

SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CONCRETOS ESPECIAIS
UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ

Palestra 5: ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE *

Prof. Jaime Fernández Gómez
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

(*) Esta conferencia se ha basado en la Monografía nº 3 de INTEMAC “*Aspectos visuales del hormigón*” de la que son autores Prof. J. Calavera Ruiz, Prof. J. Fernández Gómez, G. González Isabel, P. López y Prof. J.M. Pérez Luzardo, con permiso del Editor para su divulgación exclusiva en este evento.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. MATERIALES.....	3
3. PIGMENTOS Y PRODUCTOS ESPECIALES PARA MODIFICAR EL COLOR O EL ASPECTO SUPERFICIAL DEL HORMIGÓN.....	5
4. DOSIFICACIÓN Y AMASADO.....	6
5. ENCOFRADOS.....	7
5.1. INFORMACIÓN PARA DEFINIR LOS ENCOFRADOS.....	7
5.2. CONDICIONANTES QUE AFECTAN AL ASPECTO DEL HORMIGÓN.....	8
6. ASPECTOS RELACIONADOS CON EL COLOR Y BURBUJAS SUPERFICIALES.....	10
7. DEFINICIÓN DEL NIVEL DE ACABADO.....	12
8. EFLORESCENCIAS.....	12
9. PUESTA EN OBRA.....	13
10. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES Y TEXTURA.....	14
10.1. COMBINACIÓN Y UTILIZACIÓN DE TEXTURAS.....	14
10.2. GRADOS DE EXPOSICIÓN DE TEXTURAS DE ÁRIDO VISTO.....	16
10.3. INHIBIDORES DE FRAGUADO. CHORRO DE AGUA.....	17
10.4. CHORRO DE ARENA.....	18
10.5. LAVADO AL ÁCIDO.....	18
10.6. TRATAMIENTOS MECÁNICOS DE ACABADO: PICADO, ABUJARDADO Y PULIDO.....	18
10.7. ÁRIDOS EMBEBIDOS.....	19
10.8. FORMAS EN LOS ENCOFRADOS.....	20

1. INTRODUCCIÓN

El término “hormigón arquitectónico” se utiliza para designar hormigones cuyas diferentes soluciones de textura y color pretenden conseguir un aspecto estético definido.

Quizás la definición dada, aunque correcta, a veces se confunde con la de “hormigón visto”, término más ambiguo y que engloba desde hormigones arquitectónicos hasta “hormigones visibles”, que son aquéllos en los que sin pretender un determinado efecto estético se cuida su superficie por estar al alcance de la observación.

En aquellos casos de superficies de hormigón que no requieren una calidad estética acusada, bastaría actuar sobre cuatro modestos aspectos:

- Impedir las fugas de lechada
- Impedir la segregación del agua
- Impedir la formación de coqueas
- Romper la monotonía de los grandes paños lisos moldeando con un simple perfil triangular o trapecial las juntas verticales y/u horizontales

para conseguir un aspecto atractivo y una mejora de la durabilidad sin incremento apreciable de coste.

2. MATERIALES

En general, los cementos más adecuados para la ejecución de hormigones vistos y arquitectónicos son los tipo Portland puro, tanto grises como blancos, aptos para hormigones en masa, armados y pretensados, siendo más adecuados los de categorías resistentes más bajas para elementos de hormigón en masa y los de más altas para pretensado. No obstante, siempre que los requisitos mecánicos exigibles al elemento a ejecutar lo permitan, es aconsejable el empleo de cementos con una categoría resistente baja, pero en elevada dosificación, para que la envuelta de pasta de cemento sobre los áridos sea muy abundante, lo que permite conseguir texturas superficiales (por lavado ácido, chorreado, etc.) con mejores acabados, y es una condición necesaria en los hormigones coloreados para obtener buenos resultados en cuanto a uniformidad de color.

El color del árido grueso en la mezcla generalmente no es un factor significativo para la apariencia final del hormigón visto. Sin embargo, el árido de mayor finura se comporta como un agente adicional del color, influyendo en la tonalidad final del hormigón. La granulometría de los áridos debe mantenerse constante, a través de un rígido control, que garantice la uniformidad de los materiales entre las distintas amasadas, evitando los cambios en la trabajabilidad y las variaciones de color o textura del hormigón.

El exceso de finos puede clarear el hormigón, dado que el árido presenta una mayor superficie específica y la demanda de agua aumenta, lo que deriva hacia un color más claro.

Por causas similares, es importante que se considere la morfología de los áridos. Los áridos machacados, con forma irregular, al presentar una superficie específica mayor que los que tienen forma redondeada, conllevan a un hormigón con colores más claros.

Ciertas arenas, especialmente las de peso ligero, pueden contener polvo residual, incluso después de que hayan sido lavadas. Las arenas más oscuras que contengan polvo pueden cambiar el color del hormigón, puesto que dicho polvo actúa como agente adicional de color. Además, con el desgaste, algunos gránulos pueden llegar a estar expuestos y hacer que la superficie del hormigón parezca más oscura. En general se recomienda la utilización de arena de río lavada para evitar la influencia del polvo residual sobre el color del hormigón.

En el caso de hormigones coloreados hay que tener en cuenta que bajo la influencia de agentes de deterioro como la radiación ultravioleta, humedad, temperatura y polución, la superficie del hormigón sufre cambios y una mayor diferencia entre el color de los áridos y la matriz de cemento coloreada, causando un mayor impacto visual en el deterioro de la capa superficial del hormigón. Este efecto se puede, naturalmente, minimizar a través del empleo de áridos con poco contraste con el color de los pigmentos.

En cuanto al color de los áridos, a continuación se presenta la compatibilidad de estos con las tonalidades de pigmento:

TIPO DE ÁRIDO	COLOR
Mármoles	Negro, azul, gris, rojo y blanco
Caliza	Amarillo
Granito	Negro, azul, pardo
Silíceo	Color ceniza, tonos pálidos
Rocas eruptivas	Amplia variedad de color, según el caso

El empleo de aditivos en el hormigón coloreado está condicionado a la realización de ensayos previos con la finalidad de determinar los efectos que ellos puedan tener sobre la coloración del hormigón, con atención especial cuando se utiliza cemento blanco. A continuación se presenta información sobre algunos de los efectos derivados del empleo de aditivos en el hormigón coloreado.

