

impermeabilización del hormigón

ANTONIO GETE-ALONSO DE YLERA

Dr. Ingeniero de Caminos

689 - 7

sinopsis

Se trata en este artículo la impermeabilidad del hormigón y los diferentes sistemas de impermeabilización.

Después de un breve estudio de las diversas clases de poros: capilares, de aire y de agua, se analizan los diversos modos de penetración del agua —penetrabilidad e higroscopicidad—, resaltando la mayor importancia de la permeabilidad, y su aumento en función del diámetro de los poros capilares mientras la higroscopicidad disminuye al aumentar el diámetro de aquéllos.

Se estudia la procedencia del agua: humedad natural, humedad de construcción, humedad de absorción y condensaciones, acción de la lluvia, presión del agua acumulada y humedades accidentales; y los efectos perjudiciales de la permeabilidad y de la higroscopicidad: pérdida en presas de embalse, subpresión, arrastre de partículas, acciones de tipo químico y acciones de oxidación.

También son objeto de estudio las diferentes formas de medir la permeabilidad: norma DIN, mediante probetas en forma de placa; norma ASTM, por ensayos de heladicidad y permeabilidad; mediante impermeabilímetro, etc.

Analizadas las condiciones básicas iniciales para conseguir hormigones impermeables, se consideran los dos sistemas para disminuir la penetración del agua en los hormigones:

- a) mediante aditivos o tratamientos que mejoran la calidad de los mismos en orden a conseguir las condiciones óptimas para su impermeabilización;
- b) mediante la utilización de productos que evitan la penetración del agua en el interior de la masa del hormigón, sin alterar las propiedades fundamentales.

Estas dos formas nos llevan a los diferentes sistemas de impermeabilización: de masa, hidrófugos, de juntas y de láminas y revestimientos continuos. Estos sistemas son estudiados, a fondo, en orden a sus efectos, características y aplicación.

Condiciones de los hormigones en cuanto a su impermeabilidad

GENERALIDADES

Es evidente que el hormigón endurecido es, en mayor o menor grado, permeable al agua.

Para obtener mezclas trabajables es necesario emplear bastante más agua de amasado que la precisa para la hidratación del cemento. Por otra parte, el volumen absoluto de los productos obtenidos por la hidratación del cemento es menor que la suma de los volúmenes absolutos del cemento y del agua que intervienen en la reacción. En consecuencia, como efecto de la combinación química, no es posible que la pasta de cemento endurecida llene totalmente el hueco

ocupado, inicialmente, por la pasta fresca, por lo que aquélla podemos decir que no es absoluta y totalmente sólida.

Además, las operaciones de amasado y colocación dan lugar a que se aprisione algo de aire, lo que aumentará, inevitablemente, los espacios vacíos en el hormigón endurecido.

En el hormigón existen tres clases de poros diferentes:

Poros capilares

Para confeccionar un hormigón se necesita agua en un 40 a 80 % del peso del cemento; pero para las reacciones químicas del fraguado del cemento es suficiente de un 18 a un 20 %.

Para que el cemento se moje formando una masa plástica se precisa del 25 al 30 % de su peso, y para mojar los áridos (especialmente la arena) es preciso llegar a la cantidad indicada, dependiente de la granulometría empleada y de la plasticidad que se pretende conseguir en la masa fresca, en función de otras consideraciones (transporte, medio de colocación, resistencia, etc.), y, en definitiva, para la adecuada preparación y colocación del hormigón.

Después de la colocación del hormigón, las partículas de cemento, por hidrólisis, se recubren de un gel, y se sueldan entre sí. El agua sobrante de la reacción química, en forma de gotas más o menos gruesas, se eleva —por su menor peso— hacia la superficie libre del hormigón, con la exudación correspondiente, y dando lugar a un extenso sistema de canales capilares, cuya finura y cantidad depende, en gran parte, del excedente de agua del amasado.

Entre las diversas clases de poros, los capilares son los que ocupan mayor volumen; el mismo es del 8 al 15 % del volumen total del hormigón. En las dosificaciones pobres (150 a 200 kg de cemento/m³) el volumen de poros capilares es de 1,9 a 1,3 veces mayor que el volumen sólido cemento-agua; en dosificaciones de 250 kg/m³ son iguales ambas partidas; y, con dosificaciones más altas, los poros capilares ocuparán un espacio menor.

Los poros capilares son, prácticamente, invisibles, por ser muy finos, y están comunicados unos con otros formando el sistema de canales del hormigón, en los que puede moverse el agua.

Estos poros capilares, formados al evaporarse el agua sobrante del amasado, se rellenan nuevamente de agua al entrar en contacto con ella, y de ahí su posible influencia en la permeabilidad del hormigón, ataques químicos, etc.

Poros de aire

Se forman durante la confección del hormigón. Como la tensión superficial del agua es muy grande, estas burbujas de aire no son estables, reuniéndose formando grandes pompas, que se deshacen al preparar y colocar el hormigón.

En consecuencia, su importancia disminuye al aumentar la docilidad del hormigón, y empleando medios de vibración o colocación adecuados.

Se hallan en comunicación con los poros capilares. Un hormigón plástico normal puede contener de 1 a 3 % de poros de aire, cuyo diámetro llega hasta unos 10 mm.

Poros de agua

Son acumulaciones que se forman, principalmente, durante la eliminación del agua sobrante de amasado. Pueden encontrarse, especialmente, debajo de agregados grandes y planos.

Entre otras cosas, perjudican mucho la resistencia del hormigón contra las heladas.

ACTUACION DEL AGUA EXTERIOR

La penetración y circulación del agua en el hormigón se realiza:

- a) *Por permeabilidad* (efecto de la carga de agua).

Es fundamentalmente función de la relación agua-cemento empleada en el amasado. La permeabilidad de un hormigón se reduce, considerablemente, al disminuir aquélla, pudiendo indicarse, como orientación, que para un árido máximo de 115 mm, al pasar la relación A/C de 0,6 a 0,5, aquélla baja a la cuarta parte, aproximadamente.

Para una reducción de la relación A/C de 0,8 a 0,7, la permeabilidad se reduce a la tercera parte (ver gráfico 1).

También tiene influencia la mayor docilidad del hormigón y los medios de colocación (vibradores adecuados, etc.) empleados, al evitar o disminuir la formación de coqueas y la consiguiente disminución de los poros de aire y agua.

Con los poros capilares, normalmente muy finos, que se producen en los hormigones, la permeabilidad es pequeña.

- b) *Por higroscopicidad* (presión capilar o interna del agua).

Las indicaciones que acabamos de hacer tienen, también, influencia en la cantidad de poros capilares y, en consecuencia, en la higroscopicidad.

Es especialmente eficaz y ventajoso, principalmente en hormigones pobres, la disminución del agua de amasado, para disminuir los poros capilares. En

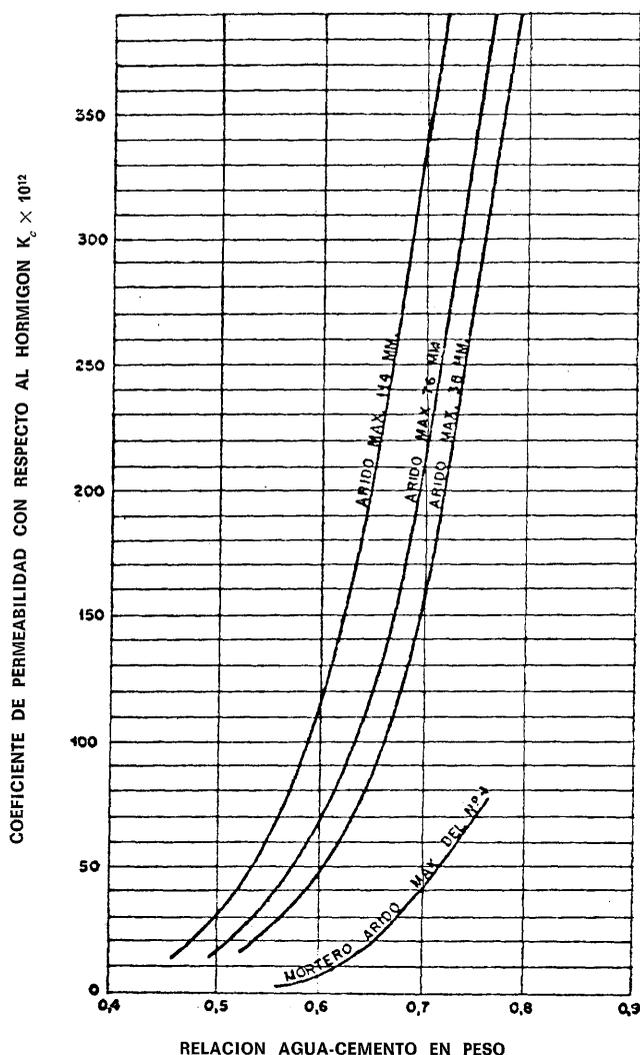


Gráfico 1. Influencia de la relación A/C sobre la permeabilidad del hormigón.

un hormigón de 250 kg de cemento/m³ pueden disminuirse los poros del 13,8 al 20,8 % cuando se puede ahorrar de un 10 a un 20 % del agua de amasado.

