

HORMIGONES ARQUITECTÓNICOS

1. GENERALIDADES

El Hormigón Arquitectónico es la superficie exterior o interior del mismo, ya sea este especial o convencional, que a través de la aplicación de un acabado, forma, color, o textura contribuye a la apariencia arquitectónica y acabado final de la estructura.

El hormigón arquitectónico está permanentemente expuesto, por lo que requiere de un especial cuidado en la selección de los materiales y encofrados que se emplean en su elaboración, así como en el colado y el acabado final.

2. CLASIFICACIÓN

HORMIGÓN PREMOLDEADO

- GENERALIDADES
- CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO
 - Criterios Generales de Aceptación
 - Criterios de Diseño Arquitectónico
 - Criterios de Diseño Estructural
 - Paneles de Muestra
 - Repetición
 - Uniformidad
 - Especificaciones
- APLICACIÓN – USOS
- MANIPULACION, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN

HORMIGÓN MOLDEADO IN – SITU

- GENERALIDADES
- CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO
 - Criterios Generales de Aceptación
 - Criterios de Diseño Arquitectónico
 - Criterios de Diseño Estructural

- Paneles de Muestra
- Especificaciones
- APLICACIÓN – USOS

COMBINACIÓN DE HORMIGONES PREMOLDEADOS Y HORMIGONES MOLDEADOS IN – SITU

2.1. HORMIGÓN PREMOLDEADO

2.1.1 GENERALIDADES

Son los elementos o unidades de hormigón, simples o reforzados, moldeados en fábrica y transportados a obra.

La variedad de formas y tamaños posibles que se obtienen gracias a su plasticidad y versatilidad permiten romper con la monotonía de diseño que presentan otros materiales.

Además, ofrece múltiples ventajas: posee excelentes características acústicas, térmicas y de resistencia al fuego, el proceso de producción estándar asegura la uniformidad y calidad del producto final, la producción de los elementos se efectúa simultáneamente con la ejecución de la obra reduciendo el tiempo de construcción al mínimo, lo cual garantiza la máxima rentabilidad y reducción de costos.

2.1.2 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

En el Manual de Diseño del “Architectural Precast Concrete” **[1]** están ampliamente desarrollados los siguientes criterios de diseño y especificaciones para la construcción de hormigón arquitectónico premoldeado.

Criterios Generales de Aceptación

Se requiere que el acabado final de la superficie del hormigón presente un aspecto agradable, con mínimas variaciones de color y textura tal como lo establecen los paneles de muestra aprobados a una distancia de 3 m, a simple vista y en condiciones normales de iluminación.

Del mismo modo, no se debe divisar ningún defecto o imperfección, además de las mínimas variaciones de color y textura, a una distancia de 6 m u otra especificada.

Criterios Generales de Diseño Arquitectónico

Ya que las unidades de hormigón arquitectónico premoldeado entran en contacto con otros materiales o elementos dentro de la edificación, un buen proyecto arquitectónico debe considerar el adecuado diseño de uniones y conexiones, la inserción de ventanas y cristalería, propiedades acústicas, conservación de energía, protección contra incendios y cubiertas.

Criterios Generales de Diseño Estructural

En cuanto al diseño estructural de las unidades premoldeadas se deben considerar los siguientes criterios: la forma y su influencia en el diseño de moldes y encofrados, las propiedades estructurales del hormigón, el diseño de sistemas de conexión y sujeción, determinación de cargas para su manipulación, transporte y colocación, diseño de refuerzos, y tolerancias.

Paneles de muestra

Los paneles de muestra sirven para analizar y probar las técnicas constructivas, materiales, aplicación de acabados, técnicas de limpieza y reparación, variaciones de color y textura, entre otros, facilitando la selección de los mismos para una obra específica. Estos paneles pueden ser muestras pequeñas o modelos a escala real de un elemento o unidad que permitirán establecer límites y criterios de aceptabilidad, además de servir de referencia para la cotización de las unidades.

Repetición

La repetición es un factor determinante para lograr la mayor economía en el desarrollo de unidades premoldeadas, ya que de esta manera se reduce el alto costo de los moldes o encofrados. Para obtener los mejores resultados, es necesario un planeamiento adecuado en el diseño y fabricación de los moldes y, en el diseño de la configuración y tamaño de las unidades.

Uniformidad

Los elementos de hormigón premoldeado son fabricados con materiales naturales, que poseen ciertas limitaciones.

Los criterios de uniformidad establecidos gracias a los paneles de muestra, están dentro de dichas limitaciones, y sirven de referencia para el desarrollo de las unidades premoldeadas. Se obtiene una mayor uniformidad con el adecuado diseño y selección de formas, materiales, colores, texturas y acabados.

Especificaciones

Las especificaciones son un complemento escrito de los planos estructurales y arquitectónicos de un proyecto, que permiten definir ciertos criterios tales como: el tipo y calidad de los materiales empleados o incorporados en la unidad, diseño de la resistencia del hormigón, acabados, tolerancias para el moldaje, manipulación y transporte, métodos y técnicas de fabricación, limpieza, reparación y mantenimiento, y criterios de aceptabilidad tanto de la unidad como del conjunto.

2.1.3 APLICACIÓN - USOS

- Paredes exteriores
- Paredes no – portantes
- Paredes 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 huecos, baldosas y tejas
- Muros de contención
- Balcones, barandas, pasamanos, cercas y bordillos

2.1.4 MANIPULACIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN

A medida que se ha ido desarrollando los productos prefabricados o premoldeados también se han mejorado las técnicas de conexión y montaje. Los elementos son transportados desde su lugar de fabricación hasta la obra, donde son elevados directamente a su posición final.

Ya que, tanto el transporte, manipulación y colocación de las unidades de hormigón premoldeado son factores que están relacionados directamente con el diseño de los mismos, se deben considerar la geometría del elemento, la resistencia estructural del mismo, los sistemas de sujeción y conexión, las limitaciones de tratamiento, tamaño y peso en cuanto a las restricciones del equipo, la disponibilidad del equipo y personal adecuado en planta y en obra, así como el espacio necesario para su movilización y adecuado manejo, el espacio de almacenamiento disponible, la configuración de la edificación y de las edificaciones cercanas, y ciertas soluciones prácticas que faciliten el proceso, tal como las condiciones de

desencofrado que permitan elevar la pieza directamente a su posición final en el edificio.

2.2 HORMIGÓN MOLDEADO IN - SITU

2.2.1 GENERALIDADES

Es el hormigón colado en obra en la posición final que ocupará en la estructura de la edificación.

2.2.2 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

De acuerdo al ACI 303 [2] se deben considerar los siguientes criterios de diseño y especificaciones para la construcción de elementos de hormigón arquitectónico moldeado in – situ.

Criterios generales de aceptación

Al igual que en el hormigón premoldeado, las superficies de hormigón arquitectónicamente aceptables deben tener un aspecto agradable y uniforme con mínimas variaciones de color y textura, y el menor número posible de defectos en la superficie al observarlas a una distancia de aproximadamente 6 m, u otra especificada.