ADITIVO	EFFECTO EN EL HORMIGÓN COLOREADO
Plastificante	Facilita la dispersión del pigmento. Mayor homogeneización.
Inclusores de Aire	A base de lignosulfonatos producen oscurecimiento de la superficie.
Reductor de Agua	Facilita la presencia de eflorescencias.
Productos Hidrófugos	Evitan eflorescencias provocadas por el arrastre de sales en el agua.

Para hormigones vistos no es admisible el empleo del agua de mar, y se considera recomendable que el contenido total de sustancias disueltas en el agua de amasado sea inferior a 2,0 g/l.

3. PIGMENTOS Y PRODUCTOS ESPECIALES PARA MODIFICAR EL COLOR O EL ASPECTO SUPERFICIAL DEL HORMIGÓN

Se define el pigmento como el polvo compuesto por partículas muy pequeñas, algunas de tamaños inferiores a 1 micra, con diferentes niveles de compresibilidad, que vienen reflejados en sus diferentes densidades aparentes.

Todos los estudios coinciden en que los pigmentos deben presentar las características siguientes:

- Inertes con los demás componentes del hormigón o del mortero.
- Estabilidad de su color original.
- Resistencia a la acción de la luz y de la intemperie.
- pH completamente estable.
- Insolubles en agua y sin contenidos de sales y ácidos.
- Fácilmente dispersables con el cemento y los finos del hormigón.

Estudios realizados por diversos investigadores han comprobado que sólo los pigmentos inorgánicos, y entre ellos únicamente los óxidos, cumplen los requisitos anteriormente expuestos. Los pigmentos más importantes según el color aportado son los obtenidos de los óxidos de hierro recogidos en la tabla siguiente, cuyas composiciones y estructuras corresponden a los minerales: Hematita, Magnetita y Goetita.

COLOR	FÓRMULA	DENOMINACIÓN QUÍMICA	NOMBRE COMÚN
Negro	Fe_3O_4	Óxido Ferrosoférico (Hematita)	Óxido de hierro negro
Rojo	Fe_2O_3	Óxido férrico (Magnetita)	Óxido de hierro Rojo
Amarillo	$Fe(OH)_2$	Hidróxido ferroso (Goetita)	Óxido de hierro amarillo

Los pigmentos de óxido de hierro pueden ser naturales o sintéticos. Los naturales proceden de extracciones minerales, y son sometidos a diversos procedimientos para la obtención de uniformidad en el tamaño de las partículas, que suelen estar entre las 10 y las 15 micras.

El poder de coloración del pigmento, definido como la capacidad que tiene para impartir su color natural, es una característica esencial cuando se realiza una evaluación coste-prestaciones. Cuando se prepara una mezcla de hormigón con cantidades crecientes de pigmentos, se observa que la intensidad del color aumenta inicialmente de forma lineal hasta llegar a un punto a partir del cual el aumento de tonalidad por unidad de colorante adicionado es prácticamente nulo, y a este punto lo definimos como saturación. Si empleamos cantidades de pigmentos superiores al punto de saturación no obtendremos una intensificación cromática. Estas curvas varían de acuerdo con el tipo de cemento y pigmento empleados. La utilización de pigmentos con gran poder de coloración es muy importante, para conseguir el efecto cromático que se desea con una cantidad mínima de sustancia colorante, sin que ello conlleve problemas de resistencia del hormigón debido al aporte de una gran cantidad de finos de la mezcla. Añadir más pigmento apenas aumentaría ligeramente el color, representando, sin embargo, un aumento importante en el coste del hormigón, y una posible merma de sus prestaciones.

4. DOSIFICACIÓN Y AMASADO

El color del hormigón depende, en gran medida, del aportado por el cemento y la arena. El empleo de mezclas ricas en cemento hace más uniforme el color finalmente obtenido y disminuye el número de burbujas localizadas en la superficie de hormigón, fenómeno éste que se ve igualmente favorecido por la utilización de áridos con mayor absorción superficial.

El uso de hormigones con asiento de cono elevado proporciona mejor uniformidad de color y menor contenido de burbujas superficiales; por el contrario, son más propensos a producir eflorescencias y fisuración superficial.

La Comisión de Trabajo W.29 del C.I.B. “Acabados de paramentos de hormigón” establece al respecto las recomendaciones que se recogen en el cuadro siguiente.

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO (mm)	CONTENIDO DE FINOS (Cemento+áridos), F (kg/m ³)	ASIENTO EN CONO DE ABRAMS, AC (mm)
35	$350 \leq F \leq 450$	$75 \leq AC \leq 95$
20	$400 \leq F \leq 500$	$50 \leq AC \leq 65$
10	$400 \leq F \leq 550$	$25 \leq AC \leq 35$

En estos hormigones es conveniente colocar en la hormigonera el árido grueso y una parte de la arena y del agua antes de añadir el resto de los materiales. Igualmente, se ha constatado que, en ocasiones, las variaciones del hormigón resultante son debidas a un amasado insuficiente, por lo que resulta recomendable el empleo de hormigoneras enérgicas, de eje vertical, y la prolongación del tiempo de amasado.

Con independencia de algunas connotaciones específicas relativas a la influencia de distintas características de los constituyentes, existe coincidencia generalizada en la literatura específica en considerar la uniformidad del suministro de los constituyentes como la característica de mayor influencia en el aspecto final del hormigón visto, hasta el punto de considerar la conveniencia de que los dos constituyentes de los que, en gran medida, depende el color y aspecto de la superficie de hormigón, cemento y arena, provengan, en cada caso, de las mismas fuentes de procedencia. En el caso de cementos que contengan cenizas volantes resulta recomendable que además de proceder de la misma fábrica pertenezcan al mismo lote de fabricación.