La higroscopicidad es pequeña con capilares gruesos; disminuyendo la tensión capilar se conseguirá disminuir la higroscopicidad del hormigón, quedando mejor aislado contra las variaciones higrométricas del ambiente y de la humectación de las paredes.

La permeabilidad y la higroscopicidad son, en consecuencia, en cierto aspecto, incompatibles. La primera es mayor o menor según lo sea el diámetro de los capilares; la higroscopicidad aumenta al disminuir el diámetro de aquéllos.

La presión capilar aumenta con la inversa del diámetro de los capilares. La velocidad

de circulación lo hace con el diámetro de los mismos, siendo directamente proporcional a su cuadrado.

La permeabilidad tiene más importancia que la higroscopicidad, alterándose generalmente, más a menudo, los hormigones por defecto de impermeabilidad que por capilaridad excesiva.

La capilaridad toma capital importancia si se trata de obras parcialmente sumergidas o que comprendan una superestructura. Si el hormigón es más capilar, a la larga, las partes situadas por encima de las aguas más altas se cargan progresivamente de sales, principalmente si, a causa de una temperatura e higrometría relativamente débiles, la evaporación es intensa, lo que puede ocasionar la fisuración o destrucción de los hormigones.

Podemos sentar como premisa general que **todas las obras de fábrica, por muy bien ejecutadas que lo sean, son permeables**, y dejan pasar la humedad a través de sus poros, grietas y juntas.

El agua que cae sobre una superficie, permaneciendo en contacto con la misma o bien simplemente resbalando sobre ella (fachadas, cubiertas, etc.); el agua o humedad que continuamente se mantiene alrededor de ciertas obras (cimientos, depósitos, embalses, piscinas, etc.); la que puede pasar a través de juntas de trabajo, para absorber la retracción de fraguado y las dilataciones o contracciones producidas por las diferencias de temperatura, y por grietas o fisuras debidas a causas diversas (deformaciones, expansiones del aglomerante, movimiento de obra, etc.); etc., puede pasar al interior de la masa de hormigón y mantenerse durante bastante tiempo, llegando a más o menos profundidad según su importancia y tiempo de permanencia, dependiendo de la naturaleza y condiciones de aquél.

Procedencia y efecto de la penetración de agua en los hormigones

PROCEDENCIA DEL AGUA

En las construcciones en general, y en las de hormigón en particular, la presencia de agua o humedades tienen los siguientes orígenes:

1. La humedad natural del suelo, aspirada por las fuerzas capilares y electroosmóticas.
2. El agua empleada en la preparación del hormigón.
3. La humedad de la atmósfera, condensada en el interior o en la superficie del hormigón.
4. La lluvia, que penetra, más o menos, en el interior del macizo.
5. La presión y penetración del agua acumulada en depósitos, embalses, etc., creados para esta finalidad.

La creada por la acumulación de agua, procedente de lluvia, filtraciones, etc., detrás y en contacto con muros de contención.

6. Las humedades accidentales en las construcciones, como consecuencia de fugas en las canalizaciones, absorción de agua empleada en limpieza de suelos, etc.

Humedad natural del suelo

La existencia de una capa freática y el efecto de las fuerzas capilares que hacen elevar el agua por encima de la misma crea una situación de humedad, más o menos intensa, pudiendo llegar a actuar a presión.

El hormigón en contacto con el suelo da lugar, por capilaridad, a la absorción de agua, que puede tener mucha importancia.

Humedad de construcción

El agua excedente empleada en el amasado del hormigón, según hemos indicado anteriormente, da lugar a los poros y canales capilares, como consecuencia del proceso de evaporación.

Esta evaporación, en condiciones habituales, es bastante lenta, y del orden de unos cuantos meses.

Dependiente de otras muchas causas (condiciones climáticas, estructura del material y diámetro de los poros, etc.), de una forma general, podemos tomar como duración máxima del secado el valor:

$$t = s \times e^2$$

t , en días

e , espesor en cm

s , coeficiente característico del material.

Para un hormigón de 250 kg de cemento portland por m³, $s = 1,6$ días/cm², en condiciones teóricas de 70 % de grado higrométrico y velocidad del aire inferior a 0,1 m/s.

Vemos que, para muros de hormigón de algún espesor, los valores obtenidos serían enormes, resultarían disminuidos por efecto de muchas causas (proceso de construcción por pequeñas tongadas, grandes superficies de evaporación en varios planos, apreciable influencia de la temperatura —varía de 0,5 a 4 al pasar de 30° a 2° C, etc.—) y solamente se pueden considerar a efectos teóricos, informativos y término de comparación.

Humedad de absorción y condensaciones

En función del grado higrométrico del aire, de la temperatura y del diámetro de los poros del hormigón, se produce una condensación y absorción del agua procedente del ambiente.

El problema de las condensaciones es, muchas veces, un problema térmico ya que, en ciertas condiciones normales, la cantidad de agua que hay en el aire es sensiblemente constante, pues no se puede desecar de atmósfera.

Ahora bien, si teóricamente, en una atmósfera libre, no se producen condensaciones mientras el grado higrométrico no llega a 100 %, en los poros de hormigón hay condensación con grados higrométricos inferiores, y tanto más bajos cuanto más finos son los poros. Cuando los poros tienen un diámetro menor a 3 millonésimas de milímetro (3 m μ), la condensación llena los mismos a un grado higrométrico del 70 %; y como, normalmente, un 30 % de los poros del hormigón son inferiores a dicha dimensión, se saturarán de agua a un grado higrométrico del 70 %.

Acción de la lluvia

Es, generalmente, pequeña la absorción en el hormigón como consecuencia de la lluvia caída en superficies verticales, ya que la evaporación lo evita.

Puede tener importancia la dirección e intensidad del viento y, sobre todo, el estado de fisuración exterior del hormigón, las juntas, etcétera.

Tiene más importancia la acción del agua caída en las superficies sensiblemente horizontales.

Presión del agua acumulada en depósitos, embalses, muros, etc.

Globalmente, en obras de ingeniería, puede considerarse que es el agua, en estas situaciones, por permeabilidad o higroscopicidad, la que puede entrar en los muros de hormigón, a través de sus poros, grietas, fisuras y juntas, en mayor o menor profundidad, según sea la presión y las demás condiciones estructurales y ambientales.

Como ya hemos indicado, ello dependerá, fundamentalmente, de las condiciones del hormigón endurecido, en cuanto a sus procesos de amasado (granulometría de los áridos, cantidad y clase de cemento, relación A/C, etc.), transporte, colocación y curado.

Humedades accidentales

Muy diversas causas pueden dar lugar a las mismas y, aunque no las consideramos fundamentales —en obras de ingeniería—, vamos a relacionar algunas para completar este trabajo.

Fugas de agua en las canalizaciones o tuberías que van embebidas en el hormigón.

Efectos de condensación en el exterior de conducciones de agua fría.

Pérdidas de agua en las conducciones o desagües por debajo de las obras de hormigón, etcétera.

EFFECTOS PERJUDICIALES

La permeabilidad e higroscopicidad del hormigón ocasiona trastornos importantes y muy variables, que vamos a relacionar someramente:

- Pérdida de agua en presas de embalse, muros de cierre, depósitos, etc.
- Efectos mecánicos de alteración de la masa, como subpresiones, arrastre de partículas, modificación de las condiciones de estabilidad, influencia del hielo y deshielo en las regiones o épocas de bajas temperaturas.

— Acciones de ataque químico, si se trata de aguas muy puras, selenitosas, etc., que puedan producir efectos nocivos en el hormigón, ocasionando su destrucción paulatina.

— Acciones perjudiciales de oxidación y otras sobre las armaduras del hormigón.

— Daños en fábricas o construcciones industriales, en las que exista maquinaria delicada, se tenga un proceso de fabricación de ambiente seco o se precise la ausencia absoluta de humedades (partes de las fábricas de cemento, depósitos o almacenes de este material, etc.).

— Daños en viviendas y edificios en general, con insalubridad en sótanos y viviendas semienterradas con mucha humedad, efectos de la lluvia caída en las fachadas, cubiertas, etc.