Criterios generales de diseño arquitectónico

Dentro de los criterios de diseño arquitectónico que permiten obtener resultados aceptables, podemos mencionar: separación o división de las superficies de hormigón en áreas manejables mediante la incorporación de patrones rústicos o juntas determinando un efecto de panelización, planeación sistemática para integrar las juntas de construcción a los requisitos estructurales y a las posibles secciones de colocación del hormigón, empleo de moldes o encofrados con superficie texturada, acabados de hormigón texturado o de otras características de relieve, y eliminación de grandes superficies de hormigón lisas e ininterrumpidas.

Criterios generales de diseño estructural

Tanto el diseño estructural como el arquitectónico deben funcionar en perfecta armonía para producir edificios capaces de soportar las cargas de servicio y esfuerzos sin agrietamiento, descascaramiento o deflexión excesiva que puedan desvirtuar el aspecto arquitectónico de la estructura. Es por esto que se debe poner atención especial en el diseño estructural de juntas, columnas, vigas, losas y muros.

Paneles de muestra

Al igual que en el hormigón premoldeado, es recomendable realizar paneles de muestra de elementos representativos para su inspección, examen y cotización.

El panel de muestra deberá ser construido con los materiales y técnicas que se emplearán en la obra, incluirán un área de reparación, que será juzgada con un mínimo de un mes de edad, y permitirá un amplio estudio de la factibilidad de construcción en cuanto a materiales, tratamientos y procedimientos.

En algunos casos, se puede emplear como panel de muestra elementos ya colados en partes de la estructura de poca importancia o poco visibles, como lo son los muros de los sótanos.

Especificaciones

Las especificaciones para Hormigón moldeado in – situ pueden ser de dos tipos: las especificaciones de comportamiento determinan la calidad del producto terminado en cuyo caso la responsabilidad recae sobre el contratista y, las especificaciones de prescripción que determinan los métodos, materiales y procedimientos detallados de la construcción, o una combinación de ambos.

2.2.3 APLICACIÓN - USOS

- **Paredes de hormigón visto**
- **Pavimentos texturados**

2.3. COMBINACIÓN DE HORMIGONES PREMOLDEADOS Y HORMIGONES MOLDEADOS IN – SITU:

Generalmente el hormigón premoldeado se combina con elementos de hormigón arquitectónico moldeados in – situ a través del color, textura y tipo de acabado.

Para una combinación adecuada se debe planear con anterioridad todos los ajustes necesarios que permitan obtener la mayor uniformidad. Del mismo modo, el trabajo realizado en obra debe avanzar paralelamente al realizado en fábrica, utilizando los mismos materiales y técnicas de encofrado y curado, para asegurar la mayor igualdad en el color y textura de la edificación.

Si la obra justifica el empleo de paneles de muestra estos deben realizarse para los dos tipos de hormigones, determinando así con ellos el tipo de

mezcla adecuado, técnicas de colocación y consolidación, los procedimientos de acabado y, las pruebas de reparación y limpieza que se ajusten a los dos.

3. ACABADOS

FORMA

- MOLDES Y ENCOFRADOS
- CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

TAMAÑO

COLOR

- CEMENTO
- AGREGADOS
- PIGMENTOS
- VARIACIONES EN EL COLOR

TEXTURA

TIPOS DE ACABADOS

- GENERALIDADES
- TIPOLOGÍA

REPARACIÓN Y LIMPIEZA

- REPARACIÓN
- LIMPIEZA

INTEMPERIZACIÓN

Los acabados generalmente se clasifican en dos grandes grupos:

- A. Superficies tratadas en las cuales el mortero es el principal constituyente visible y, cuya textura se obtiene a través de la superficie del molde o encofrado.
- B. Superficies tratadas que exponen los agregados subyacentes.

El acabado de la superficie depende en gran parte de la correcta selección y aplicación de los moldes. Es por esto que el diseñador debe considerar: la apariencia arquitectónica que desea obtener, la calidad y el costo de ella. La calidad del acabado, a su vez, depende de la durabilidad tanto de los materiales y componentes individuales como del producto final propiamente dicho.

Los diferentes tipos de acabados, así como su color y textura se pueden obtener en tres fases del proceso constructivo: acabados previos a la etapa de colado a través de la superficie del molde, acabados logrados durante el proceso de colado, y acabados posteriores a la etapa de colado y fraguado.

3.1. FORMA

MOLDES Y ENCOFRADOS

- Tablas de madera
- Plywood o madera laminada multicapa
- Acero
- Aluminio y Magnesio
- Plástico
- Moldes desechables de Yeso
- Encofrados de Hormigón

CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

- Especificaciones
- Tolerancias
- Desencofrado

La forma de un elemento de hormigón arquitectónico es uno de los factores de mayor influencia en el costo del mismo.

Generalmente las formas pueden ser: abiertas o cerradas. Un panel de ventana es un ejemplo de forma cerrada, mientras que la misma ventana sin su antepecho es una forma abierta.

Las formas abiertas son más delicadas y requieren de mayores refuerzos, lo cual aumenta su costo. Además, son más difíciles de manipular y almacenar. En todo caso, las limitaciones de las unidades abiertas pueden disminuirse con un adecuado proporcionamiento. Por otro lado, las formas cerradas ofrecen mayor rigidez y facilidad en su manejo, por lo cual se prefieren en el diseño de elementos premoldeados.

Tanto las formas abiertas como las cerradas se pueden combinar para obtener mayor rigidez, considerando un adecuado proporcionamiento dentro de los límites de resistencia y tolerancia de los elementos.

3.1.1 MOLDES Y ENCOFRADOS

La forma del hormigón arquitectónico se consigue a través de encofrados y moldes. Estos son diseñados para evitar imperfecciones y manchas en la superficie del hormigón.

Por este motivo, se necesita una mezcla más cohesiva y plástica, con una mayor proporción de materiales finos de los que requiere el hormigón estructural, además de un cuidado especial en las técnicas de cierre, juntas, y sellado de los materiales del molde.

Ya sea que se empleen para elementos premoldeados o para elementos moldeados in situ, los encofrados **[3]** deben ser de manera general:

- Rígidos para fabricar piezas con las medidas correctas y dentro de las tolerancias exigidas.
- Durables para reutilizarlos sin costos adicionales.
- Fáciles de manejar para un montaje y desencofrado rápido, sin golpes que puedan dañar al hormigón.
- Herméticos con sistemas de cierre y ajustes adecuados para evitar pérdidas de lechada o mortero. En algunos casos se utilizan sellos o empaquetaduras que aseguran su hermeticidad.
- Lisos y de formas adecuadas: para evitar la adherencia del hormigón y permitir una fácil limpieza.
- Versátiles de preferencia adaptables a diversos perfiles.

De acuerdo al ACI 303 **[2]** existe una variedad ilimitada de materiales para encofrados. Entre ellos se incluyen la madera, plywood, metales tales como acero, aluminio y magnesio, plásticos (reforzados o sin reforzar), moldes desechables de yeso, y forros ya sea de plástico rígido o elastomérico. Cada material tiene sus ventajas y limitaciones.