5. ENCOFRADOS

5.1. INFORMACIÓN PARA DEFINIR LOS ENCOFRADOS

El encofrado en las estructuras de hormigón arquitectónico presenta una gran trascendencia, pues además de su influencia general en cuanto a tolerancias, dimensiones y aspecto general, los detalles de las juntas, el material a emplear y los condicionantes que pueda presentar el conseguir determinadas texturas son fundamentales en este caso.

Es necesario para definir un hormigón arquitectónico conocer cuales son los condicionantes y los detalles que hay que cuidar, y que revisaremos a continuación, pues sin este conocimiento las exigencias de proyecto, en cuanto a calidad y acabado de la superficie, pueden estar fuera de lo que es razonable conseguir en la práctica.

También es necesario concretar las exigencias en cuanto a la superficie del hormigón con el empleo de unos encofrados y unos materiales determinados, de tal forma que el Constructor pueda interpretar las exigencias del Proyecto y definir el encofrado adecuado.

En el proyecto de una obra de hormigón no se definen los encofrados a utilizar, cuya responsabilidad depende del Constructor. En términos relativos medios, el encofrado puede suponer un tercio del precio final del hormigón colocado, y este porcentaje aumenta al tratarse de hormigón cuyo aspecto superficial estético se desea cuidar.

La definición y elección del encofrado ha de basarse en la información recogida en los Planos y Pliego de Condiciones, y debe abarcar los siguientes puntos:

- Definición geométrica de las piezas.
- Tolerancias admisibles “*en los elementos terminados*”.
- Situación de juntas de contracción y dilatación, y detalles que definan su ejecución.
- Previsión de juntas de hormigonado, dónde pueden hacerse y dónde deben evitarse, definiendo también su realización.
- Secuencias de hormigonado en algunos casos especiales.
- Acabados que requieran tratamientos superficiales.
- Criterios para el desencofrado y descimbrado.
- Relación de puntos relacionados con el encofrado que sea necesario aprobar en obra antes de su empleo.
- Grado de “calidad” de la superficie.

Todos estos datos son imprescindibles para poder definir el encofrado acorde con las exigencias de calidad y aspecto de la superficie de hormigón visto.

5.2. CONDICIONANTES QUE AFECTAN AL ASPECTO DEL HORMIGÓN

Los aspectos básicos de la elección y diseño del encofrado, y que afectan de forma más importante al aspecto del hormigón, son los siguientes:

- **Geometría**. Parte de los planos con la definición de las formas, y su mayor precisión redundará en piezas y superficies mejores
- **Rigidez**. La rigidez del encofrado adquiere gran importancia, dado que es el origen de las llamadas “desviaciones inherentes”, que son las producidas por asientos, movimientos y deformaciones del encofrado.

Las flechas de los elementos del encofrado por la acción del hormigón fresco deben limitarse mas que en los encofrados convencionales, considerándose un límite adecuado 1/400 de la luz del elemento a considerar, y afectando a todos los componentes del encofrado (tableros, rigidizadores, etc.)

- **Resistencia**. Aunque ésta es una propiedad que debe cumplir todo encofrado, las presiones del hormigón fresco sobre el encofrado tienen su origen en la presión hidrostática del hormigón, afectada por: la velocidad ascendente de hormigonado, la temperatura, la docilidad del hormigón, el efecto silo, el vibrado, la dosificación de cemento y la composición del hormigón.

Los métodos de cálculo a emplear son los mismos que en el caso de hormigones ordinarios, aunque deben desecharse los métodos simplificados y utilizar aquellos que tengan en cuenta todas las variables que intervienen en el proceso, dado que algunas de ellas influirán notablemente. Así, el vibrado deberá ser muy enérgico, y esto debe tenerse en cuenta a la hora de determinar las cargas en el encofrado. El empleo de aditivos plastificantes y consistencias elevadas también produce mayores cargas. El incremento de las mismas debido a este fenómeno puede verse representado en la Figura 1.

- **Estanquidad.** La falta de estanquidad del encofrado producirá dos efectos en la superficie del hormigón que estudiaremos más adelante: la formación de aletas y las pérdidas de lechada. El primero se produce cuando existen fugas de hormigón por las juntas a modo de estalactitas continuas, creando una superficie no uniforme. Aunque se repasen y se eliminen siempre queda la marca, y por ello deben de evitarse. La pérdida de lechada se produce si la abertura de la junta es menor, y simplemente deja escapar la lechada, produciendo un nido de grava debido al lavado de finos del hormigón, el cual deteriora el aspecto de la superficie. En la Figura 2 se ha representado el mecanismo de la formación de este defecto.

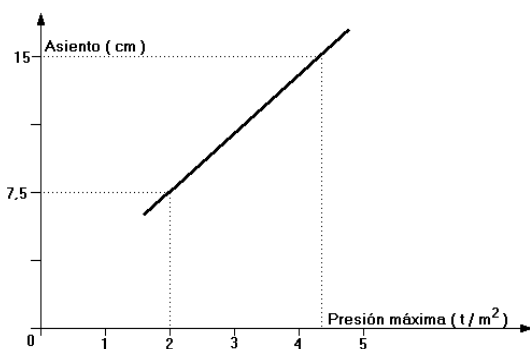


Figura 1. Efecto del asiento del hormigón en la presión, para un encofrado determinado

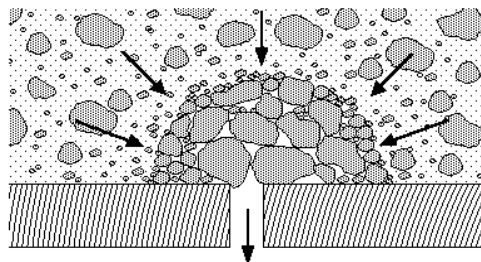


Figura 2. Formación de nidos de grava superficiales

Para evitar este problema hay que conseguir la estanquidad de las juntas, la cual puede lograrse por alguno de los siguientes métodos:

- Humedecer la madera antes del uso, para que expanda. Puede ser un método eficaz con hormigones de consistencia seca.
- Utilizar revestimientos de los paneles con solapes (metálicos u otros).
- Juntas machihembradas entre paneles.
- Utilizar juntas elastoméricas entre paneles.

