

CONOCIMIENTOS DEL HORMIGON LIGERO, CELULAR O DE ESPUMA, A BASE DE UN AGENTE AIREANTE

Por ANTONIO GETE-ALONSO DE YLERA,
Ingeniero de Caminos.

Expone el autor las características y propiedades del material reseñado en el epígrafe, destacando sus cualidades como aislante térmico y acústico y recalcando al final que no debe confundirse con los hormigones ligeros a base de productos químicos, ni con el hormigón aireado.

Consideraciones sobre los aislamientos.

El fundamento del poder aislante de los cuerpos, que se utilizan para dicho fin, reside en las células de aire que los mismos contienen. Prácticamente, es el aire absolutamente inmóvil el que tiene el menor coeficiente de conductibilidad, que puede tomarse igual a $0,018 \text{ K.cal./m.}^2 \text{ h } ^\circ\text{C.}$ para una temperatura de 100°C.

Ahora bien, solamente puede obtenerse el aire inmóvil cuando las paredes que lo contienen están a la misma temperatura, cosa prácticamente imposible. En consecuencia, podremos considerar como aislante ideal el que contenga mayor número de células de aire inmóvil; estas células convendrá sean lo más pequeñas posible, ya que más débil será la transmisión del calor.

Formando las células de aire parte de un cuerpo sólido, que es el aislante, convendrá que éste tenga ciertas condiciones, siendo las principales las siguientes:

1.ª Coeficiente de conductibilidad tan débil como sea posible.

2.ª Resistencia mecánica suficiente, para que pueda soportar los esfuerzos a que han de estar sometidos.

3.ª Densidad lo más pequeña posible, a fin de disminuir el peso que deben soportar las instalaciones y la cantidad de calor almacenado en el mismo.

4.ª No perjudicar la instalación en que se coloca.

5.ª Impermeabilidad tan absoluta como se pueda, aun cuando en la mayor parte de los casos quedarán protegidos, y

6.ª Facilidad de montaje, y desmontaje en algunos casos.

La medida del poder aislante de un material se fija por su coeficiente de conductibilidad térmica. Se llama coeficiente de conductibilidad térmica de un material, λ , al número de calorías que pasa durante una hora por un metro cuadrado de superficie, de un muro de un metro de espesor, construido con dicho material, cuando la diferencia de temperatura

entre las dos caras del muro es de un grado centígrado.

Los coeficientes de conductibilidad térmica de algunos materiales son los siguientes:

| MATERIAL | Coeficiente (Kcal/m. ² h.°C.) |
|---|---|
| Vitrofib | 0,028 |
| Corcho aglomerado puro | 0,034 |
| Corcho aglomerado con brea | 0,042 |
| Placas de fibra de madera aglomerada con cemento, secas | 0,110 |
| Placas ídem, humedad normal en la construcción, hasta | 0,250 |
| Cámara de aire de 6 cm. | 0,280 |
| Madera corriente protegida contra la humedad, en sentido perpendicular a las fibras | 0,140 |
| Madera corriente protegida contra la humedad, en el sentido paralelo a las fibras | 0,340 |
| Ladrillos huecos, secos, en paredes exteriores. | 0,350 |
| Ladrillos macizos, secos | 0,750 |
| Hormigón con la humedad normal en la construcción, hasta | 0,460 |
| Hormigón de escorias como pared exterior ... | 0,600 |
| Hormigón armado | 1,300 |
| Arena | 0,970 |
| Piedras naturales porosas (areniscas, caliza blanda o arenosa) | 1,500 |
| Piedras naturales compactas (granito, basalto, caliza) | 2,500 |
| Yeso en revestimiento interior | 0,250 |
| Revoque corriente en superficie exterior | 0,750 |
| Baldosas y azulejos | 0,900 |
| Pizarra | 1,200 |
| Placas de fibrocemento | 1,600 |
| Vidrio | 0,650 |
| Acero blando | 40,000 |

Los del hormigón celular o de espuma, para diversas densidades, son:

| Densidad (Kg./m. ³) | Coefficiente de aislamiento (K. cal/m. ² h. °C.) |
|------------------------------------|---|
| 300 | 0,05 |
| 350 | 0,068 |
| 400 | 0,074 |
| 500 | 0,092 |
| 600 | 0,10 |
| 700 | 0,12 |
| 800 | 0,15 |
| 900 | 0,16 |
| 1.000 | 0,182 |
| 1.100 | 0,25 |
| 1.200 | 0,27 |
| 1.300 | 0,31 |

Generalidades sobre el hormigón de espuma.