Tablas de madera

La madera es un material para encofrados que se puede emplear con mucha facilidad. Puede tener una superficie lisa, puede estar aserrada con acabado rugoso, o sopleteada con arena para transmitir cierta textura a la superficie del hormigón. Las características de desencofrado dependerán de la clase de madera, del tiempo y las condiciones de exposición durante su almacenamiento, así como de otros factores.

Los moldes de madera pueden alterar el color de la superficie del hormigón desencofrado a través de variaciones en la absorción de las diferentes partes de la tabla. Las partes más permeables absorberán más agua del hormigón fresco y reducirán la relación agua – cemento produciendo un color más oscuro en la superficie. Las sustancias orgánicas en la madera pueden dar como resultado superficies de hormigón de color

más oscuro y, algunas veces, pueden causar empolvamiento. Los agentes desmoldantes no corrigen estos defectos.

Con cada uso del encofrado, el efecto de oscurecimiento de la madera sobre la superficie del hormigón va disminuyendo. Cuando el encofrado se ha utilizado varias veces, puede esperarse una variación considerable en el color de la superficie de hormigón, desde el primer hasta el último uso.

Para lograr un color uniforme en la superficie es aconsejable obtener toda la madera de la misma fuente de aprovisionamiento, y emplear un recubrimiento o sellador de encofrado. Si se desean variaciones de color controladas, se puede utilizar madera de distintas fuentes.

La madera para encofrados se utiliza pocas veces debido a su menor durabilidad, la cual puede duplicarse si se forra interiormente con chapas o láminas de acero. Además tienen el inconveniente de que sus dimensiones no son estables debido a las variaciones volumétricas de la madera o al desajuste de los sistemas de fijación.

Plywood (madera laminada multicapa)

Se puede emplear plywood tratado con resinas fenólicas, el cual proporciona una superficie uniforme y casi impermeable. Cuando se desea transferir la veta de la madera al hormigón debe evitarse el empleo de recubrimientos impermeabilizantes. En caso de que se emplee un sellador o impermeabilizante no se debe mezclar diferentes tipos o marcas comerciales. El sopleteado con arena sobre la superficie del plywood proporcionará una textura rugosa al hormigón.

Acero

Las superficies de acero son impermeables y proporcionan un color uniforme. El revestimiento de acero debe ser lo suficientemente grueso para soportar la carga entre sus elementos de apoyo, con el fin de mantener las deflexiones dentro de límites aceptables.

Se recomienda el uso de agentes desmoldantes que contengan algún anticorrosivo, para reducir la posibilidad de que aparezcan manchas de óxido.

Para moldear hormigón de cemento portland blanco o de color claro, el revestimiento de acero debe someterse a limpieza con ácido a fin de eliminar las escamas de laminación y, así evitar las manchas en superficies de diferentes características.

El molde de acero galvanizado puede causar la adherencia del hormigón y, por lo tanto, su uso debe evitarse. Si se emplean moldes galvanizados se puede disminuir la adherencia usando una solución del 5% de trióxido crómico. Además se recomienda limpiar las soldaduras del molde con añil (del tipo que se usa en lavandería).

Aluminio y Magnesio

Las aleaciones de aluminio y magnesio pueden emplearse con éxito cuando son compatibles con el hormigón. Si bien no existe ningún método estándar para probar dicha compatibilidad, el mejor indicador es la experiencia adquirida con la práctica en el empleo de encofrados, mezclas y técnicas de curado que hayan dado buenos resultados.

Plástico

Los plásticos desempeñan cada vez un papel más importante en la práctica del moldaje del hormigón arquitectónico gracias a su superficie impermeable y a su capacidad de ser moldeados con cualquier patrón o textura. No causan la decoloración que es tan común con la mayoría de los materiales de encofrado de tipo absorbente. El empleo de materiales lisos para el moldaje puede dar como resultado una variación en el color conocida como transparencia del agregado.

Los moldes plásticos se emplean para obtener superficies brillantes, que deben tratarse con precaución pues, expuestas a la intemperie pierden su brillo, ya sea por la humedad o sequedad del ambiente o por condiciones de congelación o deshielo.

Los encofrados plásticos pueden ser tanto reforzados como no reforzados.

Moldes desechables de Yeso:

Para el diseño especial de naturaleza compleja y detallada se puede emplear moldes desechables de yeso. El hormigón se coloca sobre estos moldes, que luego se rompen para remover la pieza terminada.

Ya que los moldes de un solo uso son relativamente costosos deben emplearse sólo para elementos que no se tengan que repetir, o cuando no es posible encofrar formas complicadas mediante otros métodos más sencillos. con moldes desechables de yeso debe emplearse un antiadherente efectivo.

Encofrados de hormigón

Están constituidos por una pieza de hormigón monolítico, confeccionada con una matriz apropiada, que permite una gran precisión y durabilidad. Otra alternativa son las superficies de hormigón utilizadas como molde de fondo con encofrados laterales de madera o acero. Su vida útil puede alcanzar 200 usos o más dependiendo de la calidad de su ejecución y el mantenimiento que reciba.

La superficie no debe tener un mínimo de irregularidades, debe ser lo más lisa posible y suficientemente resistente para evitar la adherencia del hormigón y desprendimiento de la capa superficial. En algunos casos la superficie interior se reviste con resinas epóxicas o poliésteres que mejoran su calidad superficial.

3.1.2. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

Entre los principales criterios de diseño, de acuerdo con el ACI 347 [4], se deben considerar: la localización y tratamientos especiales de las juntas y detalles, tamaños y espacios para amarres e insertos, textura de la superficie del molde, y el empleo de aditivos, entre otros.

Especificaciones

Las especificaciones sobre moldes y encofrados son las mismas del hormigón moldeado in – situ: especificaciones de comportamiento, de prescripción y una combinación de ambas. Además, se puede hacer referencia a los paneles de muestra aprobados y a las conferencias previas a la cotización.

Tolerancias

Las tolerancias se especifican principalmente para el dimensionamiento. Se pueden consultar los estudios ACI 117 [5] y ACI 347 [4], tomando en cuenta que dichas tolerancias se refieren a la generalidad de hormigones, siendo las tolerancias para el hormigón arquitectónico más restrictivas. No se establecen límites numéricos, ya que intervienen otros factores predominantes como la textura, iluminación y configuración del elemento.

Desencofrado

La fase de desencofrado es una de las más importantes para obtener un resultado aceptable. En general, se debe evitar cualquier daño o imperfección en el hormigón durante este proceso. Es por esto, que el hormigón debe tener una resistencia mayor a la especificada para el desencofrado, ya sea mediante el diseño de la mezcla o dejando la pieza en el encofrado 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 y, si se deja por mucho tiempo en el molde la superficie presentará un color más oscuro. Para obtener una mayor uniformidad y calidad de las superficies el tiempo de desencofrado y el proceso de curado deben ser iguales.