- Impermeabilizar por el exterior las juntas entre paneles, mediante silicona u otros sellantes, dado que si la junta no tiene el ancho suficiente para producir aletas, y se evita la salida de agua y lechada, no se producirán los nidos de grava.

En cuanto a las medidas a adoptar para evitar el marcado de la junta, se pueden considerar las siguientes:

- El uso de tablas de espesor lo más parecido posible, incluso pueden repasarse y cepillarse los paneles después de montados.
- Utilización de paneles de contrachapado, metálicos u otros que requieran pocas uniones.
- Buscar una regularidad en las juntas, manteniendo claramente líneas horizontales y verticales y haciendo coincidir sus alineaciones.
- En el caso de encofrados de chapa, y si hay que solapar ésta, conviene montar la parte inferior sobre la superior, lo cual disimula visualmente más la junta. En la Figura 3 se representa el detalle adecuado. En el señalado como “no recomendable” se tiende a formar una rebaba, que en el otro caso no se produce.

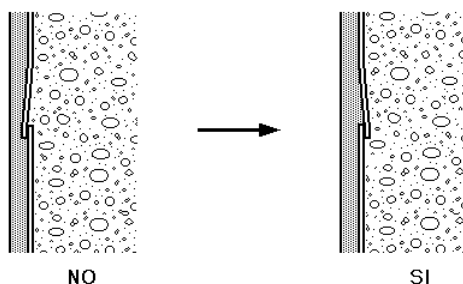


Figura 3. Solape de chapas en tableros de encofrado

6. ASPECTOS RELACIONADOS CON EL COLOR Y BURBUJAS SUPERFICIALES

Si los detalles de las juntas, tanto de hormigonado como las existentes en el encofrado, se cuidan convenientemente, el aspecto de la superficie vista de hormigón sin tratamiento posterior depende fundamentalmente de la uniformidad de color y de las burbujas superficiales. Las soluciones idóneas para cada problema son opuestas, y hay que buscar una solución de compromiso.

El color del hormigón depende de sus componentes y de la relación A/C, aunque el material del encofrado interviene también de forma significativa. La absorción de agua por parte del encofrado reduce la relación A/C, y provoca colores más oscuros. Los encofrados más absorbentes, y sobre todo debido a la diferente presión del

hormigón durante el hormigonado, dan menos uniformidad de color. La mejor uniformidad de color se consigue con encofrados impermeables, como por ejemplo el acero. Las manchas en el hormigón pueden provenir de su propia composición o estar provocadas por el encofrado. Las más comunes de estas últimas y su forma de evitarlas son:

- Manchas debidas al óxido de encofrados metálicos. No son fácilmente limpiables, y hay que evitarlas manteniendo limpios los encofrados y protegidos con inhibidores de la corrosión.
- Manchas de restos de cemento o mortero en los encofrados. Producen manchas superficiales por reacción con el hormigón fresco que son difíciles de limpiar. Es necesario mantener limpios los encofrados de restos de hormigón y cemento.
- Polvo en los encofrados. Produce manchas superficiales que son generalmente lavables.

Como resumen podemos indicar que desde el punto de vista del color la solución óptima es utilizar encofrados muy impermeables y mantenerlos limpios, en especial de restos de hormigón. Una forma de poder utilizar encofrados de madera sin impermeabilizar es humectándolos convenientemente, de forma que se reduzca su absorción de agua.

En cuanto a la distribución y cantidad de burbujas de aire en la superficie del hormigón, cuanto mayor es la absorción del encofrado el volumen total de burbujas disminuye. En cuanto a su distribución, las superficies lisas concentran los volúmenes de aire, produciendo grandes burbujas, y las superficies rugosas distribuyen un mayor número de coqueas pero haciéndolas más pequeñas, lo cual dará lugar a un efecto más favorable. Al influir la absorción del encofrado de forma diferente en la uniformidad del color y en el volumen de huecos, hay que combinar la elección del material para conseguir un efecto favorable. Si la superficie va a ser tratada posteriormente o pintada, la uniformidad del color tiene escasa importancia, y sin embargo hay que limitar las burbujas de aire. Pueden utilizarse encofrados de madera o contrachapado en este caso.

Para superficies sin tratar, el efecto final es más favorable si se utilizan superficies impermeables, aunque no pulidas, con lo cual se logrará la uniformidad de color y la distribución de los huecos.

En la actualidad se comercializan unos materiales para utilizar como revestimiento en los encofrados en contacto con el hormigón, que se conocen como “láminas para encofrados de permeabilidad controlada”. Tienen un número elevado de pequeños poros con una medida específica que generan una porosidad adecuada, que hace que sean permeables al aire y al agua. La lámina tiene dos capas con finalidades diferentes: la que está en contacto con el encofrado evacua el aire y el agua excedentes, mientras que la que está en contacto con el hormigón deja pasar el agua y el aire reteniendo las partículas de cemento, además una relación A/C muy baja en la superficie, con las consiguientes ventajas en durabilidad.

Es un buen sistema para conseguir superficies que después van a ser pintadas, consiguiéndose finalmente una superficie de color muy homogéneo con un soporte continuo.

7. DEFINICIÓN DEL NIVEL DE ACABADO

Cuando el hormigón arquitectónico presenta un paramento natural sin acabados especiales, es necesario definir el nivel de acabado de la superficie.

Básicamente, y al ser el color inherente a su composición, serán aceptables estéticamente aquellos hormigones cuya apariencia (veteado del encofrado, marcado de juntas, etc.), ausencia de defectos superficiales y uniformidad de color tengan un determinado nivel de calidad.