Condiciones básicas iniciales para conseguir hormigones impermeables

De acuerdo con lo que acabamos de indicar, la permeabilidad de un hormigón normal (sin ningún tratamiento o aditivo especial) depende de varios factores, en cierto modo, relacionados entre sí que, esquemáticamente, vamos a detallar:

COMPACIDAD

La compacidad del hormigón es fundamental para conseguir una buena impermeabilidad.

La misma ha de obtenerse a base de una adecuada dosificación, en la que son partes constituyentes los áridos, el agua y el cemento.

La grava y la arena constituyen el esqueleto del hormigón, que queda consolidado y rellenos sus huecos con la pasta formada por el cemento y el agua, como resultado de los procesos de fraguado y endurecimiento.

Es fundamental utilizar áridos adecuados, con una granulometría convenientemente establecida, de acuerdo con los diversos métodos de cálculo empleados.

No es correcto —principalmente en el aspecto de la impermeabilidad— utilizar dosifi-

caciones de cemento elevadas (si no hay otras causas que lo justifiquen) para compensar las deficiencias de granulometría de los áridos. Además de su mayor coste, injustificado, se presentan mayores problemas de fisuración, como consecuencia de las mayores retracciones producidas. La calidad del cemento y la finura de su molido afectan a la compacidad.

La cantidad de agua de amasado tiene, también, influencia en la compacidad del hormigón endurecido, por cuanto, como hemos indicado, si el cemento solo combina químicamente de un 18 a un 20 % de agua, el resto, hasta un 40 a 80 %, se evapora formando vacíos en el hormigón.

También influyen en la compacidad del hormigón los sistemas de transporte y puesta en obra. Un sistema de transporte sin segregación y de colocación empleando sistemas y elementos de vibración adecuados, facilita la obtención de la máxima compacidad.

Por último, los sistemas de curado influyen en la compacidad final del hormigón endurecido, por cuanto se mejorará la hidratación adecuada de las partículas del cemento y la evaporación habrá sido lenta, con disminución del agua sobrante evaporada.

La compacidad del hormigón, y su inherente permeabilidad, puede estudiarse en base a su estructura interna en estado plástico. Durante e inmediatamente después de su colocación, los elementos sólidos están en equilibrio inestable tendiendo a sedimentarse, lo que impulsa el agua hacia arriba, creando una colección de canalillos, algunos de los cuales llegan hasta la superficie.

Los áridos de tamaño más grueso se van poniendo en contacto y adquiriendo posiciones estables, creando un esqueleto estructural dentro del cual continúa la sedimentación de los demás elementos. La del mortero sigue impulsando el agua hacia arriba, quedando parte de él en reposo bajo los áridos más gruesos. El cemento, que está en suspensión (se precisa una relación A/C, en peso, de 0,30 o inferior para que las partículas de cemento se sedimenten), tiende a separarse de la mezcla agua-cemento, dejando huecos de agua por encima de la pasta sedimentada.

Al final de esta etapa, el agua de amasado no está distribuida uniformemente en la masa, ya que ocupa: *a*) los espacios relativamente grandes bajo las partículas del árido; *b*) los pequeños intersticios entre las par-

tículas de cemento sedimentadas, y *c*) una red de conductos filiformes comunicados entre sí.

Al efectuarse la colocación adecuada, con vibración del hormigón, se reducen los tamaños de los huecos. Posteriormente, al hidratarse el cemento, la formación del gel, también se disminuye el mismo.

En consecuencia, la elección y ejecución adecuada de las condiciones y tratamiento indicados mejora la compacidad del hormigón y, en consecuencia, tiene una gran influencia en la obtención de un hormigón impermeable y estanco.

El grado de compacidad del hormigón endurecido resultante puede obtenerse mediante el cálculo del volumen absoluto (volumen aparente, menos vacíos). El hormigón resultaría total y perfectamente compactado si la suma de los volúmenes absolutos del cemento, agregados y agua fuese igual a la unidad de volumen del hormigón endurecido, lo cual es prácticamente irrealizable.

Desglosado de cuanto hemos indicado, relacionaremos, a continuación, los principales factores que intervienen en la mejora de la impermeabilidad del hormigón. Es evidente que los mismos influirán, en consecuencia, en la capacidad de duración del hormigón y, en definitiva, permitirán obtener un hormigón bueno y uniforme (con las mejores condiciones de resistencia y economía).

ARIDOS A EMPLEAR

Bien dosificados, con granulometría conveniente.

Bien redondeados.

Impermeables.

Estables.

Porcentaje de arena pequeño.

Tamaño máximo grande.

Coefficiente de dilatación semejante al del mortero circundante.

CEMENTO

De bastante finura de molido.

Poca cantidad de C_3A , MgO y cal libre.

Poco Na_2O y K_2O .

De bajo calor de hidratación.

CONSISTENCIA

Relación A/C baja, con poca agua.

Consistencia plástica (no demasiado húmeda).

PREPARACION Y COLOCACION DEL HORMIGON

Mezcla dócil.

Mezclado cuidadoso, garantizando la homogeneidad de la masa y empleando el tiempo justo de amasado.

Vertido y transporte adecuado, por procedimientos que eviten la disgregación, con separación de los elementos más gruesos.

Preparación y tratamiento de superficie de los encofrados, para evitar la absorción de agua del hormigón, mejorar la exudación y conseguir un buen acabado de las superficies, empleando los desencofrantes adecuados.

Vibrado adecuado del hormigón (o, en su caso, de los encofrados), con elementos convenientes, en cuanto a su tamaño, profundidad de penetración y frecuencia de las vibraciones.

PRECAUCIONES DE TEMPERATURA Y CURADO DE HORMIGON

Temperatura ambiente, durante la colocación y fraguado del hormigón, adecuada, extremando las precauciones para elevadas temperaturas y en épocas de heladas.

Protección de las superficies exteriores del hormigón, inmediato a terminar su colocación, para conseguir la temperatura favorable y la pérdida mínima de humedad, con una evaporación lenta. Esto se consigue con los procedimientos de curado habituales y, también, mediante el empleo de *líquidos de curado*.

Formas de medir la permeabilidad de los hormigones

Se han empleado, o emplean, diversos procedimientos para medir la permeabilidad de los hormigones, de los que vamos a indicar algunos:

1. Según Norma DIN, el ensayo puede efectuarse utilizando probetas en forma de placa.

En un dispositivo adecuado, se aplican sobre la probeta presiones de agua de 1, 3 y 7 atmósferas (pudiendo ampliarse la gama), actuando la primera durante 48 horas y cada una de las restantes durante 24 horas.

Sobre la cara expuesta al aire se irá viendo si aparecen manchas de humedad y la progresión de las mismas, si se forman gotas y si las mismas caen, así como la velocidad y volumen recogido, apreciándose, en consecuencia, según la correspondiente presión aplicada, la mayor o menor permeabilidad del hormigón.

2. Según Normas de la ASTM, se efectúan ensayos de heladicidad y permeabilidad, conjuntamente, utilizando discos de 3" × 6" (7,5 × 15 cm).

Se determina la merma de agua, en litros/m², bajo presiones de agua diversas (hay ensayos de hasta 80 libras/pulgada² <> 56,24 kp/cm²), mantenidas durante 24 horas y diversos ciclos de heladicidad en húmedo.

A título de ejemplo, y para un hormigón normal sin aditivos, de 300 kg de cemento/m³, bien dosificado y con elevada compacidad, en las condiciones indicadas, con:

Relación A/C = 0,558.

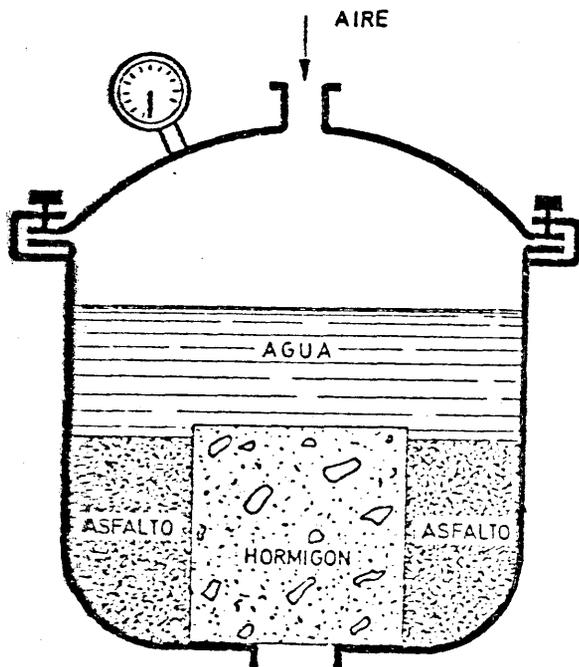
Asentamiento = 8,72 cm.