El empleo del hormigón ligero o celular, obtenido agregando al mortero una espuma persistente y uniforme, preparado a base de un agente aireante, se ha venido generalizando en los últimos años en el extranjero, y también en España.

Desde hace bastantes años, se ha tratado de generalizar el empleo del hormigón celular, no sólo por la ventaja de su reducido peso, sino también por sus buenas condiciones como aislante térmico y acústico.

Todos los procedimientos empleados estaban, anteriormente, basados en la formación de gases, mediante reactivos químicos que se agregaban al mortero antes de su mezcla.

Como es sabido, el hormigón celular debe su poco peso y demás características, a las pequeñas células de aire distribuidas uniformemente en su masa. Los dos mayores inconvenientes de los métodos antiguos de obtención de hormigón celular, a base de productos químicos, son: la tendencia de las células a segregarse, y el colapso durante su colocación y manejo.

Estos inconvenientes quedan eliminados mediante el nuevo procedimiento a base de un agente aireante, en el que se preparan separadamente el mortero y la espuma, que se mezclan en hormigoneras de tipo corriente. La preparación de la espuma, a su vez, se hace por procedimientos mecánicos, mediante el empleo de aparatos sencillos, obteniéndose una espuma resistente y persistente.

Por otra parte, al preparar por separado el mortero y la espuma, resulta más sencilla su dosificación. De esta forma, puede obtenerse una extensa variedad de características y densidades de hormigón ligero o celular, dosificando convenientemente el mortero y la espuma.

Preparación del hormigón de espuma.

Se prepara el mortero, casi seco, en una hormigonera de tipo corriente. La espuma se produce en un generador de espuma, máquina sencilla que suministran los mismos fabricantes del agente aireante. En la cantidad adecuada, se vierte la espuma dentro de la hormigonera en que está el mortero, y se continúa la mezcla poco tiempo, hasta asegurar una distribución uniforme de las células de aire a través de la masa, con lo que tendremos el hormigón en disposición de verterle en los moldes adecuados.

La presencia de las células de aire de tamaño uniforme, dan un alto grado de fluidez a la mezcla, muy interesante durante el período de elaboración, transporte y manejo de la masa.

La estabilidad de dichas células de aire es muy grande, de tal forma, que no solamente resisten al rudo trato propio de las operaciones indicadas, sino que la estructura celular permanece inalterable durante el vaciado de la hormigonera y relleno de moldes.

Propiedades del hormigón ligero, celular o de espuma.

Su fabricación, en la forma indicada y totalmente mecánica, permite obtener hormigones ligeros completamente homogéneos y con densidades variables, que pueden oscilar, por ejemplo, en la forma que se indica en la tabla anteriormente detallada.

Como consecuencia de dicha densidad, se pueden obtener materiales con resistencias que oscilan, aproximadamente, alrededor de los valores siguientes:

| Densidad (Kg./m. ³) | Proporción arena : cemento | Resistencia a compresión (Kg./cm. ²) |
|------------------------------------|-------------------------------|--|
| 0,4 a 0,8 | Sólo cemento. | 7 |
| 0,8 a 1 | 2 : 1 | 9 a 20 |
| 1,0 a 1,2 | 3 : 1 | 17 a 30 |
| 1,2 a 1,5 | 4 : 1 | 24 a 60 |

Es útil, por consiguiente, para su empleo en edificaciones urbanas e industriales (muros, paredes, cubiertas, forjados, etc.), adaptando su densidad a las condiciones necesarias de resistencia.

Es buen aislante del calor y del frío, pues contiene una gran proporción de aire inmóvil, en pequeñas células (de 0,075 a 1,25 mm.), totalmente separadas unas de otras. Cuando no se necesita resistencia y pueden aceptarse densidades bajas, se obtienen, como hemos visto anteriormente, materiales con un coeficiente de conductibilidad térmica muy baja, y mejor que el de la mayor parte de los buenos aislantes existentes en el mercado que, por sus demás condiciones, no valen, en cambio, para resistir ningún

otro esfuerzo, además de sus muchos inconvenientes y su coste muy elevado.

