materials, 1980. Pag 32.