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

En algunos casos, se aplica un agente desmoldante para facilitar el proceso de desencofrado y facilitar la acción de retardantes de superficie u otro tipo de aditivo. La elección del agente desmoldante dependerá de muchos factores **[2]**, entre ellos: su compatibilidad con el material o recubrimiento del molde, su efecto sobre el tiempo de desencofrado, su efecto en relación al clima, uniformidad de comportamiento, cumplimiento de los reglamentos ambientales de la localidad, si producirán decoloración o manchas en la superficie, y su posible incompatibilidad o interferencia en la aplicación de otros materiales sobre el área de contacto con el molde.

Después del desencofrado todas las piezas o moldes que se usen nuevamente deberán ser limpiadas, reparadas (en caso necesario), y almacenadas según su tamaño y material para evitar cualquier daño o deformación de los mismos.

3.2 TAMAÑO

El tamaño de un elemento de hormigón, ya sea premoldeado o moldeado in – situ, es un factor que tiene influencia sobre los requerimientos estructurales y la economía de la construcción.

Para determinar el tamaño adecuado de la pieza se deben tomar en cuenta: las condiciones de manipulación, transporte y colocación, el espacio de almacenamiento y otras restricciones de espacio (si se trata de un elemento prefabricado), la forma, color, textura y el tipo de acabado diseñado, y los esfuerzos que deberá resistir, entre tantos otros factores, relacionados entre sí.

3.3 COLOR

CEMENTO

AGREGADOS

PIGMENTOS

- Aditivos Colorantes
- Pigmentos de óxidos minerales
- Endurecedores de color en polvo

VARIACIONES EN EL COLOR

El color en el hormigón se puede obtener a través de la variación en el color de la matriz o los agregados, por el tamaño y grado de exposición de los mismos, por la aplicación de aditivos colorantes y pigmentos, y de manera general, por los procesos de acabado y la textura final de la superficie.

3.3.1 CEMENTO

El color del cemento determina en gran parte la colocación del hormigón. Los cementos portland o los cementos especiales empleados en el hormigón arquitectónico deben cumplir con los requisitos especificados en las normas ASTM C150 [6], C595 [7], y C845 [8], o en otras normas aprobadas.

Los cementos pueden ser grises, blancos, marrones, amarillos, verdes o una mezcla de los mismos. El cemento blanco es un cemento portland fabricado de acuerdo con las especificaciones del ASTM C150, que presenta mínimas variaciones y mayor uniformidad.

Mediante la adición de pigmentos al cemento blanco durante su proceso de fabricación se puede obtener cementos de colores disponibles en amarillo, café claro, negro, naranja, rosa y canela; con una intensidad y uniformidad satisfactorias.

Los cementos grises y marrones están sujetos a una mayor variación de tonalidades, aunque provengan de una misma fuente.

A fin de minimizar las variaciones de color, se debe emplear cemento del mismo tipo y marca, de la misma fábrica y de las mismas materias primas para todo el hormigón de una obra. [2]

3.3.2 AGREGADOS

Existen varios colores de agregados: blanco, tonalidades pasteles, rojo, verde y negro. Además las gravas naturales ofrecen una gran variedad de tonalidades cálidas, tierra y grises. A menos que el acabado consista en

una exposición de los mismos, el color del agregado grueso no es un factor significativo.

La arena sí es un factor que puede afectar a la coloración del hormigón. Esto se debe, a que la mayor parte de las arenas conservan un alto contenido de residuos y polvo, aún después de su lavado. Estos residuos pueden añadir un color adicional, o aparecer en la superficie del hormigón a medida que esta se expone a la acción de la intemperie.

3.3.3 PIGMENTOS

Los pigmentos para una coloración integral del hormigón pueden ser de dos tipos: aditivos colorantes y pigmentos de óxidos minerales. Además, existen ciertos aditivos o pigmentos que actúan sobre la superficie del hormigón, sin llegar a una coloración integral; tal es el caso de los endurecedores colorantes en polvo.

- a) Aditivos colorantes: son los mejores ya que permiten una mayor uniformidad en la superficie del hormigón y colores de gran permanencia. Cumplen con las normas del ASTM C494 **[9]**. Los aditivos colorantes aseguran una dispersión uniforme del color de la mezcla, aumentan su resistencia, eliminando los agrietamientos, mejoran las condiciones y características de trabajabilidad, colocación y acabado y disminuyen la decoloración y eflorescencia.

Se comercializan en sacos con la dosis exacta para una yarda cúbica de hormigón. Gracias al estricto control de calidad en su elaboración, no existen variaciones en los diferentes lotes, aún después de largos períodos de tiempo, lo cual favorece a construcciones de gran escala que se desarrollan por fases.

- b) Pigmentos de óxidos minerales: los pigmentos de óxidos minerales deben cumplir con las exigencias del ASTM C979 **[10]**. Puede añadirse a la matriz para obtener colores que no se pueden crear a través de la combinación de cementos y agregados. Los que se emplean con mayor frecuencia son los óxidos minerales finamente molidos, ya sean naturales o sintéticos.

Por lo general los óxidos sintéticos ofrecen resultados muy satisfactorios, pues tienen tonos más atractivos, mayor permanencia y menor comportamiento. Sin embargo, pueden reaccionar químicamente con otros productos empleados en la superficie, tales como los retardantes y el ácido muriático, por lo que deben ser sometidos a prueba antes de utilizarlos.

Los pigmentos no son formulados exclusivamente para coloración del hormigón, por lo que se emplean usualmente cuando la uniformidad en el color no es un factor crítico.

Altos porcentajes de pigmentos pueden reducir la resistencia del hormigón debido al gran porcentaje de finos que introducen en la mezcla, y a la gran demanda de relación agua – cemento que generan.

La cantidad de pigmentos en la mezcla debe proporcionarse dentro de los márgenes de resistencia y absorción requeridos.

En ciertos casos esto se dificulta por el sistema de comercialización, que los distribuye en sacos de peso uniforme. Ya que el material se pesa en la mezcladora antes de colocar el hormigón, el margen de error en las dosificaciones restará uniformidad en el color de los diferentes lotes.

El tono del color depende de la cantidad de pigmentos que se emplee. La cantidad de pigmento se expresa como un porcentaje del contenido de cemento por peso. Si dicha cantidad excede el 5% no aumentará la intensidad del color, pero si pasa del 10% puede perjudicar la calidad del hormigón.

- c) Endurecedores de color en polvo: tanto el cemento como los agregados y los pigmentos permiten una coloración integral del hormigón, pero existen otros métodos que simplemente colorean la superficie del mismo. Mediante endurecedores de color en polvo se obtienen colores más brillantes y atractivos, o se resalta el color integral del hormigón.

Estos endurecedores de color en polvo son una mezcla de cemento, pigmentos colorantes, agentes acondicionadores, y agregados graduados finamente triturados y pulverizados.

La mezcla se empareja con llana sobre la superficie humedecida del hormigón formando una capa resistente, durable e impermeable.

Ya que el color se concentra en la superficie se obtienen una gran variedad de colores y tonos más intensos que los obtenidos a través de la colocación integral.

Cuando se emplea cemento blanco en su fabricación se obtiene casi cualquier color o tonalidad de manera económica y con excelentes resultados. El precio de esta mezcla varía según el color.