Se obtuvieron las permeabilidades siguientes, para diversos ciclos de heladicidad sucesivos:

N.º de ciclos .	0	30	60	100
Permeabilidad en l/m ²	0,00	0,82	19,75	33,35

3. También puede determinarse mediante un ensayo, que permite medir el flujo de agua que pasa a través del hormigón, cuando se le somete a una presión creciente de agua, utilizando un impermeabilímetro-marmita, herméticamente cerrada, provista de manómetro, entrada de aire y fondo plano con orificio circular (ver gráfico 2).

Sobre el orificio del fondo se coloca la probeta de hormigón a ensayar, de 15 × 15 × 15 cm, sellándola literalmente a las paredes de la marmita con asfalto vertido en caliente.



Esquema representativo de un impermeabilímetro.

Gráfico 2. Medición de la permeabilidad del hormigón.

Se rellena la marmita con agua y, por el orificio de la tapa correspondiente, se inyecta aire a presión, en escalones de 1 a 10 atmósferas, manteniendo durante un período determinado cada una de las presiones.

La permeabilidad del hormigón puede medirse, cuantitativamente, por el volumen de agua que pasa a través de la probeta.

De una forma relativa, y como primera orientación, para un fijado tipo de hor-

migón normal (granulometría, cantidad de cemento, relación A/C, compacidad, etcétera), y en el sistema de ensayo adoptado podemos indicar:

- 1) Que la permeabilidad (en cm^3 de agua) varía proporcionalmente a la presión.
- 2) Que la misma es proporcional al tiempo de permanencia de la presión.

En el gráfico 3 puede apreciarse, para un hormigón de 300 kg de cemento/ m^3 , y con granulometría dispuesta para conseguir una elevada compacidad, la variación de la permeabilidad con la presión, con mantenimiento de la misma durante una hora.

4. Un procedimiento elemental seguido —especialmente para la comparación de permeabilidad en hormigones de diferentes tipos o tratamientos— puede seguir el proceso siguiente:

- 1) Fabricar probetas cúbicas del hormigón correspondiente a ensayar, en condiciones adecuadas, similares a las de la obra.
- 2) Conservarlas durante las 24 primeras horas en sus moldes, al aire, con $95 \pm 2 \%$ de humedad relativa y $18^\circ \pm 2^\circ \text{C}$ de temperatura, hasta la edad de 7 días.
- 3) Secarlas a $55^\circ \pm 5^\circ \text{C}$ y mantenerlas al aire con $60' \pm 2 \%$ de humedad relativa y $18^\circ \pm 2^\circ \text{C}$, hasta peso constante, determinando este (P_2).
- 4) Introducir las en balsas de agua a temperatura uniforme ($18^\circ \pm 2^\circ \text{C}$)

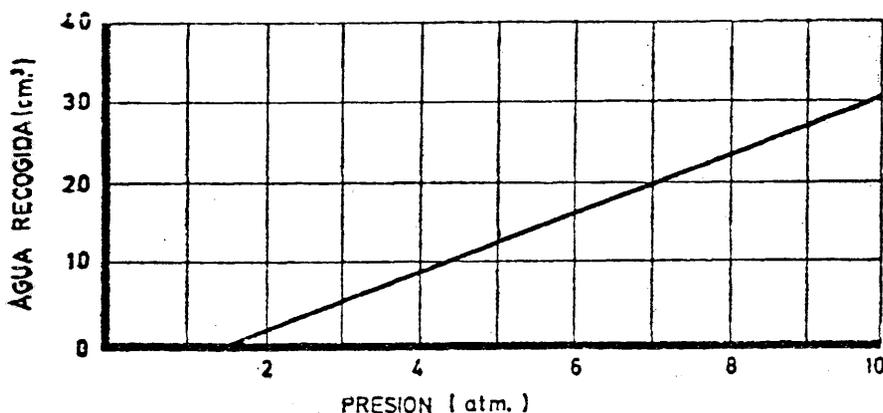


Gráfico 3. Variación de la permeabilidad de un hormigón en función de la presión.

durante 6, 12, 24 y 48 h, 7, 14 y 28 días, y determinar su peso (P_1).

El valor de la absorción de agua (A), en %, sería:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100$$

5. En ciertas mediciones y estudios comparativos, en vez de operar con litros/m², o % de absorción, se fija el coeficiente de permeabilidad del hormigón K_c .

K_c es una medida relativa del flujo de agua a través del hormigón.

Para un cierto tipo de hormigón bien dosificado, con relación A/C = 0,60, la permeabilidad (aumentando con el tamaño máximo del árido) variaría de la forma siguiente:

Tamaño máx.				
árido	38 mm	76 mm	114 mm	
$K_c \times 10^{12}$	40	63	108	

Procedimientos de mejora de la impermeabilidad de los hormigones

CONSIDERACIONES PREVIAS

De acuerdo con cuanto acabamos de indicar, la primera premisa que deberá cumplirse es la preparación de hormigones que, conservando las condiciones de resistencia y durabilidad precisas en cada caso, tengan la *máxima compacidad*, con:

- Granulometría y características de los áridos, y clase y dosificación de cemento adecuadas.
- Baja relación A/C, con la docilidad y asentamiento convenientes.
- Sistema y tiempo de amasado correcto, para evitar falta de homogeneidad o disgregaciones.
- Transporte y vertido en el tajo del hormigón, evitando los sistemas, medios y tiempos que pudieran producir la disgregación de los materiales, especialmente de los áridos gruesos.
- Encofrados convenientemente tratados, para evitar la absorción de agua y producción de la exudación del hormigón.

- Plan de hormigonado, convenientemente estudiado, de acuerdo con las dimensiones de la obra, la temperatura ambiente y la del fraguado del hormigón, con disposición de juntas de trabajo, juntas de retracción o construcción, etc., para evitar la formación de grietas y fisuras.
- Tratamiento y vibrado del hormigón adecuado, en cuanto a frecuencia y amplitud, sistema, herramientas, duración, etc., para conseguir la mejor distribución y homogeneidad de la mezcla, eliminación de las coqueas, los poros gruesos de agua o aire, etc.; y
- Sistema de protección y curado de las superficies exteriores, para disminuir y retrasar la evaporación del agua sobrante.

El detalle de todas estas disposiciones o precauciones corresponden, más bien, al conocimiento general de los hormigones de buena calidad, por lo que no vamos a profundizar sobre las mismas.

CLASIFICACION DE LOS TIPOS Y SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACION

Como acabamos de indicar, la mejora, de partida, en la impermeabilidad de los hormigones se consigue a base de preparar, colocar y acabar el proceso de los mismos en las condiciones óptimas adecuadas.

Dos son, en consecuencia, los sistemas básicos a considerar en la disminución de la penetración del agua en los hormigones:

- 1) Empleando aditivos o tratamientos que mejoren la calidad de los mismos en dicho aspecto, intentando conseguir las condiciones óptimas para su impermeabilidad.
- 2) Mediante la utilización de productos o sistemas que eviten la penetración del agua en el interior de la masa del hormigón, sin alterar o mejorando las condiciones fundamentales de los mismos (durabilidad, resistencia, etc.).

En base a la procedencia y efectos de la penetración de agua en los hormigones, vamos a hacer una clasificación previa de los sistemas de impermeabilización:

1. *De masa*, para hormigones sometidos a presión o contacto permanente con el agua.

2. *Hidrófugos de superficie*, para acciones externas, accidentales, atmosféricas, con poca presión de agua.
3. *De junta*, para rellenos de grietas, fisuras, juntas, obturación de fugas de agua, y para fabricación de barras de contracción o dilatación.
4. *Impermeabilizaciones estancas*, a base de láminas y revestimientos continuos.

Sistemas y productos de impermeabilización

IMPERMEABILIZANTES DE MASA

Dentro de este grupo cabe distinguir:

1. Los productos aditivos que, al mejorar las cualidades de los hormigones, afectan, indirectamente, a su impermeabilidad o higroscopicidad.
2. Los productos de adición a la masa del hormigón o a sus capas superficiales de protección (bien en la misma masa o bien en revoques de mortero) cuya función es evitar la penetración de agua en aquélla.

Aditivos que modifican la reología del hormigón fresco

Corresponden al primer grupo indicado, y entre ellos tenemos los siguientes:

PLASTIFICANTES

También considerados o llamados *fluidificantes y cohesionantes*.

Realmente, siguiendo a algunas publicaciones, podría hacerse una separación de los plastificantes, fluidificantes y cohesionantes.