Tiene un buen valor como aislante acústico, ya que actúa como una sucesión de laminillas de aire yuxtapuestas, separadas por paredes muy finas, lo que hace disminuir la intensidad de las vibraciones sonoras que las atraviesan.

Es incombustible e imputrescible, no ejerciendo ningún efecto sobre la instalación en que se coloque.

Es suficientemente impermeable para utilizarle en exteriores, aunque normalmente irá protegido por algún otro material, y

Por último, es de fácil colocación, ya que puede manipularse como otros materiales normales del ramo de construcción, con la ventaja de su pequeño peso, que permite colocar placas o bloques de grandes dimensiones.

En consecuencia, los hormigones y morteros celulares o de espuma, de densidad graduable en relación con la cantidad del agente aireante empleado y, por consiguiente, de diferentes resistencias, se comprende tienen un amplio campo en diversos sectores de la edificación. Así, por su ligereza, resistencia adecuada, elevado poder aislante térmico y acústico, facilidad de colocación, de cortar con sierra, clavar puntas y colocar tornillos, etc., se utiliza en placas y bloques para muros, pisos, cubiertas, aislamientos diversos, etc., etc.

Normas y casos de aplicación práctica de los hormigones de espuma a base de un agente aireante adecuado.

No todos los agentes aireantes sirven para preparar el hormigón de espuma. En los aptos. deben tenerse en cuenta las observaciones siguientes:

AMASADO.

Los materiales deben verterse en la hormigonera por el siguiente orden:

- 1.º Agua con aireante.
- 2.º Arena.
- 3.º Cemento.
- 4.º Espuma.

La cantidad de agua con aireante puede ser del orden de un 40 por 100 del peso del cemento, y su objeto es el de humedecerle hasta darle una consistencia pastosa. Es muy conveniente hacerlo así, pues si no se corre el riesgo de que se formen grumos de cemento.

El cemento debe verterse poco a poco, evitando el hacerlo de golpe, lo que también podría provocar la formación de grumos.

La espuma necesaria debe agregarse, si es mucha (más de 15 litros en cada amasada), en dos veces: 5

litros primero y el resto después de un minuto de amasado.

La cantidad total de espuma necesaria debe determinarse experimentalmente para cada tipo de mortero a obtener. Como regla general, debe agregársele la necesaria para obtener un mortero cuya densidad en fresco sea superior en una décima a la buscada.

CONTROL DEL AMASADO.

Para bajas densidades, del orden de 0,5 a 0,6 kilogramos/m.³, que se obtienen con cemento solo, es necesario un control muy riguroso de las amasadas. El agua de la primera parte del amasado debe medirse exactamente, ya que una diferencia de un par de litros en más puede dar un producto de mala calidad.

El cemento *no debe medirse en volumen*, sino en peso, y también con el mismo grado de exactitud que el agua y por la misma razón. La espuma se mide por la cantidad de solución agua/aireante consumida por el generador de espuma. Para ello éste debe alimentarse con un depósito graduado, que nos permita determinarla a simple vista; un nivel exterior es el medio más adecuado.

Si el agua del amasado previo tiene gran importancia, aún la tiene mayor la cantidad de espuma agregada. Esta, en las primeras amasadas, debe añadirse poco a poco, comprobando cada vez la densidad obtenida en el mortero, hasta llegar a la densidad en fresco buscada. Si agregamos menos espuma de la debida, siempre estamos a tiempo de añadirle más, pero si hemos agregado más de la conveniente, la amasada es inaprovechable, ya que al agregarle de más el mortero obtenido será de densidad inferior a la buscada, y ya sólo cabría aumentar el agua (sin pasar por el generador) o el cemento. La primera solución no es aceptable, porque para aumentar en una décima la densidad tendríamos que agregarle una cantidad considerable de agua (ya que al verterla en la hormigonera y mezclarse con el aireante existente, parte de ella se convertiría también en espuma, lo que nos daría una relación agua/cemento muy elevada). En cuanto al cemento, agregarle una nueva cantidad daría lugar a la formación de grumos, de densidad mayor, indudablemente, pero que no tendrían influencia en la densidad del mortero primitivo. Por todo ello, repetimos la conveniencia de agregar poco a poco la espuma en la primeras amasadas.