El primero de los aspectos es cuantificable, dado que podemos utilizar una composición del tablero o la utilización de berenjenos para conseguir una determinada “forma exterior”. Los otros dos aspectos son mucho más subjetivos y difíciles de cuantificar, y sin embargo marcan la diferencia entre lo que entendemos por un hormigón visto estéticamente aceptable y otro que no lo es.

Existen algunas clasificaciones de defectos superficiales, y entre ellas quizás la más conocida es la del equipo de trabajo W29 del CIB.

8. EFLORESCENCIAS

Un defecto habitual en hormigones ordinarios, y que admite reparación, son las eflorescencias. Las eflorescencias son manchas que aparecen superficialmente en el hormigón al producirse la cristalización de algunas sales. En el hormigón hay sales solubles en agua, principalmente hidróxido cálcico, y el agua conteniendo estas sales en la red capilar migra hacia la superficie, donde por efecto del CO₂ atmosférico se forma además carbonato cálcico, apareciendo manchas blanquecinas en hormigones ordinarios.

Dado que la concentración de carbonato cálcico en la red capilar debido a este fenómeno se hace mayor en la superficie, con el tiempo la red capilar tiende a bloquearse y el fenómeno de la aparición de las manchas superficiales por eflorescencias tiende a desaparecer.

Curiosamente no puede predecirse qué climas o ciclos de humedad-secado agravan este fenómeno, pues su manifestación exterior depende de muchos factores, y en especial de la capacidad de autolavado por el agua de lluvia. Por ello, en climas con mayores ciclos de humedad-secado, y en principio más propensos a producir este fenómeno, la lluvia frecuente puede autolavar la superficie y minimizar mucho el efecto, si la superficie permite el autolavado.

9. PUESTA EN OBRA

En sentido estricto, el hormigón arquitectónico no requiere unas consideraciones especiales de puesta en obra. Sin embargo algunos aspectos deben ser recalcados.

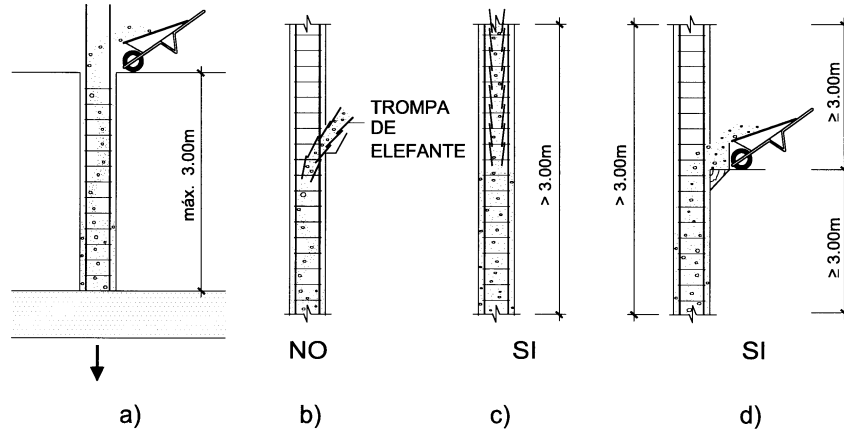


Figura 4

La Figura 4 a) muestra la posibilidad del vertido directo, que, como máximo puede ser de 3 m y eso si la pieza (pilar o muro) no presenta una densidad importante de estribos.

En otro caso, la solución del vertido con “trompa de elefante” de introducción lateral (Figura 4 b)) no es correcta pues el hormigón, a causa de la dirección de la descarga, segregará por rebote el árido grueso y dejará mucho mortero adherido a las armaduras. Si el tamaño de la sección transversal de la pieza lo permite, la introducción vertical de la “trompa de elefante” es una solución adecuada (Figura 4 c)). Si ello no es posible, la solución del vertido en “cajas” adosadas a ventanas abiertas en el encofrado permite que el hormigón caiga al rebotar la caja, sin los peligros anteriores (Figura 4 d)).

Obsérvese que en el caso de pilares de hormigón visto, es especialmente recomendable la buena práctica de armar el pilar con el mínimo número de barras posible, o, mejor aún, la disposición que conduzca a la solución de estribos menos perturbadores del vertido.

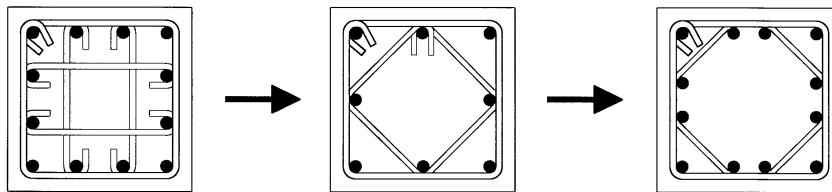


Figura 5

La Figura 5 muestra tres soluciones de armado que paulatinamente van mejorando el vertido en si y también la posibilidad de empleo de la trompa de elefante.

Algunos tipos de piezas, en especial ciertos muros y depósitos, presentan ancho de paso muy reducidos para el hormigón fresco. El vertido directo (Figura 6 a)) conducirá a segregación y especialmente a que mucho mortero se quede adherido a las armaduras superiores, con riesgos diversos pero en especial por lo que se refiere a la aparición de coqueas en la zona inferior de la pieza. La solución indicada en la Figura 6 b) de unas “faldas” de plástico que se van enrollando a unos largueros a medida que progresa el hormigonado, elimina todos estos inconvenientes. (Atención a no dejar las “faldas” sumergidas más de 500 mm en el hormigón, para evitar problemas de extracción).