En esta base hay quien denomina plastificantes o cohesionantes a materiales inertes en polvo, como cenizas volantes, bentonitas, etcétera, empleados para aumentar la proporción de finos en el hormigón y mejorar su trabajabilidad; y fluidificantes, a los aditivos que actúan por un mecanismo fisicomecánico de adsorción, con una reducción de la relación A/C, aumento de la resistencia de los hormigones, etc.

Nosotros nos vamos a referir, fundamentalmente, a estos últimos, con los efectos, características y aplicaciones que, a continuación, se indicarán.

Efectos producidos

Mejoran la docilidad, a igualdad de la relación A/C, permitiendo la reducción de ésta, a igualdad de asentamiento, en el cono de Abrams, y la trabajabilidad. Se pueden conseguir hormigones de consistencia seca, perfectamente trabajables, con un ahorro en la mano de obra y una menor posibilidad de formación de coqueas.

Mejoran, en general, las cualidades del hormigón, con aumento de las resistencias mecánicas en cualquier edad —debido a la acción beneficiosa sobre la cristalización del cemento durante el fraguado, con mejor aprovechamiento del cemento y reducción de la relación A/C—, y posible economía de cemento.

Aumentan la cohesión del hormigón fresco, dificultando la segregación prematura del agua y el lavado, del hormigón recién colocado, por el agua.

La incorporación de aire es nula o muy limitada aun en el caso de sobredosificación.

En consecuencia, producen una disminución de la higroscopicidad y la impermeabilidad de los hormigones.

También mejora su resistencia al hielo y deshielo, aunque en menor grado que los aireantes puros, de los que hablaremos a continuación.

Características

Dentro de las diversas variantes comerciales, suelen estar exentos de cloruro cálcico (y de otros cloruros), por lo que no se produce ninguna variación o retardo en el tiempo de fraguado normal.

Suelen suministrarse en líquido o en polvo, oscilando su peso específico de 1,1 a 1,2 kilogramo/litro.

Las composiciones suelen ser diversas, a base de sulfonatos de lignina modificados u otros productos.

Las dosificaciones a emplear —según los productos, el tipo de hormigón y la plástici-

dad que se desee conseguir— varían del 2 al 5 % del peso del cemento.

Cuando se precise, a su vez, retrasar el fraguado del hormigón, puede utilizarse algún tipo de retardador-plastificante existente.

Aplicaciones

Especialmente recomendados en hormigones ricos, en los que se deseen alcanzar grandes resistencias.

Muy útil su aplicación en hormigones bombeados, para evitar la disgregación y facilitar el transporte, sin un consumo excesivo de cemento.

Utilizable en toda clase de hormigones en masa o armados, que vayan a estar en contacto con el agua o expuestos a las influencias atmosféricas (y a los efectos del hielo y deshielo): construcción de presas, canales, centrales hidroeléctricas, estaciones depuradoras, trabajos hidráulicos o marítimos en general, inyecciones de cemento, etc.

AIREANTES PUROS

Efectos producidos

Modifican la reología del hormigón fresco, como consecuencia de la introducción y distribución uniforme en la masa de minúsculas burbujas de aire desconectadas, en forma de esferoides, con diámetros de 0,075 a 1,25 milímetros.

La formación de las burbujas de aire es debida a que éste lubrica mejor que el agua los granos de arena, produciéndose un arrastre de aquéllas al interior de la masa por los granos de arena.

Los efectos producidos son, en cierta forma y medida, parecidos a los de los plastificantes, pudiendo indicarse —en líneas muy generales— que todos los aireantes son plastificantes, pero los plastificantes no son aireantes. Vamos, a continuación, a insistir en algunos de ellos:

Mejora apreciablemente la docilidad, especialmente en hormigones pobres, facilitando el empleo de áridos más angulosos y peor clasificados; las burbujas de aire, eminentemente flexibles, compresibles y exentas de todo rozamiento, pueden sustituir a un volumen igual de arena del mismo tamaño,

constituyendo un lubricante ideal. El hormigón aireado es, considerablemente, más plástico y trabajable para una misma relación A/C, lo que permite una disminución del agua de amasado.

Mejora la capacidad de duración del hormigón, por la acción del aire incorporado sobre sus poros capilares y el aumento de la impermeabilidad y, en consecuencia:

La incorporación de un 2 a un 6 % de aire aumenta notablemente la resistencia a la acción desintegradora del hielo y deshielo y a la producción de escamas en los pavimentos de hormigón, ocasionadas, principalmente, por el empleo de cloruro de calcio o sodio para la fusión del hielo o nieve. Mejora la resistencia del hormigón a la acción de los sulfatos, aguas muy puras, bicarbonatadas, selenitosas y a los ataques químicos en general. La resistencia a la erosión mejora cuando, a base de poder reducir la relación A/C, la resistencia mecánica aumenta.

Se consiguen hormigones más «herméticos» y ausentes de grietas.

En lo que a las resistencias mecánicas se refiere, en principio, puede decirse que se produce una disminución de las mismas. Sus resultados experimentados son, en principio, a base de no reducir las cantidades de agua y cemento:

A compresión, del 3 al 4 % por cada 1 % de aire incorporado.

A tracción o flexión, del 2 al 3 %.

A esfuerzo cortante, del 3 %.

Al poderse reducir, con el empleo de aireantes, el agua, el cemento y la relación A/C —y sin meternos en el detalle de este tema, que sale fuera del presente artículo— con mejora general de las condiciones del hormigón, puede decirse que, en mezclas pobres (menos de 230 kg de cemento/m³) llega a ganarse resistencia conservando constante el contenido de cemento. En hormigones ricos (especialmente para 400 ó más kg de cemento/m³) hay pérdida de resistencia, siendo otras ventajas las que pueden justificar su empleo.

No entramos a detallar los efectos sobre: la elasticidad, la deformación lenta, la capacidad de alargamiento, la adherencia entre hormigón y armaduras, las propiedades térmicas y el peso unitario, que no son apreciables (en más o en menos).

Especialmente —en lo que nos interesa en este artículo—, la mejora de la impermeabilidad es consecuencia de la acción del arrastre de aire, por el aumento de la homogeneidad de la pasta, disminución del diámetro y cantidad de capilares y reducción del agua de amasado, por la disminución de la relación A/C y por la mayor docilidad que evita la formación de coqueas.

Las burbujas de aire, intercaladas entre numerosos capilares, disminuyen considerablemente la tensión capilar y, por lo tanto, la higroscopicidad.

Características

Existe una gran variedad de materiales básicos empleados en la fabricación de agentes aireantes, dependiendo, fundamentalmente, de su adecuada preparación. Están basados en agentes tensores activos sin cloruros, resinas neutralizadas, huesos de animales, etc., que permiten, mediante su adecuada preparación, obtener agentes aireantes de mayor o menor potencia de actuación, estabilidad y dimensión de las burbujas de aire, etc.

Suelen suministrarse en líquido —que facilita su dosificación y mezclado—, si bien también existen productos en polvo, y otros que se incorporan en la fabricación de los cementos aireados.

Su peso específico suele oscilar alrededor de 1,06 kg/litro.

La dosificación suele oscilar, normalmente, del 0,03 al 0,06 % del peso del cemento (si bien hay productos en que se necesitan cantidades superiores), para conseguir obtener del 2 al 6 % de aire incorporado.

Aplicaciones

Especialmente indicados para hormigones pobres —dosificación inferior a 250 kg de cemento/m³—, en los que se desee mejorar sus características, en base principal a una disminución del agua de amasado.

Conveniente su empleo para conseguir hormigones con menor higroscopicidad y mayor impermeabilidad, resistentes a las heladas y al ataque de las aguas agresivas.

Por su condición de plastificantes, tienen las mismas aplicaciones que las indicadas para éstos, siendo de especial interés en la construcción de presas, muros bajo el agua, obras de hormigón expuestas al hielo y deshielo,

ataque de aguas muy puras, selenitosas, agua del mar, etc.

Análogamente a la medición sistemática de la resistencia de los hormigones —para asegurar la permanencia de la supuesta en los cálculos—, es necesario efectuar mediciones periódicas del aire incorporado —pues si es excesivo puede disminuir la resistencia y si es insuficiente no se conseguirían los resultados esperados—. Para ello puede utilizarse un neumómetro, pequeña marmita hermética en la que se coloca el hormigón fresco y encima agua en el elevador, efectuando una inyección de aire a presión determinada y midiendo el aire incorporado en la correspondiente escala.

AIREANTES-PLASTIFICANTES

Efectos producidos

Como es lógico, combinan los efectos de los aireantes y plastificantes.

Por una parte, actúan como fluidificantes —aumentando la docilidad y la trabajabilidad—, y por otra, como aireantes —introduciendo un cierto porcentaje de aire en el hormigón—.