Generalmente se emplean en pavimentos estampados ya que la variedad de colores que ofrecen permiten simular el color natural de

cualquier material, ofreciendo al mismo tiempo superficies más resistentes y de gran durabilidad.

3.3.4 VARIACIONES EN EL COLOR

Los colores y sus tonalidades representan colores relativos que dependen de la luz, sombra, tiempo y de los colores de edificios o instalaciones cercanos. Por consiguiente, la tonalidad de los colores variará de acuerdo a la ubicación del sol durante el día. Del mismo modo, la contaminación ambiental puede producir variaciones en el color de una superficie de hormigón. Otro factor que afecta directamente al color es la textura.

3.4 TEXTURA

La textura define la escala de la edificación, expresa la plasticidad del hormigón, proporciona características de intemperización a la misma y, permite expresar la naturaleza de los ingredientes del hormigón.

El acabado de la superficie resalta el diseño de la edificación y proporciona sensibilidad al hormigón. Como regla general se puede decir, que las superficies texturadas poseen estéticamente 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.

Las texturas pueden obtenerse a través de moldes y forros texturados, exponiendo los agregados gruesos mediante cualquier técnica, ya sea antes o después del fraguado del hormigón y a través de herramientas que modifiquen la superficie del hormigón ya endurecido.

Al escoger un patrón o textura se deben considerar ciertos factores:

- a) Area de la superficie: esto afecta a la escala de la textura. Texturas gruesas no siempre sirven para áreas pequeñas. El dividir grandes superficies planas en otras de menor tamaño mediante una textura rústica puede disimular pequeños defectos o imperfecciones.
- b) Distancia de visibilidad: el diseñador debe buscar texturas pronunciadas para obtener la apariencia arquitectónica deseada. Es por esto que debe considerar el patrón y el tamaño de los agregados al escoger el diseño de los elementos, considerando las normales distancias de visibilidad.
- c) Orientación de la elevación del edificio: este factor determina la cantidad y la dirección de la luz que se reflejará en la superficie del elemento, además de indicar como se expone a la intemperie.

- d) Características de la superficie y forma de las partículas del agregado: para texturas con exposición de agregados, debe considerarse que estos últimos pueden ser redondos, irregulares, planos o angulares. Su superficie puede ser brillante, suave, granular, cristalina, porosa o picada. 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.

Además del efecto visual de la textura a una distancia razonable, estas se pueden emplear para obtener colores basados en la matriz y en los agregados expuestos. El tamaño del agregado dependerá de la configuración del panel.

3.5 TIPOS DE ACABADO

GENERALIDADES

TIPOLOGÍA

- Acabado liso o llano
- Agregados expuestos a través de retardantes químicos
- Forros o recubrimientos
- Sopleteado abrasivo o con arena
- Grabado ácido
- Martelinado
- Nervaduras o canales martelinados o fracturados
- Empotramiento en arena
- Esmerilado o pulido
- Pintado
- Piedra artificial precolada

3.5.1 GENERALIDADES

Existe una gran variedad de tratamientos para las superficies de hormigón arquitectónico y la combinación de los mismos es limitada.

Las superficies lisas o ligeramente texturadas se pueden obtener a través de moldes adecuados, como los de plástico, acero y plywood debidamente tratados.

Las superficies texturadas se pueden lograr a través de sopleteado abrasivo o con arena, martelinado, grabado ácido, esmerilado, o mediante otro tipo de herramienta, así como con superficies de encofrado texturados, el empleo de forros, o la aplicación de retardantes para

exponer la superficie de los agregados, en cualquier etapa del proceso constructivo.

Sin importar el tipo de acabado, es recomendable aplicar un agente desmoldante que no produzca manchas de ningún tipo, para prevenir una coloración desigual del hormigón.

Debe aplicarse una capa uniforme, sin burbujas o excesos del mismo, especialmente en las juntas o ranuras.

Del mismo modo, se debe controlar la compatibilidad entre el agente desmoldante 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.

3.5.2 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 es uno de los 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 del molde es cristalina e impermeable. Es difícil lograr uniformidad en el color cuando se trata de superficies de hormigón grises, marrones o coloreadas; aunque el empleo de cemento blanco permitirá mayor uniformidad.

Un mínimo de variación en el color o cualquier irregularidad serán considerados como imperfecciones en este tipo de acabado, ya 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.

Las superficies lisas están cubiertas por una ligera película de cemento endurecido, por lo tanto, el color del acabado dependerá principalmente del color del cemento.

La arena no tendrá un efecto significativo a no ser que presente un alto porcentaje de finos o sea intensamente coloreada.

Del mismo modo, el color del agregado no será significativo, a menos que el panel requiera una consolidación extremadamente pesada. Bajo esta

circunstancia, puede ocurrir una transparencia del agregado que restará uniformidad a la superficie. Esta transparencia de agregado o "sombreado" ocurre cuando se emplean agregados oscuros o intensamente coloreados que se aprecian a través de una capa superficial de cemento claro; por lo cual, su efecto puede reducirse empleando 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. Este es un fenómeno que afecta a la superficie, aunque no de manera estructural, pero que puede acentuarse con la acumulación de suciedad o contaminación en las grietas. 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, usando un mínimo contenido de agua – cemento.

en este tipo de superficies, también se presentan oquedades como resultado de burbujas de aire o agua que quedan atrapadas en la superficie del molde durante el proceso de endurecimiento del 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, ya que al rellenarlas pueden presentarse grandes variaciones de color. Es por esto, que es muy importante 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 llanas o lisas deben emplearse sin ningún tratamiento adicional después del desencofrado, que no sean una posible limpieza o mínima reparación. Del mismo modo, los moldes 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 encofrados, e introduciendo efectos de sombreado y profundidad.

Agregados Expuestos a través de Retardantes Químicos

La exposición de agregados a través de retardantes químicos 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.

- a) Exposición Ligera: cuando solo la capa superficial de cemento y arena se renueva lo suficiente como para exponer los bordes del agregado grueso más cercano.
- b) Exposición Media: cuando la remoción de cemento y arena permite que el agregado grueso aparezca hasta un área aproximadamente igual al de la matriz.
- c) 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 del molde se consigue controlar el tiempo de endurecimiento de la capa superficial de cemento, y la profundidad de la misma.

De esta forma, cuando la masa de hormigón está totalmente endurecida, se puede retirar la capa de cemento, bajo la acción del retardante, por cualquier método ya sea este por cepillado, con un chorro de agua a alta presión, o por una combinación de ambos, exponiendo al agregado hasta la profundidad deseada. Ya que la acción del retardante solo afecta 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.

Si se desea resaltar el brillo y colores naturales de los agregados la aplicación del retardante es la mejor técnica. Tanto el diseño de la mezcla, como la gradación y características físicas de los agregados, y la compatibilidad de los colores del agregado y la matriz serán puntos importantes.

Para un mejor comportamiento deberán emplearse agregados de forma redondeada, ya que los agregados angulares o astillados pueden desprenderse al aplicar agua a presión.

Es recomendable combinar el color de la matriz con el de los agregados para lograr una apariencia más uniforme y, para disimular cualquier irregularidad.