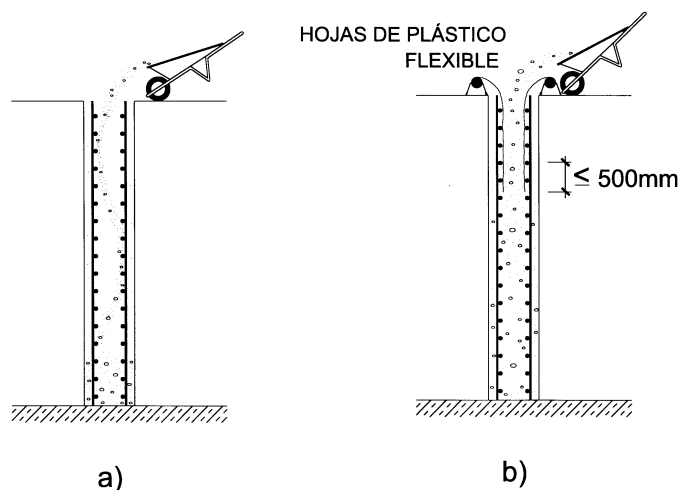


Figura 6

La altura de tongadas de hormigonado viene condicionada por la longitud de la “aguja” o “botella”. (Parte activa del vibrador). Como norma general no debe pasar de 0,6 de dicha longitud, con objeto de que aunque se incline el vibrador, actúe sobre toda la altura de tongada.

10. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES Y TEXTURA

10.1. COMBINACIÓN Y UTILIZACIÓN DE TEXTURAS

El hormigón es susceptible de ser sometido a tratamientos después de su endurecimiento y/o fraguado que eliminan en mayor o menor medida la lechada superficial y dejan el árido fino o incluso el grueso a la vista. El aspecto visual realza la tonalidad pétreo del hormigón, disminuyendo la importancia del color del cemento y resaltando la del árido.

En especial los brillos de la luz en los áridos confieren un aspecto visual positivo, aunque debe tenerse en cuenta que los tratamientos superficiales no son apreciables a grandes distancias, y en función de la distancia de los observadores a la superficie deberá considerarse su conveniencia, pues pueden resultar excesivamente caros y conseguirse fines poco apreciables.

Hay que señalar que en general acentúan los defectos del hormigón en superficie, y en especial las coqueas y burbujas superficiales. No deben plantearse como solución de paramentos naturales mal realizados, pues el resultado final no será satisfactorio y tendrá un coste añadido importante.

Los áridos adquieren una importancia trascendental en el caso de hormigones tratados, e incluso aunque a simple vista los áridos tengan un aspecto parecido, la respuesta a la luz puede ser muy diferente. Es muy recomendable el realizar pruebas, e incluso someterlas a la misma orientación solar para apreciar el efecto. Aunque no se puedan dar reglas generales, los mejores resultados se suelen obtener con áridos que tienen partículas oscuras y claras.

La distancia y los áridos juegan un papel esencial. Dependiendo del tratamiento, la exposición del árido será más o menos profunda, aunque no debe ser superior a $1/3$ del diámetro medio del árido grueso y a $1/2$ del diámetro del árido de menor tamaño (no incluyendo la arena). En estas circunstancias, una posible tabla de distancias máximas a la cual es apreciable la textura podría ser:

TAMAÑO DE LA GRAVA (mm)	DISTANCIA MÁXIMA APRECIABLE (m)
6 – 12	6 – 10
12 – 25	10 – 25
25 – 50	25 – 40
50 – 75	40 – 55

Las diferentes texturas también pueden combinarse, aunque en ese caso es conveniente delimitar cada zona con acanaladuras u otros sistemas (véase Figura 7).

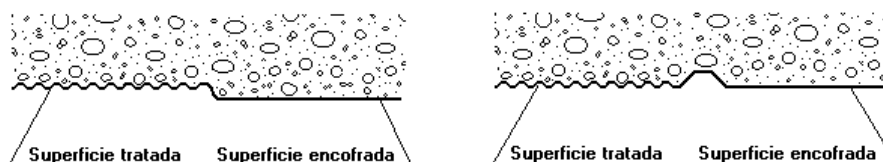


Figura 7. Ejemplos de separación de texturas

Por último, y en cuanto a los elementos susceptibles de ser tratados, hay que tener en cuenta algunos aspectos que afectan al proyecto de las piezas, como los que se citan a continuación:

- Las zonas a tratar deben de tener espesor suficiente, de tal forma que el tratamiento no disimule los efectos geométricos. Esto afecta en el sentido que si además el hormigón combina diferentes espesores, molduras, rebajes, aletas u otros elementos estos deben tener realce geométrico suficiente, pues si no el tratamiento puede eliminar sus efectos.
- En aristas y huecos pueden requerirse ligeros refuerzos, para evitar el aspecto romo que puede dar el tratamiento. También puede ser útil matar las esquinas y suavizar las formas, para evitar la arista roma de peor efecto estético.
- Los recubrimientos de las armaduras deberán tener en cuenta, y considerar como zona no eficaz, el espesor afectado por el tratamiento. La oxidación de las armaduras, independientemente del problema relacionado con la durabilidad, estropeará la estética del paramento.

10.2. GRADOS DE EXPOSICIÓN DE TEXTURAS DE ÁRIDO VISTO

Por procedimientos que veremos a continuación pueden conseguirse diferentes texturas de árido visto. Para ello hay que observar las reglas generales señaladas en el apartado anterior.

Una posible clasificación de texturas de árido visto puede hacerse atendiendo al método empleado, y es el que adoptaremos en la exposición que sigue. De forma general, y válida para todos los tratamientos, suelen clasificarse según el grado de exposición del árido grueso, pudiendo distinguirse las siguientes:

- **Exposición ligera.** El procedimiento se aplica hasta descubrir el árido, existiendo en superficie mayor área de pasta de cemento que de árido a la vista.

Su profundidad máxima no suele pasar de 1,5 mm, y en este caso tiene una importancia notable en el resultado final el color de la pasta de cemento. Con este tipo de exposición suele utilizarse cemento blanco y pueden emplearse pigmentos que impriman color a la pasta de cemento.

- **Exposición media.** En este grado de exposición la superficie de pasta de cemento ocupa la misma área aproximadamente que los áridos vistos. Su profundidad máxima es del orden de 5 mm. La relevancia de la pasta de cemento es menor, aunque también se suele usar cemento blanco y pigmentos para acentuar el efecto.