En líneas generales, permiten reducir la relación A/C y conseguir mejoras en las resistencias mecánicas. Al introducir aire en una proporción del 2 al 3 %, mejoran la higroscopicidad y permeabilidad y la capacidad de duración de los hormigones (resistencia al hielo y deshielo, a las aguas agresivas, etc.).

Características

Es muy variada la gama y tipos de estos productos, ya que al ser un aditivo, combinación de aireante y plastificante, da posibilidad de muchas combinaciones, más o menos óptimas. Los más conocidos están exentos de cloruros y no atacan a los materiales metálicos.

Suelen suministrarse en forma líquida para facilitar su dosificación y mezclado, y su peso específico oscila alrededor de 1,15 kg/litro.

La dosificación de estos productos es muy variada, si bien puede fijarse, como referencia, la de 0,5 % del peso del cemento.

Aplicaciones

En base a lo anterior, parece serían indicados para toda clase de hormigones, en los que se quisiera obtener buenas resistencias mecánicas, facilidad de colocación, impermeabilidad y resistencia a las heladas y aguas agresivas, etc.

No obstante, deseamos manifestar aquí nuestra inicial desconfianza hacia estos productos, en base a las razones siguientes:

1. Si se desea obtener una mejora de la resistencia del hormigón, su mejor docilidad y trabajabilidad, su compacidad, etcétera, con aumento de la impermeabilidad, en hormigones ricos, deberá emplearse un plastificante que no pueda introducir aire incontrolado.
2. Si, por otra parte, se trata de mejorar hormigones pobres, dando especial énfasis a su durabilidad —resistencia al hielo y deshielo, aguas del mar, muy puras o agresivas, etc.—, y a la disminución de su higroscopicidad y permeabilidad, deberá emplearse un aireante controlando perfectamente el aire incorporado.

Aditivos que evitan la penetración de agua en el hormigón endurecido

Corresponden al segundo grupo indicado, y son los productos que vamos a considerar como *impermeabilizantes de masa*.

Actúan bien taponando los poros del hormigón —como la cal, trass, etc.— o bien repeliendo el agua y dificultando su penetración en la masa. Parcialmente, influyen sobre la porosidad del hormigón.

Solamente deberán emplearse aquellos aditivos que no afecten a la resistencia del hormigón, que no signifiquen una aceleración del fraguado del cemento, y que no alteren la durabilidad. Resulta, por lo tanto, imprescindible que hayan sido detenidamente ensayados y experimentados; en consecuencia, es conveniente disponer de ensayos suficientes en laboratorios oficiales o efectuar ensayos previos, en condiciones y duración adecuadas.

A este grupo, indirectamente, pertenecen los aireantes y plastificantes —a que hemos hecho mención anteriormente—, si bien su destino único y fundamental no es el de la impermeabilización de los hormigones.

En este apartado vamos a tratar de los impermeabilizantes hidrófugos, que se agregan a la masa del hormigón.

HIDRÓFUGOS

Efectos producidos

Son productos que, colmatando los capilares de la parte de cemento hidratada, modificando el potencial eléctrico de las construcciones, etc., reducen la absorción y la permeabilidad e higroscopicidad bajo presión o en contacto con el agua o humedades.

Indirectamente, la mayoría de estos productos, mejoran la docilidad y trabajabilidad de la masa de hormigón —plastifican la misma— y, en consecuencia, mejoran la compacidad y otras cualidades del hormigón fresco o endurecido.

Actuando estos productos exclusivamente sobre la masa del hormigón, bien ejecutado —para mejorar las condiciones de impermeabilización de la misma—, se parte de suponer que estará exenta de grietas, fisuras, juntas, etc., por donde pudiera penetrar el agua, o bien que se efectuará el tratamiento o cierre adecuado.

Debe tenerse en cuenta que alguno de estos productos protegen contra las aguas agresivas.

Características

Existe una gran variedad de productos, basados en técnicas algo distintas, por lo que nos vamos a referir a los más característicos.

Inicialmente se utilizaron como hidrófugos materiales silíceos pulverulentos, para colmatar los poros existentes en el hormigón; su reacción con la cal liberada, durante la hidratación del cemento, da lugar a silicatos insolubles que obturan o rellenan los capilares de la pasta de cemento. La gran dispersión de los resultados obtenidos, en base a las diversas circunstancias que intervienen en los mismos —temperatura, superficie específica, cantidad de cal libre, etc.—, ha llevado a desechar estos aditivos por no poderse obtener impermeabilizaciones garantizables.

Posteriormente, se emplearon aditivos a base de materiales orgánicos que, al reaccionar

con la cal libre del cemento hidratado, dan lugar a sales cálcicas insolubles que taponan los poros capilares. Estos productos suelen producir un efecto tensoactivo suficiente, disminuyendo la atracción del agua.

Existen otros productos en los que, inicialmente, se produce una disminución del número de poros capilares, por la plastificación de la masa y reducción del agua de amasado; se crea un pH óptimo e ionización de las partículas de cemento, lo que favorece el estado coloidal de la masa. A ello se une —en la misma base indicada para los anteriores productos— un taponamiento de los poros capilares restantes por el gel insoluble formado. Finalmente, modifican el potencial eléctrico de las construcciones, invirtiendo el sentido de la corriente y, por consiguiente, el del avance del agua.

De la exposición anterior puede deducirse la gran variedad de características de los productos empleados, por lo que vamos a limitarnos a indicar algunas muy generales.

Suelen estar exentos de cloruros; algunos son a base de sulfonatos de lignina, etc.; no son tóxicos ni inflamables, no atacan a los metales.

Se suministran en líquido o en polvo, variando su peso específico de 0,9 a 1,5 kg/litro.

Las dosificaciones a emplear son muy variables, según los productos, variando de 0,2 al 4 % del peso de cemento portland empleado.

Aplicaciones

Especialmente indicados, en general, para los hormigones (o morteros) ricos. En hormigones pobres parece sería más conveniente limitarse a emplear algún aireante o plastificante.

Normalmente —dado el elevado consumo relativo y su efecto— no suelen emplearse para grandes masas de hormigón. Así, en el caso de presas de embalse, serían de aplicación solamente en la pantalla de impermeabilización de agua arriba.

Es conveniente su aplicación en obras de hormigón que hayan de soportar la presión del agua: presas, depósitos piscinas, canales, acequias, obras marítimas, etc.; en obras en contacto con el subsuelo que puedan contener agua o humedad: cimientos, muros, sótanos, pavimentos, etc.; en la capa super-

ficial —de hormigón o mortero de cemento— de: fachadas y medianerías, para evitar la penetración del agua de lluvia; en soleras de naves, garajes, almacenes, etc.; en muros de cierre, de carga y de contención; en estructuras de hormigón armado en ambientes agresivos, etc.

En general, la aplicación de estos productos puede efectuarse: bien en la totalidad de la masa del hormigón, bien en su zona más exterior en contacto con los agentes perjudiciales, o bien en la masa de mortero de cemento portland a utilizar como revoque o revestimiento de la obra principal.

HIDROFUGOS DE SUPERFICIE

Dentro de este grupo podemos distinguir:

1. Productos de adición a la masa de mortero de los revoques de protección de las superficies de la obra.
2. Productos aplicados directamente sobre la superficie a impermeabilizar.

Aditivos a los revoques

Corresponden al primer grupo, y son los mismos que hemos citado en el segundo grupo de los impermeabilizantes de masa.

En este caso, solamente se incluirían aquellos productos que se incorporan a los revoques de mortero de cemento portland, aplicados en la cara superficial de las obras —de cualquier género o material— para protegerlas contra la introducción del agua por permeabilidad o higroscopicidad.

Se ha expuesto, anteriormente, todo cuanto se refiere a estos sistemas y productos de impermeabilización, por lo que consideramos no es necesario extendernos en ello.

Productos para tratamiento de las superficies

Son los «hidrófugos de superficie» propiamente dichos. Se trata de pinturas o impregnaciones de protección de las superficies de las obras, en general, y de los morteros y hormigones, en particular —contra la penetración del agua, sin presión—, y corresponden a muchos tipos y variedades, por lo que vamos a limitarnos a efectuar una exposición general de los mismos.

EFFECTOS PRODUCIDOS

Indicamos los principales que se consiguen con diversos productos —de una incidencia más o menos directa en la impermeabilización—, si bien estos efectos no son producidos por todos los productos.

En general, en elementos expuestos a la lluvia —sin existir presión de agua o contacto permanente con ésta—, se reduce la absorción capilar, o la permeabilidad, en base a diversas técnicas.