Los retardantes no solo se aplican en la superficie en contacto con el molde, también pueden emplearse en la otra cara del elemento. Para esto se emplean retardantes en atomizador, que se rocían durante la fase de consolidación, siguiendo un proceso adecuado. De esta forma se obtienen elementos con exposición en ambas caras.

La aplicación del chorro de agua a alta presión y de cepillado sin la acción de un retardante se desarrolla sobre superficies que no han sido encofradas o, en aquellas que fueron desmoldadas mientras estaban en un estado plástico. Este proceso no es muy común ya que requiere de un personal especializado, debido a la complejidad del proceso.

Para asegurar resultados uniformes la resistencia mínima recomendada para el hormigón antes de la remoción de la superficie retardada es de 7 a 10.5 MPa. Del mismo modo la resistencia mínima para el hormigón sometido a chorro de agua a alta presión es de 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 más veces; para retirar cualquier suciedad. Este tipo de acabado se emplea principalmente en exposiciones medias o intensas. Su reparación y mantenimiento es relativamente fácil, tiene como ventaja adicional que la superficie del molde no es un factor importante.

Forros o recubrimientos

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

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 gran ventaja es que se pueden simular otros tipos de acabado, como el martelinado o esmerilado, a un costo menor, permitiendo una mayor uniformidad en el color y, ofreciendo superficies con eficiente resistencia a la intemperización.

Para un resultado aceptable, se debe controlar la correcta aplicación de los forros para lograr una perfecta coordinación en el montaje de los elementos.

Al seleccionar el tipo de textura y/o el tipo de forro adecuado deben considerarse las necesidades específicas del proyecto. La selección del material del forro dependerá del número de usos, en especial si el patrón tiene algún tipo de calado. El costo del forro dependerá relativamente del número de usos y del grado de facilidad de su manejo. Sin importar el tipo de forro que se emplee, deberá considerarse un patrón que evite astilladuras o fracturas en el hormigón durante el proceso de desencofrado, especialmente en las esquinas.

Así como en los diferentes encofrados, la variación en la absorción de humedad del forro producirá variaciones 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 al encofrado. Es preferible que estos se adhieran con pegamento o grapas ya que el empleo de clavos o tornillos puede dejar una impresión en la superficie del hormigón. Del mismo modo, se debe considerar el tamaño de los forros disponibles para determinar el diseño de 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

El sopleteado abrasivo o con arena se emplea para opacar la superficie encofrada, para dar uniformidad al color o para exponer el agregado del hormigón arquitectónico. Los grados de exposición que se obtienen con este tipo de acabado son:

- a) Cepillado: Se remueve la matriz de cemento y se expone el agregado fino, sin relieve (El relieve se define como un saliente del agregado grueso fuera de la matriz después de su exposición)
- b) Ligero: suficiente como para exponer el agregado fino y, ocasionalmente, el agregado grueso, con un relieve máximo de 1.5 mm; además se emplea para dar uniformidad al color.
- c) Mediano: suficiente como para exponer en forma general el agregado grueso con un ligero relieve; relieve máximo de 1.6 mm.
- d) Intenso: suficiente como para exponer y realzar en forma general el agregado grueso hasta una proyección máxima de un tercio de su diámetro; relieve de 6 a 12 mm.

La superficie queda rugosa e irregular.

La uniformidad en el grado de exposición es indispensable, no solo en el elemento sino en todo el conjunto; y está en función de la experiencia y habilidad del operario. El color variará con el grado de exposición.

Mientras más ligera sea la exposición, la habilidad del operario deberá ser mayor, en especial si se trata de unidades muy elaboradas o esculpidas.

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.

Generalmente se realiza con más frecuencia la exposición ligera; ya que el costo de operación se incrementa con el grado de exposición. La exposición ligera permite un acabado arenoso muy similar al de la piedra caliza.

Los materiales empleados para el sopleteado con arena 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 de nogal, que solo remueven la superficie de cemento y arena afectando ligeramente al agregado grueso.

Las exposiciones medianas o pesadas suelen grabar de mayor manera a los agregados gruesos, en especial si son de colores oscuros y tienen una apariencia brillante. Esto producirá una apariencia mate y, los colores aparecerán más claros. La profundidad del sopleteado deberá ajustarse a la resistencia de los agregados y de los abrasivos.

El tipo y la gradación de los abrasivos determinará la textura de la superficie. Es por esto que el grado de exposición, el tipo y la granulometría del abrasivo deben permanecer iguales durante el proceso constructivo. Ya que el sopleteado cambia el color final del agregado, deben realizarse pruebas de este tipo en los paneles de muestra.

Aunque el sopleteado abrasivo o con arena es un acabado que se emplea para tratar una superficie, puede permitir el desarrollo de diferentes texturas y diseños ornamentales a través de plantillas especiales.

El tiempo adecuado para realzar este tipo de acabado depende del cronograma de trabajo, del 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 el costo de operación. En todo caso, todas las superficies deben exponerse a la misma edad o grado de resistencia para mayor uniformidad.

Generalmente, cuando se desea un relieve más pronunciado, el sopleteado se efectúa durante las primeras 24 – 72 horas de edad y después de que el hormigón haya alcanzado una resistencia mínima de 14 MPa.

Para exposiciones medianas o intensas se recomienda la aplicación de un retardante de superficie. De esta manera se reduce el tiempo de sopleteado y la abrasión de los agregados finos. En este caso, los hormigones de cemento blanco requieren abrasivos a prueba de manchas.

La ventaja de este acabado es la facilidad de reparación o corrección de cualquier variación en la exposición, obteniendo así mayor uniformidad. Si se presentan oquedades de tamaño aceptable, de 3 a 6 mm, es recomendable aceptarlas como parte de la superficie, ya que su reparación acentuará las variaciones de color y textura.

Finalmente, los agregados gruesos pueden limpiarse con una solución de 5 a 10 % de ácido hidrocórico, removiendo así cualquier residuo. 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 penetración del ácido; debiendo enjuagarse inmediatamente después de la aplicación del mismo.

Grabado ácido

El grabado ácido disuelve la pasta superficial de cemento, exponiendo la arena y un mínimo porcentaje del agregado grueso.

Generalmente se emplea para exposiciones ligeras o medianas, logrando un aspecto arenoso parecido al de la piedra caliza.

Se deben emplear agregados gruesos resistentes al ácido, tales como el cuarzo y el granito. Los agregados con alto contenido de calcio, como el mármol, la piedra caliza y las dolomitas, se decoloran o disuelven con este tipo de tratamiento.

La superficie de hormigón debe humedecerse completamente con agua limpia antes de aplicar el ácido para evitar un grabado muy profundo. Además, se debe enjuagar inmediatamente después de la aplicación del ácido. Si no se toman estas precauciones el hormigón puede presentar eflorescencia u otros defectos en la superficie.

Del mismo modo, todas las superficies expuestas de metal, en especial si este es galvanizado, deben protegerse con recubrimientos resistentes al ácido tales como los cloruros vinílicos, el caucho clorinado, estireno butadieno, pinturas y esmaltes bituminosas y cubiertas de poliéster.