- **Exposición profunda.** La superficie de árido grueso domina en superficie. Tiene las limitaciones indicadas en el apartado anterior de profundidad, en función de los tamaños de los áridos, aunque no obstante en la práctica el máximo suele oscilar entre 6 y 12 mm. El aspecto final lo confieren los áridos, con su color, textura, aspecto y reflexión de la luz, y por lo tanto la elección de éstos será primordial. El empleo de cemento blanco o pigmentos no es frecuente, habida cuenta de la menor incidencia de la pasta de cemento en el aspecto visual del paramento.

Para cada una de las exposiciones descritas el grado de imperfecciones en forma de burbujas de aire es diferente, siendo más exigente en cuanto a la calidad de la superficie a tratar la exposición ligera que la profunda. Es difícil dar reglas generales, porque dependerá del tipo de defectos y de la naturaleza de los áridos, pero como orden de magnitud pueden admitirse huecos de 3 a 10 mm sin que esto afecte al aspecto final de la superficie.

10.3. INHIBIDORES DE FRAGUADO. CHORRO DE AGUA

Uno de los sistemas para conseguir la textura de árido visto es mediante el uso de retardadores o inhibidores de fraguado, que retardan o impiden el fraguado de la pasta de cemento en una determinada profundidad, lo cual permite que posteriormente pueda retirarse con facilidad.

Los retardadores se aplican en los encofrados, bien aplicados como película continua o en soporte de papel o fieltro. Tienen una profundidad de actuación y un tiempo de retardo, datos que debe suministrar el fabricante y que es necesario conocer para poder ser aplicados convenientemente.

Una vez desencofrada la pieza, lo cual debe realizarse con resistencias entre 7,0 y 10,0 MPa (prácticamente vale el criterio general de 10 MPa como resistencia mínima para desencofrar), se elimina la lechada mediante lavado con agua a presiones moderadas o cepillado. Esta operación depende del tiempo de eficacia del retardador y del posible uso de otros aditivos, pero suele hacerse aproximadamente a las 10 ó 12 horas después del hormigonado.

En principio puede conseguirse cualquier grado de exposición, aunque lo normal es utilizar este procedimiento para exposición media o profunda.

Prácticamente el mismo efecto puede conseguirse aplicando chorro de agua a alta presión, inmediatamente después de desencofrar. El tiempo al cual debe aplicarse el tratamiento varía con el tipo de hormigón y condiciones de curado, pero en principio no debe aplicarse hasta que el hormigón haya alcanzado una resistencia mínima de 10 MPa.

El resultado conseguido, y más aún en el caso del uso de retardadores, deja los áridos más limpios que el procedimiento de chorro de arena que tratamos a continuación.

10.4. CHORRO DE ARENA

Otra posibilidad para descubrir los áridos es mediante la aplicación de chorro de arena a la superficie del hormigón. También pueden obtenerse los tres grados de exposición con este sistema, combinando el tiempo de aplicación y el material abrasivo, aunque es más idóneo para exposición ligera o media. Habitualmente se emplea arena silíceo, carburo de aluminio, virutas metálicas o de madera.

Es un sistema que descubre menos limpiamente los áridos, y produce una cierta abrasión en los mismos, lo cual al principio da mayor luminosidad pero con el tiempo puede cambiar. Hay que seleccionar los áridos teniendo en cuenta su dureza, pues los áridos blandos se redondean por efecto del abrasivo y cambian su textura.

Las condiciones de aplicación hacen que su uso se centre mucho más en la prefabricación que en el hormigón in situ.

10.5. LAVADO AL ÁCIDO

Mediante el lavado con soluciones de ácido muriático (clorhídrico también puede usarse) pueden conseguirse grados de exposición ligera o media.

El ácido ataca la pasta de cemento, dejando los áridos vistos. Deben de utilizarse áridos de tipo ácido, para evitar la reacción, tales como los granitos, cuarcitas u otros de naturaleza silíceo. Los áridos de tipo calizo reaccionan con el ácido perdiendo textura y color.

Se obtiene un aspecto de superficie muy brillante, que se pierde con el tiempo. El tratamiento no debe aplicarse antes de que el hormigón haya alcanzado 30 MPa de resistencia o tenga una edad superior a los 14 días.

El aspecto varía con el tamaño de la superficie a tratar, siendo además difícil conseguir el mismo resultado en piezas grandes. Requiere protección del personal en su aplicación y prácticamente no puede aplicarse en vertical. Su campo de aplicación son los prefabricados de pequeño tamaño, o zonas delimitadas de grandes prefabricados (por ejemplo determinadas áreas de paneles), debiendo aplicarse situando las piezas horizontalmente.

10.6. TRATAMIENTOS MECÁNICOS DE ACABADO: PICADO, ABUJARDADO Y PULIDO

Mediante la aplicación de tratamientos mecánicos pueden conseguirse texturas superficiales especiales, que dependen de la herramienta empleada. En general retiran el mortero y rompen el árido grueso, consiguiendo una textura de árido visto.

Habitualmente las herramientas utilizadas son martillos neumáticos de una o varias agujas, cinceles o procedimientos manuales. El acabado depende de la herramienta utilizada y de la pericia del operario, pero el sistema es aplicable a hormigones in situ, y sobre todo a áreas localizadas. Puede combinarse con un tratamiento posterior de chorro de arena. Hay que tener en cuenta cuando se aplican estos tratamientos que el recubrimiento de las armaduras debe garantizarse con “hormigón sano”. Así, al proyectar la pieza, habrá que añadir al recubrimiento que prescribe la Instrucción EHE según el caso el espesor correspondiente a la profundidad del tratamiento más un espesor adicional, que resulta del hormigón microfisurado por la aplicación del tratamiento, y que a falta de datos puede adoptarse 20 mm.

Puede combinarse y aplicarse en superficies estampadas o artificialmente en relieve. No debe aplicarse antes de que el hormigón haya alcanzado los 25 MPa de resistencia, y a una edad mínima de 14 días, siendo recomendable 21 días.