Hay productos que, al penetrar en los poros de los materiales —hasta una profundidad de unos 4 mm—, depositan polímeros orgánicos, creando propiedades tenso-activas que modifican el estado capilar de la superficie, dando lugar a una repulsión del agua. No se impide la respiración del muro.

Otros producen un simple taponamiento superficial de los poros.

Hay productos que crean una película transparente sobre el paramento de aplicación, que hidrofuga y tapa los poros del mismo y las fisuras muy pequeñas.

Otros crean películas coloreadas —oscuras o negras— que consiguen una impermeabilización total de la superficie, absorbiendo pequeñas fisuras de la base.

Hay tratamientos que ennoblecen el aspecto externo de las superficies tratadas —aun sin alterar su color—, mitigando la aridez de los materiales.

Con variedad o distinta importancia, según el tipo y aplicación de productos:

- Se mejora el aislamiento calorífico de los muros que protegen.
- Hay una mejora de la resistencia a los ciclos destructores de hielo y deshielo.
- Se disminuyen o evitan las eflorescencias.
- Se evita la incrustación de polvo en las fachadas, por la acción del agua de lluvia, evitando se modifique, con el tiempo, el color de las mismas.
- En las superficies tratadas se aumenta la resistencia a la abrasión, al desgaste mecánico, al ataque de las aguas agresivas, a las disoluciones de cloruros o sulfatos, a los álcalis, a los ácidos diluidos, etc.

CARACTERÍSTICAS

Dentro de la gran variedad de productos que existen, vamos a indicar las correspondientes a algunos que consideramos significativos:

- Solución fluida a base de siliconas, que puede contener sustancias volátiles, poco, medio o muy inflamables. Aplicable directamente sobre superficies bien secas o variantes para empleo en superficies húmedas. Líquido incoloro. Peso específico de 0,79 a 1,00 kg/litro. Consumo de 200 a 800 g/m², dependiendo del producto y de la porosidad del material a tratar.
- Solución de resinas sintéticas no saponificables y, en consecuencia, inertes a la influencia de los álcalis, sales de cemento y demás materiales de construcción. Aplicable directamente sobre paramentos secos y exentos de polvo y partículas deleznable, para lograr los efectos de hidrófugo y tapaporos; para conseguir, solamente, efectos hidrófugos, pueden diluirse, hasta un 100 %, en algún disolvente como el toluol o xilol. Consumo de 35 a 150 g/m².
- Producto líquido incoloro a aplicar diluido en agua, en distintas proporciones, para el tratamiento por imprimación. Líquido de un peso específico de 1,15 a 1,20 kg/litro. Consumo de 50 a 100 g/m².
- Producto a preparar con dos componentes, sin disolventes, a base de epoxi y alquitrán. El líquido resultante a aplicar es de un color negro brillante, con un peso específico de 1,12 a 1,18 kg/litro.
- Pintura a base de asfalto oxidado con disolventes. Líquido de color negro. Peso específico de 0,91 a 0,92 kg/litro. Pintura a base de betún asfáltico, fibras de amianto y disolvente. Líquido espeso de color negro. Peso específico de 1,0 a 1,10 kg/litro. Consumo de 0,70 a 1,00 kg/m².
- Emulsión no iónica, a base de betún asfáltico y un material coloidal inerte. Líquido ligeramente espeso, en variantes que van del rojo-ladrillo oscuro al negro. Peso específico de 1,10 a 1,15 kg/litro.

APLICACIONES

Hemos indicado la gran variedad de los productos que pueden utilizarse para el tratamiento exterior de las superficies de hormi-

gón, en base principal a su impermeabilización.

Fundamentalmente, se emplean para pintar o imprimir fachadas y superficies verticales, o con fuertes pendientes, expuestas a la lluvia o agentes agresivos, para repeler aquélla o evitar el ataque exterior, la suciedad, etc.

En general, no es adecuado su empleo para depósitos, piscinas, etc., en que el agua haya de estar a presión, para lo cual existen aditivos o revestimientos exteriores estancos. No obstante, en algunos tipos de productos, de consistencia más espesa, puede llegarse a conseguir impermeabilizaciones bajo presiones limitadas de agua.

En todos los casos —y previo a efectuar el tratamiento superficial— deberá haberse eliminado o tratado las grietas, fisuras, juntas, etcétera, que pueden constituir un paso franco del agua hacia el interior de la masa.

IMPERMEABILIZANTES DE JUNTAS, GRIETAS, ETC.

Dentro de este grupo se incluyen aquellas masillas o productos taponantes, cuya misión es la de cerrar el paso franco del agua al interior de la masa del hormigón, a través de los correspondientes pasos o conductos.

Dos tipos principales podemos detallar:

1. Los que tienen por finalidad la obturación de fugas accidentales de agua, en obras en explotación.
2. Aquellos complementarios a las obras de hormigón, para cerrar el paso del agua a través de las juntas de contracción, o las grietas y fisuras que los procesos de hormigonado pudieran haber acarreado.

Como, en ambos casos, solamente de una forma muy indirecta afectan al tema de la impermeabilización del hormigón, nos vamos a limitar a hacer una ligera mención a los mismos.

Obturación rápida de fugas de agua

Existen diversos productos, a base de aditivos, a la masa de mortero, que aceleran el fraguado de la misma, con gran capacidad de adhesión y cierto poder impermeabilizante.

También se emplean masillas, de diversa base asfáltica, sintética, etc., que puedan obturar pequeñas fugas de agua.

En cualquier caso, se trata de productos taponantes, de fraguado muy rápido, que han de tener un poder adherente al hormigón muy grande, y gran estabilidad futura.

Cierre de juntas de contracción, grietas, etc.

Existen masillas a base de materias asfálticas, otras a base de polímeros orgánicos —de mayor o menor viscosidad y con o sin adición de fibras de amianto, etc.— y otras de caucho sintético.

Su aplicación para grietas, fisuras, juntas de pavimentos o muros de poca profundidad, etcétera, es muy diversa.

Deberá buscarse en las masillas las propiedades siguientes:

- Gran poder de adhesión a las paredes de la junta, grieta, etc.
- Impermeabilidad.
- Capacidad de deformación reversible.
- Estabilidad mecánica ante las mayores oscilaciones de temperatura previsibles.
- Inalterabilidad bajo presión del agua y a la abrasión.
- Limitada fluencia.
- Carencia de envejecimiento.

Por último, existen bandas prefabricadas —de perfiles muy diversos— para embeber en el hormigón, en las juntas de contracción, permitiendo su movimiento.

Son juntas plásticas de PVC, neopreno o caucho natural, correspondiente a distintas marcas.

LAMINAS Y REVESTIMIENTOS CONTINUOS

Se trata de elementos que, aplicados en la superficie exterior del hormigón, en contacto con agua a presión, consiguen una impermeabilización estanca.

Solamente haremos una mención muy general, por cuanto no se trata de impermeabilización de los hormigones —propiamente di-

cha—, sino más bien de elementos exteriores que protegen los mismos contra la entrada del agua en su interior.

EFFECTOS PRODUCIDOS

Como se acaba de indicar, impiden, materialmente, el paso del agua a través de los mismos, evitando que aquélla entre en contacto con el hormigón —que, en este caso, no precisa de ningún tratamiento o cuidado para mejorar su impermeabilidad—.

CARACTERÍSTICAS

Dentro de la gran variedad de esos elementos, existen dos tipos básicos:

1. Aquellos productos aplicados in situ, a base de pintura, que al solidificarse forman una lámina o revestimiento continuo.
2. Aquellas láminas prefabricadas que, de acuerdo con las técnicas peculiares en cada marca, se aplican sobre la superficie a impermeabilizar.

A los primeros pertenecen diversos tipos de emulsiones o pastas:

- a) Emulsiones bituminosas modificadas con caucho, que al secar forman una película impermeable, elástica. Se trata de líquidos pastosos de color pardo oscuro, con un peso específico de 1,10 a 1,15 kilogramos/litro y con consumos, según el espesor, no inferiores a 1,5 kg/m².
- b) Pastas vinílicas que después de extendidas polimerizan, formando un recubrimiento continuo y estanco. Se trata de pastas de color verdoso oscuro —que luego puede pintarse en metalizado aluminio o cobrizo—, con un peso específico de 1,10 a 1,30 kg/litro y consumos, según el espesor, no inferior a 1,5 kg/m².

A los segundos corresponden diversos tipos de hojas o láminas, que soldadas entre sí crean impermeabilizaciones estancas:

- a) Láminas a base de productos asfálticos, de una o varias capas, con o sin intercalación o protección con hojas de papel, aluminio, asfalto fundido, etc., dando

lugar a espesores y pesos por metro cuadrado muy diversos.