Además, deben aplicarse en dosis adecuadas para una protección total, de otra forma el ácido puede penetrar y atacar a los refuerzos.

La compatibilidad entre el color del cemento y los agregados es más significativa si se trata de una exposición ligera.

Es por esto que se prefieren colores que permitan mayor uniformidad, tales 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.

Inicialmente las superficies tratadas con grabado ácido lucen brillantes y limpias, pero a medida que se exponen a la intemperie pierden estas cualidades.

Su reparación es más complicada y, no luce tan uniforme como la exposición de agregados por retardantes químicos; aún si presenta un mínimo de oquedades de fácil reparación.

Este tratamiento no debe efectuarse hasta que el hormigón alcance una resistencia de 31 MPa, o una edad de 14 días.

Martelinado

Usualmente se denomina "martelinado" a todo trabajo con herramientas sobre la superficie de hormigón.

El hormigón puede ser fragmentado o cincelado manual o mecánicamente para producir una exposición de agregados u otra modificación en la superficie. Cada tipo de herramienta 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.

Las superficies martelinadas se producen mediante herramientas neumáticas o eléctricas equipadas con una martelina, un cincel, un peine o aditamentos de múltiples puntas. El tipo de herramienta se determina de acuerdo con el efecto deseado para la superficie. Para disminuir el costo del martelinado se prefieren herramientas de múltiples cabezas de impacto.

Este tipo de acabado afecta la apariencia, color y brillo del agregado. El color tiende a ser más claro con las fragmentaciones, en especial en tonos de gris plateado y blanco; 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, por lo que se prefiere trabajar sobre dolomitas, piedras calizas y mármol. Los agregados suaves permiten la aplicación del peine pero no permiten el empleo de herramientas punteadas.

La exposición de agregados a través de herramientas requiere operarios de gran habilidad y experiencia, para producir una textura uniforme. La orientación del equipo y la dirección en que se maneja debe ser constante durante todo el proceso constructivo.

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 28 MPa a la compresión y una edad mínima de 14 días. Aunque se obtiene mayor uniformidad a los 21 días y, si se deja secar la superficie.

El martelinado en las esquinas tiende a causar bordes irregulares. Cuando se desean esquinas agudas, el martelinado se detiene a 25 o 50 mm de distancia de la esquina. Con este tipo de tratamiento se prefieren esquinas achaflanadas.

Nervaduras o Canales Martelinados o Fracturados

Este tipo de acabado se logra moldeando nervaduras en la superficie del panel que luego son martelinadas de manera irregular para exponer los agregados logrando un efecto delineado e intensamente texturado.

El tamaño de las nervaduras no debe pasar de 25 mm, ya que es difícil fracturar superficies de mayor tamaño. De mismo modo, las nervaduras no deben ser inferiores a 15 mm ya que se facturarían o desprenderían de la superficie totalmente.

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 emplean en interiores.

La orientación y dirección de las nervaduras dependerán del diseño, que puede ser tanto uniforme como irregular.

En cualquier caso, debe planearse con cuidado para evitar un sombreado o intemperización desigual.

El efecto de este tipo de acabado, puede simularse a un costo menor mediante el empleo de forros. A través de los mismos se crean las nervaduras que luego son tratadas con retardantes o sopleteado abrasivo para exponer los agregados, logrando así, ese efecto de exposición a la intemperie que caracteriza al acabado.

Empotramiento en arena

Cuando se desea una apariencia arquitectónica masiva y definida se emplean piedras con un diámetro de 25 mm a 20 cm expuestas mediante un empotramiento en arena.

Todo el agregado expuesto debe tener un solo tamaño para lograr una mayor uniformidad.

Las piedras se colocan en una "cama" de arena manualmente, o en otro tipo de 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 esta forma se expone el material con un efecto de juntas de mortero.

Se debe tener un cuidado especial para 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, deben colocarse con extremo cuidado, para evitar concentraciones de un solo color o la creación inintencionada de patrones.

Cuando se desea que las juntas presenten el efecto de un mortero blanco o coloreado, se debe dosificar: una parte de cemento blanco (con o sin pigmento) más 2 ½ partes de arena blanca o clara bien gradada, con la suficiente agua para crear una mezcla cremosa que se colocará sobre el agregado. Si se emplea este mortero superficial, la mezcla posterior deberá cumplir con las condiciones adecuadas para absorber el exceso de humedad de dicho mortero.

El proceso de vibrado debe realizarse con extremo cuidado para evitar una distribución desigual de la arena y, para evitar agitar el agregado expuesto.

Después del curado del panel se debe desmoldar y colgar la pieza para remover la arena mediante cepillado, sopleteado de aire, o lavado con chorro de agua. Ya que cierta parte de la arena se adhiere al hormigón, el color de la misma debe armonizar con el color del agregado y del mortero expuesto.

Esmerilado o Pulido

Mediante el proceso de esmerilado o pulido se obtiene una superficie suave y lisa en superficies con exposición de agregados.

Este tipo de acabado ofrece excelentes condiciones de resistencia a la intemperización y requiere un mínimo de mantenimiento, por lo cual es ideal para áreas de gran tráfico o zonas de polución.

La resistencia a la compresión del hormigón debe llegar a los 34.5 MPa antes de comenzar cualquier trabajo de esmerilado o pulido.

El área de la matriz debe ser mínima, ya que los agregados se pulen de mejor manera. La mezcla debe estar diseñada para permitir la densidad máxima del agregado en la superficie.

Al escoger los agregados se debe considerar su dureza y tamaño. En todo caso, agregados suaves como el ónix y el mármol son más fáciles de pulir que el cuarzo y el granito.

El equipo puede variar desde una simple pulidora manual hasta una máquina de múltiples cabezas. Esta última permite pulir elementos de mayor tamaño a un costo menor.

Este proceso se puede realizar en seco o en húmedo, removiendo aproximadamente 3 mm de la superficie del hormigón. Es preferible esmerilar o pulir en húmedo ya que facilita el proceso.

La uniformidad y apariencia final, al igual que en casi todos los acabados, dependerá de la combinación y compatibilidad de los colores de la matriz y los agregados. Los paneles de tonalidades pasteles tienden a verse blancos a cierta distancia, debido a la reflexión de la superficie pulida.

La intensidad del esmerilado o pulido determina el grado de exposición del agregado; ya sea esta ligera o intensa, el color del cemento es siempre significativo.

Este tipo de acabado puede combinarse con muchos tratamientos, para mejorar la condición de la superficie.

Por ejemplo, si se combinan un ligero grabado ácido de la matriz con el esmerilado o pulido de los agregados se puede obtener una textura con alta resistencia a la intemperización.

Pintado

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

Las pinturas tienen ciertas características de trabajabilidad que varían según su tipo, marca, especificaciones, y precio. Cada una está formulada para trabajar sobre ciertas condiciones específicas, que dependen de su calidad.

Las superficies de hormigón son a veces tan suaves o lisas que impiden una total adherencia de cualquier tipo de recubrimiento.