Otro tratamiento mecánico que produce textura de árido visto es el pulido, mediante aplicación de herramientas que produzcan abrasión mecánica. Es difícil de realizar en superficies verticales, aumentando su coste en estos casos. Después de la abrasión suele aplicarse un tratamiento de relleno de huecos y de abrillantado. Es muy importante la selección de los áridos, en especial atendiendo a la dureza y al tamaño máximo del árido, dado que es necesario tener una cantidad mínima de matriz de pasta de cemento. Los áridos blandos, tales como las calizas, el mármol, etc. se pulen más fácilmente, consiguiéndose mejores resultados a más bajo coste. Con los áridos muy duros, como por ejemplo las cuarcitas, puede hacerse muy difícil el tratamiento y conseguirse resultados irregulares. Independientemente de la dureza, los granitos tampoco son muy adecuados para estos tratamientos, dado que envejecen superficialmente y se deterioran por la transformación de los feldespatos.

Se puede combinar este tratamiento en piezas prefabricadas con tratamientos selectivos de lavado al ácido.

10.7. ÁRIDOS EMBEBIDOS

En piezas prefabricadas o premoldeadas in situ puede aplicarse el tratamiento conocido como “áridos embebidos”, que se basa en colocar áridos embebidos en una cama de arena u otros materiales especiales en el fondo del molde. Los áridos pueden tener diferentes tamaños, pudiendo oscilar en la práctica entre 25 y 200 mm. El espesor de esta “cama” de áridos suele ser de 12 a 25 mm. Los áridos pueden colocarse con mayor o menor densidad en superficie. Pueden utilizarse áridos preparados, con una cara de fractura o pulidos en una de sus caras para configurar la parte vista.

Una vez endurecida la pieza, mediante lavado se elimina el material de relleno, quedando la textura de árido visto.

10.8. FORMAS EN LOS ENCOFRADOS

Una posibilidad muy utilizada hoy en día, y en especial en los hormigones ejecutados in situ, es crear texturas superficiales artificiales mediante el empleo de formas en los encofrados. Las formas son planchas de elastómeros o neopreno que llevan el negativo de la textura que se pretende crear, y se adhieren a los encofrados.

Pueden conseguirse texturas imitando travertino, madera, rugosidades artificiales, etc., siendo hoy en día prácticamente ilimitado el catálogo de aplicaciones. Admiten también tratamiento posterior con chorro de arena, superponiendo además el efecto de la textura de árido visto.

Pueden aplicarse tanto en prefabricación como in situ, aunque debido al elevado coste del material se requieren muchas utilizations para que tenga un coste razonable. Puede emplearse en estribos de pasos superiores o muros que tengan varias reutilizaciones, o elementos repetitivos.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) “Aspectos visuales del hormigón”. Monografías INTEMAC. Nº 3. 1999.
- (2) MINISTERIO DE FOMENTO. “Instrucción de Hormigón Estructural EHE”.
- (3) ACI 303 “Guide to cast in place architectural concrete practice”. American Concrete Institute, 1991.
- (4) “Tolerancias en la construcción de obras de hormigón”. CUADERNOS INTEMAC, Nº 18. INTEMAC, 1995.
- (5) CIB W-29 “The production of concrete of uniform colour and free of surface blemishes”. CIB Report nº 5. Rotterdam, 1966.
- (6) TRÜB, V. “Superficies de Hormigón visto”. Editores Técnicos Asociados, 1977.
- (7) ACI “Formwork for Concrete”. Publicación SP-4. American Concrete Institute, 1973.
- (8) PCI “Colour, form and texture in architectural precast concrete”. Precast Prestressed Concrete Institute.
- (9) CIB W-29 “Tolerances on blemishes of concrete”. CIB Report nº 24. Rotterdam, 1973.
- (10) PCI “Architectural precast concrete. Colour and texture selection guide”. Precast Prestressed Concrete Institute, 1992.
- (11) LYNSDALE, C. CABRERA, J. "Coloured concrete. A state of the art review". Concrete. Vol. 23. Nº 7. 1989.
- (12) VEIT. A. "Suggestions for improving coloured concrete products". Concrete precasting plant and technology. Vol. 11. 1994.
- (13) VEIT. A. "Avoiding mistakes in coloring concrete". Concrete precasting plant and technology. Vol. 7. 1995.
- (14) ADAM M. "Aspects du beton". Soc. Dif. Tech. du Batiment et des Travaux Publics. 1971.
- (15) ASTM C 979-82: Standard specification for pigments for integrally coloured concrete. American Society for Testing and Materials. 1982.
- (16) BETOCIB: “Construire en bétons clairs”. Editions Eyrolles. París. 1992.
- (17) BS 1014-1975.: Specification for pigments for Portland cement and Portland cement products. The British Standards Institution. London. 1975.
- (18) MARCH,P.: Concrete as a visual material. Cement and Concrete Association. Londres.1974.
- (19) PÉREZ LUZARDO, J.M.: Color y Textura en el Hormigón Estructural. CUADERNOS INTEMAC nº 4. INTEMAC 1991.
- (20) PICKEL, U.: Finished Concrete Surfaces- Design and Processing Techniques. Betonwerk Fertigteil Technik, 1989.
- (21) CAFFARENA, J. “Estudio experimental de juntas de hormigonado en estructuras de edificios”. Tesis doctoral bajo la dirección de J. CALAVERA. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1986.

- (22) CAFFARENA, J.; CALAVERA, J. "Estudio experimental de juntas de hormigonado en estructuras de edificios". Hormigón y Acero nº 167, 1988.
- (23) CALAVERA, J.; GONZÁLEZ VALLE, E. "Juntas en construcciones de hormigón". Cuadernos INTEMAC nº 14. INTEMAC. Madrid, 2º trimestre 1994.
- (24) CALAVERA, J. "Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado". INTEMAC. Madrid, 1993.
- (25) CALAVERA, J. "Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón". INTEMAC, 1999.