- b) Láminas a base de caucho o butilo, de diversos espesores y características.
- c) Hojas a base de resinas vinílicas —exentas totalmente de materiales asfálticos—. Son láminas de pequeños espesores (0,5, 0,7 y 1 mm), de policloruro de vinilo con un contenido en plastificantes del 49 % y un peso específico de 1,3 kg/dm³.

APLICACIONES

Como se ha indicado, se emplean como revestimiento de protección estanca de las superficies de hormigón (y otras muy diversas, que ahora no es del caso considerar), en contacto con humedades permanentes, agua a presión o líquidos agresivos. Unas veces van adheridas a la base, quedando como último elemento, y otras se colocan sueltas —cuando van a ir recubiertas con algún material de acabado, para protección contra el desgaste mecánico—.

Se aplicarán, fundamentalmente, en aquellas obras o disposiciones que exijan un aislamiento total del agua, consiguiendo un revestimiento estanco. Así, son de aplicación en depósitos o balsas de agua, en piscinas, para impedir la elevación de agua del terreno en las cimentaciones, para aislamiento del agua o humedades en recintos en los que existan o manipulen materiales especialmente deteriorables por las mismas, etc.

Consideraciones finales

La impermeabilización del hormigón es un tema generalmente tomado en consideración en cuanto hace referencia a aquellas estructuras u obras especiales en las que se hace patente, en grado elevado, el problema del paso del agua.

Existen, en estos casos, múltiples productos y disposiciones —generalmente propuestos por una gran variedad de empresas comerciales— que pretenden (consiguiéndolo con mayor o menor eficacia) evitar la entrada del agua en el interior de la masa del hormigón.

Menor énfasis se pone en el conocimiento de la permeabilidad del hormigón —como la de

la mayoría de los materiales de construcción—, y de los daños o perjuicios generales que la misma produce, muchas veces poco perceptibles o a largo plazo.

Este artículo ha pretendido, fundamentalmente, adentrarnos algo en el conocimiento de la permeabilidad del hormigón, indicando las disposiciones o tratamientos a emplear para disminuirla.

Como se ha expuesto, debe partirse de la base de que todos los hormigones son permeables, y que el medio más natural para hacerlos más impermeables reside, en primer lugar, en mejorar su calidad —materiales adecuados, dosificación correcta, preparación, transporte y colocación en condiciones, y convenientes disposiciones de curado—, con lo que también quedarán mejoradas las demás características de los hormigones endurecidos —resistencia mecánica y durabilidad—.

En base a lo mismo —mejorar la calidad del

hormigón y por ende su impermeabilidad—, en segundo lugar está el empleo de aditivos adecuados, como quinto ingrediente de los hormigones. Aditivos de una gran variedad en el comercio, pero que deberán ser bien elegidos en cada caso, y contrastados por certificados de laboratorios oficiales de garantía y por la experiencia acumulada.

En tercer lugar —y como es preciso tomar en consideración el aspecto económico del problema— puede limitarse la mejora a la zona o capa superficial de hormigón, mediante el empleo de los aditivos adecuados.

Por último —siempre sin perjuicio de intentar mejorar toda la masa del hormigón y, consiguientemente su impermeabilidad, a un coste muy reducido o nulo—, en casos especiales, de los que hablábamos al empezar este apartado, es cuando habrá que ir a las protecciones superficiales, exteriores a la masa de hormigón, análogamente a como se efectúa en obras de otros materiales.

résumé

Imperméabilisation du béton

Antonio Gete-Alonso de Ylera,
Dr. Ingénieur des Ponts et Chaussées

Cet article traite de l'imperméabilité du béton et des différents systèmes d'imperméabilisation.

Après une brève étude des diverses sortes de pores: capillaires, d'air et d'eau, sont analysées les différentes manières de pénétration de l'eau —pénétrabilité et hygroscopicité— et sont signalées l'importance de la perméabilité et son augmentation en fonction du diamètre des pores capillaires, tandis que l'hygroscopicité diminue lorsque leur diamètre augmente.

L'origine de l'eau est étudiée: humidité d'absorption et condensations, action de la pluie, pression de l'eau accumulée et humidités accidentelles; effets nuisibles de la perméabilité et de l'hygroscopicité; perte aux retenues d'eau, sous-pression, entraînement de particule, action type chimique et actions d'oxydation.

Les différentes manières de mesurer la perméabilité sont également d'objet d'étude: norme DIN, moyennant des éprouvettes sous forme de plaque; norme ASTM, moyennant des essais de gélivité et de perméabilité; moyennant l'imperméabilimètre, etc.

Une fois analysées les conditions initiales de base pour obtenir des bétons imperméables, sont considérés les deux systèmes pour diminuer la pénétration de l'eau dans les bétons:

- moyennant des adjuvants ou des traitements qui améliorent la qualité des bétons en vue d'assurer les conditions optima pour leur imperméabilisation;
- moyennant l'utilisation de produits qui évitent la pénétration de l'eau à l'intérieur de la masse du béton, sans en altérer les propriétés fondamentales.

Ces deux options nous amènent aux différents systèmes d'imperméabilisation: de masse, hydrofuges, de joints et de chapes et de revêtements continus. Ces systèmes sont étudiés à fond quant à leurs effets, caractéristiques et applications.

summary

Concrete water-proofing

Antonio Gete-Alonso de Ylera,
Dr. of Highway Engineering

This article refers to concrete water-proofing, and the different sealing systems used.

After a brief study of the different types of pores and air and water capillaries, the various kinds of water penetration —penetrability and hygroscopicity— are analyzed.

The origin of the water is studied: natural moisture, construction humidity, moisture coming from absorption and condensation, rain, accumulated water pressure and miscellaneous moisture and the damaging effects they have on permeability and on hygroscopicity; losses in reservoirs, sub-pressure, chemical reactions and oxidation.

The different forms of measuring permeability are also studied: DIN Standard, by means of test tubes in the form of plates; ASTM Standard, by freezing and permeability tests, by means of a permeability meter, etc.

After analyzing the basic conditions for decreasing water penetration in the concrete the following is considered.

- Means of additives or treatments which improve the quality of same in order to obtain optimum conditions for water-proofing;
- using products which avoid water penetration inside the concrete mass, without altering its basic properties.

These two forms refer to different water-proofing systems: mass, hydrofugous, joints, sheets and continuous lining. These systems are studied in detail as far as their effects, characteristics and applications are concerned.

zusammenfassung

Betonimprägnierung

Antonio Gete-Alonso de Ylera,
Strassenbauingenieur

In diesem Artikel geht es um die Undurchlässigkeit des Betons und die verschiedenen Imprägnierungsverfahren.

Nach einer kurzen Besprechung der verschiedenen Arten von Poren, Kapillar-, Luft- und Wasserporen, werden die verschiedenen Arten der Wassereindringung —Durchlässigkeit und Hygroscopicität— untersucht; hierbei wird die grössere Bedeutung der Durchlässigkeit unterstrichen, die im Verhältnis zum Durchmesser der Kapillarporen steigt, während die Hygroscopicität mit steigendem Durchmesser dieser Poren abnimmt.

Anschliessend wird die Herkunft des Wassers untersucht: natürliche Feuchtigkeit, Absorptions- und Kondensationsfeuchtigkeit, Einwirkung des Regens, Wasserdruck und zufallsbedingte Feuchtigkeit, sowie die schädlichen Auswirkungen von Durchlässigkeit und Hygroscopicität: Sickerverluste an Staudämmen, Unterdruck, Ausschwemmung von Partikeln, chemische und Oxydierungsvorgänge.

Desweiteren werden die verschiedenen Verfahren zur Messung der Durchlässigkeit untersucht: DIN-Norm mit plattenförmigen Probestück; ASTM-Norm mit Frost- und Durchlässigkeitsversuchen; Impermeabilisierungsmesser u.s.w.

Nach einer Erwägung der grundsätzlichen Ausgangsbedingungen, die zur Erzielung eines undurchlässigen Betons gegeben sein müssen, werden die beiden Verfahren zur Reduzierung der Wassereindringung im Beton erörtert:

- durch Zusatzmittel oder Spezialbehandlungen zur Qualitätsverbesserung des Betons, so dass optimale Bedingungen für seine Imprägnierung geschaffen werden;
- durch Benutzung von Produkten, die ein Eindringen des Wassers ins Innere der Betonmasse verhindern, ohne die Grundeigenschaften zur verändern.

Diese beiden Möglichkeiten führen uns zu den verschiedenen Imprägnierungsverfahren: Massenimprägnierung, wasserabstossende Imprägnierung, Dichtungen, Folien und durchgehende Verkleidungen. Diese Verfahren werden ausführlich auf ihre Auswirkungen, Besonderheiten und Anwendungsmöglichkeiten hin untersucht.