Hemos observado también que en las tres o cuatro amasadas iniciales, aun conservando constantes las cantidades de agua, cemento, arena y espuma, pueden obtenerse densidades diferentes. Es conveniente, pues, medir las densidades en fresco, antes

de agregarle la espuma, para tener una idea previa de la que debemos añadirle.

A partir de la quinta amasada, si la medida de los componentes se hace con exactitud, puede prescindirse de la comprobación de la densidad en fresco en cada amasada, limitándose a hacerla cada cinco.

DEFECTOS PRINCIPALES DEL AMASADO.

1.º *Formación de grumos.*

Sumamente perjudiciales, pues para una densidad dada ésta no es homogénea, sino mucho mayor en los grumos y muy inferior en el resto, lo que da un producto de baja densidad y poca o nula resistencia, rodeando partes del cemento ligeramente húmedo y de densidad elevada. Al fraguar se produce una gran disminución del espesor de las losas, con aparición de grietas.

Causas.— Amasado previo hecho con un exceso o un defecto de agua. Vertido brusco del cemento en la hormigonera. Cemento con partes endurecidas por humedad. Alteración del orden de vertido de los materiales.

Remedios.— Reducir o aumentar, en cada caso, el agua de amasado previo. Seguir el orden agua/cemento/espuma. Verter el cemento poco a poco. Tamizado del cemento.

2.º *Gran retracción.*

Causas.— Densidad muy pequeña. Grietas en el encofrado. Exposición al sol durante el fraguado. Exceso de agua en el amasado.

Remedios.— Aumentar ligeramente la densidad en fresco disminuyendo la cantidad de espuma. Repasar con yeso todas las juntas del encofrado. Situar éste en lugar protegido del sol, preferentemente en sitio húmedo. Disminuir el agua de amasado previo; no debe llegarse a una lechada de cemento, sino a una pasta que no quede adherida a las paredes de la hormigonera y que resulte perfectamente amasada.

3.º *Variación brusca de la densidad en fresco.*

A veces se observa que después de haber hecho varias amasadas iguales obtenemos una diferente, a pesar de no haber variado los componentes. En este caso debe atribuirse el defecto al generador de espuma. Antes de iniciar la fabricación, compruébese el coeficiente de espumación del generador para la solución a emplear agua/aireante. Para ello llénese de espuma un recipiente cualquiera de capacidad conocida. El cociente

$$\frac{\text{volumen de espuma}}{\text{solución agua/aireante consumida}}$$
 nos dará dicho coeficiente. En el caso de obtener

una amasada muy diferente, compruébese el coeficiente de espumación. Si éste ha variado, compruébese si la solución agua/aireante sigue siendo la misma (es muy frecuente alterarla inadvertidamente, al preparar una nueva cantidad de solución).

Si continúa siendo la misma inicial, límpiense la cabeza generadora.

ENCOFRADOS.

Dada la gran fluidez del mortero celular, los encofrados deben ser realizados con mayor cuidado que para morteros normales.

Cuando el número de losas a construir es elevado y los encofrados han de utilizarse varias veces, deben hacerse con la solera de madera machihembrada.

Si, por el contrario, es corto el número de losas, puede utilizarse cualquier superficie plana horizontal, que debe recubrirse con papel. En ambos casos, tanto las maderas como el papel deben impregnarse en gas-oil, humedeciéndolos con éste varias veces. Con esto se evita la adherencia del mortero a la madera, pues aun siendo ésta muy pequeña, dada la baja resistencia inicial del mortero, se producirán numerosas roturas al desencofrar. Los encofrados no deben estar expuestos al sol ni al frío intenso. El lugar más apropiado para su colocación es el interior de la obra y en una zona donde haya un elevado grado de humedad. Todas las juntas deben ser repasadas con mortero de yeso.

VERTIDO DEL MORTERO EN LOS ENCOFRADOS.