Para permitir una adherencia total de la pintura, la superficie debe tratarse para lograr una ligera rugosidad y, los aditivos o agentes desmoldantes empleados en el encofrado deben ser totalmente compatibles con la misma.

Si se aplican en superficies exteriores, el tipo de pintura debe “respirar”, es decir 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.

Casi todas las pinturas de látex sirven para exteriores. Para un acabado uniforme deben seguirse estrictamente todas las instrucciones del fabricantes.

Piedra Artificial Precolada

La piedra artificial precolada es una variante del hormigón arquitectónico premoldeado manufacturado para imitar la piedra tallada natural.

Generalmente se emplea en trabajos ornamentales de mampostería y en detalles arquitectónicos para cornisas, antepechos, dinteles, balaustradas, etc., que no puedan ser tallados en piedra natural, o cuando se necesitan muchas piezas del mismo tamaño.

La piedra precolada artificial ahorra dinero y tiempo, ya que es mucho más económico colar que tallar. Las especificaciones para este acabado se encuentran en la sección de mampostería de los tratados de construcción.

3.6 REPARACIÓN Y LIMPIEZA

3.6.1 REPARACIÓN

La reparación de imperfecciones o variaciones de color y textura es un procedimiento de rutina **[2]**. Los defectos que rebasen los límites de variación y calidad establecidos por los paneles de muestra deben ser reparados.

Los trabajos de reparación deben iniciarse, si es posible, inmediatamente después del desencofrado o la aplicación de las técnicas de acabado, para asegurar un mínimo de variaciones en el color del elemento en relación con el área reparada. El diseño de la mezcla, los materiales y las técnicas de reparación, así como el grado de aceptabilidad en las variaciones de color y textura, serán los establecidos por los paneles de muestra.

La selección de las técnicas y materiales de reparación dependen de: la extensión del daño, la función del elemento en la edificación, la disponibilidad del equipo y el personal adecuado para efectuar la reparación, y la importancia de la apariencia final en relación con el factor económico.

Sin embargo, se debe considerar que no siempre la reparación de un defecto es la mejor solución; ya que bajo ciertas circunstancias es preferible aceptar la imperfección como parte de las características de la superficie.

La reparación se efectuará solo si existen las condiciones adecuadas que aseguren un resultado visual y estructuralmente aceptable, dentro de los límites establecidos.

3.6.2 LIMPIEZA

La limpieza final, al igual que la reparación, es un procedimiento que debe efectuarse bajo las condiciones establecidas en los paneles de muestra aprobados **[1]**. Los trabajos de limpieza se deben realizar cuando todos los procedimientos, incluyendo el de reparación hayan sido completados.

Se recomienda que antes de ejecutar el procedimiento de limpieza establecido por los paneles de muestra, se realice una prueba adicional en una pequeña sección de la superficie para asegurar que no se produzca un daño permanente en la superficie de hormigón o materiales adyacentes por la acción del agente limpiador.

Se debe esperar una semana, como mínimo, para juzgar la efectividad del método de limpieza en el área de prueba.

Cuando se realiza una limpieza química, que emplee ácido muriático, fosfórico u otro producto comercial, la superficie del hormigón debe estar previamente humedecida para evitar que el ácido penetre en la misma.

Del mismo modo, se debe retirar el producto químico con abundante agua limpia para evitar su efecto sobre materiales adyacentes. Ya que un 5 o 10% de ácido muriático puede producir una ligera decoloración, la aplicación del mismo deberá ser uniforme sobre toda la superficie para evitar variaciones en el color entre el área limpiada y el resto de la superficie.

Si es posible, la limpieza del hormigón se debe realizar con una temperatura y grado de humedad adecuados, que permitan un rápido secado, para evitar el riesgo de eflorescencia y decoloración.

3.7 INTEMPERIZACIÓN

La intemperización es el o los cambios en apariencia de una superficie con el paso del tiempo. Esta se mide en el 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.

En el diseño de 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 por concentraciones o absorción de suciedad debido a 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. Es por esto, que se debe determinar, mediante el estudio de la zona: 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, la geometría, textura y grado de absorción de las superficies.

Por otro lado, la intemperización también puede afectar a las unidades de hormigón premoldeado en el proceso de almacenamiento si no se toman las precauciones y medidas necesarias y, si no se almacenan de acuerdo a la ubicación y orientación final que tendrán en el edificio.

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 superficies inclinadas.

Los problemas de intemperización son menos serios en ambientes relativamente limpios o cuando los elementos de hormigón arquitectónico reúnen una o más de las siguientes características: pendientes de adecuado diseño, texturas ásperas y colores oscuros o grises, superficies casi verticales o ligeramente esculpidas, superficies esmeriladas o pulidas, y paneles de fachada subdivididos por un determinado número de juntas (reales o falsas).

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 forma afectan la forma en que se mojan o secan las superficies de hormigón deben analizarse para lograr un diseño adecuado que permita la mínima acción de la intemperie.

4. REFERENCIAS

- [1]** Architectural Precast Concrete, 2nd Ed. Chicago, PCI Precast / Prestressed Institute, 1989. 340 p.
- [2]** ACI Committee 303, Guide to Cast – In – Place Architectural Concrete Practice (ACI 303R-91) Detroit, American Concrete Institute, 1991, 27 p.
- [3]** Prefabricación de Elementos Sencillos de Hormigón Aportes Técnicos Nº 15, Santiago, 1985, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 88 p.
- [4]** ACI Committee 347, Guide to Formwork for Concrete. (ACI 347R-88) Detroit, 1988, American Concrete Practice, 44 p.
- [5]** ACI 117 Proposed Standard Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials.
- [6]** ASTM C150 Specification for Portland Cement
- [7]** ASTM C595 Specification for Blended Hydraulic Cements
- [8]** ASTM C845 Tentative Specification Expansive Hydraulic Cement

[9] ASTM C494 Specification for Chemical Admixtures for Concrete

[10] ASTM C979 Standard Specification form Pigments for
Integrally Colored Concrete

BIBLIOGRAFÍA

HURD, M. K. Formwork for Concrete. 5th Edition. Detroit, American Concrete Institute, 1989, 472 p. SP-4.

HODSON, Richard C., KUSHNER Denise D. "Ingredients, Texture, and Integrally-colored Concrete". Concrete International, September 1992, pp. 21-25.

ARNOLD, Phillip J. "Getting ahead with colored concrete: Ideas for improving landscape projects". Concrete Construction, September 1988.

ACI Committee E-703, Cast-In-Place Walls. Detroit, American Concrete Institute, 1984, 74 p. Concrete Craftsman Series – 2.

ESQUEDA Huidobro, Heraclio. "El Concreto Precolado en la Arquitectura". IMCYC Construcción y Tecnología, Mayo 1992, Vol IV, No. 48, pp. 33-40.

KEEHN, Rod. "Mortero de Color" IMCYC Construcción y Tecnología, Julio 1992, Vol V, No. 50, pp. 18-22.

BUCHNER, Gerald. "Concreto Coloreado" IMCYC Construcción y Tecnología, Diciembre 1991, Vol IV, No. 43, pp. 20-24.