Debe hacerse desde muy pequeña altura, con el fin de que no se formen burbujas, que serían puntos de muy pequeña resistencia.

CUIDADOS DURANTE EL FRAGUADO.

Debe evitarse la evaporación rápida de su humedad, lo que daría lugar a la formación de grietas, preservando las piezas del sol y del aire.

DESENCOFRADO.

En un término de seis días, como máximo, y mínimo de cuatro, pueden desencofrarse, haciéndolo con verdadero cuidado, dada su fragilidad en los primeros días.

Una vez quitado uno de los costeros, se corren las losas *sin levantarlas*, hasta que se note que no está adherida a la solera (basta correrlas un par de centímetros). A continuación se levanta por uno de sus costados, procurando que la arista opuesta siga en contacto con la solera, hasta que la losa quede de canto. Después se traslada con cuidado al lugar de curado definitivo.

Deben almacenarse de canto, en lugar fresco, hasta el momento de su empleo. Si el ambiente es demasiado seco, deben regarse cada dos días, hasta un mes después de su fabricación

ALGUNOS CASOS DE APLICACIÓN PRÁCTICA.

Mortero celular aislante, densidades 0,5/0,80 Tm./m.³.

Dosificación amasada:

Cemento: 60 Kg.

Agua/aireante, al 3,5 por 100: 25 litros.

Con todo ello se efectúa un amasado previo.

Espuma: Obtenida en generador de espuma, partiendo de solución agua/aireante al 3,5 por 100, en cantidad variable según la densidad; para densidad 0,55 puede tomarse 8 litros de agua/aireante, pasados por el generador.

En las densidades muy bajas (del orden de 0,55) hay que cuidar muchísimo la cantidad de espuma agregada, ya que un litro más de la necesaria puede producir un hundimiento de las piezas durante el fraguado.

Igualmente, es preciso tener en cuenta que la densidad resultante, una vez fraguado, es igual a las 9/10 de la densidad en fresco, aproximadamente, por lo que se recomienda que esta última densidad no baje de 0,61, para que al fraguar no sea menor de 0,55.

Es también muy conveniente determinar el índice de espumación, que debe ser constante y, para una solución al 3,5 por 100 de aireante, del orden de 6 a 7.

Este tipo de hormigón da resultados óptimos como aislante térmico, y ha sido adoptado en el Teatro Real de Madrid con resultados inmejorables, y en otros muchos sitios.

Mortero celular resistente, densidades 0,80/1,20 Tm./m.³.

Dosificación amasada:

Cemento: 60 Kg. (cuatro cubos).

Arena: Igual volumen que de cemento (cuatro cubos).

Agua/aireante, al 3,5 por 100: 24 litros (dos cubos).

Con todo ello se efectúa el amasado previo.

Espuma: Aproximadamente la que corresponde a 8 litros de solución agua/aireante al 3,5 por 100. La espuma necesaria depende, entre otros factores, de la humedad de la arena, granulometría, tipo de hormigonera, velocidad de rotación de ésta y del generador de espuma, etc. Por todo ello es necesario fijar la cantidad de espuma para cada caso particular, comprobando las densidades obtenidas en fresco, teniendo en cuenta que el mortero, al secarse, pierde 1/10 de su peso en fresco.

En ciertos casos y para densidades altas, puede no ser necesario agregar espuma, ya que la aireación obtenida por la solución agua/aireante agregada al principio, puede ser suficiente.

En el Teatro Real de Madrid se han fabricado losas de 2,50 m. de longitud, 0,50 m. de anchura y 0,10 m. de espesor, armadas con tres redondos de 10 milímetros de diámetro, empleando el mortero últimamente indicado, las cuales, apoyadas con luz de 2,30 m., han roto con una carga uniformemente repartida de 1.260 Kg./m.². Existen también otras múltiples referencias en España.

Consideración final.

Hemos creído conveniente escribir este pequeño artículo sobre el hormigón o mortero celular o de espuma, dada la utilidad práctica que creemos tiene dicho material en la construcción, así como para evitar los errores de los que le confunden con los hormigones ligeros a base de productos químicos, por una parte, y con el hormigón aireado, por otra.

