

Rellenos con morteros y hormigones fluidos de baja resistencia controlada

POR CARLOS JOFRÉ
DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



1.- Introducción

En un gran número de obras, una causa importante de los deterioros (fig. 1), y en muchos casos de un acortamiento sensible de su vida útil, la constituyen los rellenos localizados de zonas con una o dos dimensiones de tamaño reducido (zanjas, trasdoses de muros de contención o de estribos de obras de paso, etc.).

Un relleno correcto debería asegurar:

- la ausencia de huecos;
- una capacidad de soporte adecuada para que no se produzcan deflexiones excesivas o incluso asentamientos permanentes al paso de los vehículos;
- una compactación suficiente para evitar las deformaciones



Figura 1a. Ejemplo de los defectos provocados por una ejecución inadecuada de los rellenos de las zanjas: hundimiento de calzada y acera.

laterales del terreno adyacente que puedan afectar a servicios, firmes o cimentaciones próximas:

- un buen reparto de las tensiones originadas por las cargas del tráfico.

En el caso de rellenos constituidos por suelos procedentes de la propia excavación o por materiales granulares de aportación, el cumplimiento de las prescripciones técnicas para estas unidades de obra debería permitir obtener las características anteriores. Sin embargo, en la práctica ésta no es la situación más frecuente. Así, en los firmes urbanos, provocan muchos problemas las numerosas calas para instalación o reparación de servicios, por la poca calidad con la que se suelen rellenar. A ello contribuyen distintos factores, entre los que se pueden destacar los siguientes:

a) Una compactación incorrecta por:

- un excesivo espesor de tongada;
- el empleo de equipos de compactación inadecuados;
- una evaluación subjetiva del grado de compactación alcanzado, en vez de comprobarla mediante ensayos (que, por otra parte, son lentos y costosos).



Figura 2. Espacio insuficiente entre la conducción y las paredes de la zanja, haciendo prácticamente imposible una compactación adecuada del material por debajo del plano medio.



Figura 1b. Ejemplo de los defectos provocados por una ejecución inadecuada de los rellenos de las zanjas: socavón bajo la acera

Este problema se ve agravado en zanjas estrechas (por ejemplo, de ancho inferior a 1,25 m), que obligan al empleo de equipos de compactación de escasa potencia desplazados manualmente; y en las que, por otra parte, es frecuente que se deje un espacio excesivamente reducido entre la conducción y las paredes de la zanja (fig. 2):

b) La falta de atención a los desplomes laterales que pueden producirse una vez abierta la zanja, creando huecos bajo el firme existente. Su tratamiento correcto obliga a volver a recortar los bordes de la cala, para poder compactar desde arriba el material de relleno:

c) El empleo de materiales de relleno inadecuados, tanto por su composición como por su granulometría o su contenido de humedad, en general, difíciles de compactar. Es habitual ver acopiado junto a las zanjas el material procedente de la excavación, que luego es vuelto a colocar en ellas sin ningún proceso de selección (fig. 3).

Una compactación incorrecta se traduce posteriormente en asentamientos que perjudican la regularidad del firme, o en la aparición de huecos bajo éste. Los problemas se agravan en el caso de calas realizadas en firmes ya ejecutados, pues los cortes que se practican en él reducen la transmisión de cargas, y con ello la ca-

pacidad de reparto de tensiones.

Por causas similares, en las obras de carreteras también es frecuente la presencia de deterioros sobre las pequeñas obras de paso o en las aproximaciones a los estribos de los puentes.

2.- Consecuencias de los rellenos mal ejecutados

Las consecuencias de todo lo anterior son importantes:

- acortamiento notable de la vida de la obra;
- posibles roturas súbitas por formación de huecos bajo el firme (fig. 4);
- asentamientos a corto o largo plazo, pudiendo necesitar un refuerzo o incluso una reconstrucción;
- irregularidades superficiales (fig. 5), que se traducen en:
- conducción más incómoda;

Una compactación incorrecta se traduce posteriormente en asentamientos que perjudican la regularidad del firme, o en la aparición de huecos bajo éste.

- costes de explotación más elevados, por la disminución de velocidad;
- posibles daños a los vehículos y mayor consumo de gasolina por frenados y aceleraciones;
- conservación adicional;
- otros perjuicios de tipo ambiental:
 - mal aspecto del pavimento;
 - posibilidad de formación de charcos, con peligro de salpicaduras.

3.- Posibles soluciones a los problemas debidos a rellenos incorrectamente ejecutados

Las soluciones a los problemas anteriores pueden ser de dos clases.

La primera pasa por un **cumplimiento escrupuloso de las prescripciones** para este tipo de obras. Así, en el artículo 332 "Rellenos localizados" del Pliego de prescripciones técnicas generales PG-3/75 del Ministerio de Fomento se indican, entre otras, las siguientes:

- se utilizarán los mismos materiales que en las zonas correspondientes de los terraplenes;
- los materiales de relleno se extenderán en tongadas de espesor uniforme y sensiblemente horizontales;



Figura 3. Relleno de una zanja con material sin seleccionar.



Figura 4. Socavón en la calzada.



Figura 5. Bache en la calzada originado por un relleno incorrecto

- los materiales de cada tongada serán de características uniformes; y, si no lo fueran, se conseguirá esta uniformidad mezclándolos convenientemente con los medios adecuados;

- el espesor de estas tongadas será lo suficientemente reducido para que, con los medios disponibles, se obtenga en todo el mismo el grado de compactación exigido;

- el grado de compactación que se debe alcanzar en cada tongada dependerá de la ubicación de ésta, y en ningún caso será inferior al mayor que posean los suelos contiguos al mismo nivel.

Unas especificaciones similares figuran en el Pliego de pres-



Figura 6a. Relleno de una zanja con mortero fluido: vertido directo desde camión hormigonera.

cripciones técnicas generales para tuberías de saneamiento de poblaciones del Ministerio de Fomento.

Por su parte, el Ayuntamiento de Madrid, en su Pliego de condiciones técnicas generales y en su Normalización de elementos constructivos para obras de urbanización, al tratar del relleno de las zanjas para tubulares de alcantarillado, introduce, entre otras, las siguientes prescripciones complementarias:

- el relleno de las zanjas se compactará por tongadas sucesivas;
- las primeras tongadas, hasta 40 cm por encima de la generatriz superior del tubo, se realizarán con suelos adecuados o seleccionados, sin piedras de tamaño igual o superior a 2 cm, y con un grado de compactación no menor del 95% Proctor normal;
- las restantes tongadas estarán constituidas por suelos tolerables, adecuados o seleccionados; podrán contener material más grueso, recomendándose, sin embargo, no emplear elementos de dimensiones superiores a los 20 cm; su grado de compactación será igual o superior al 100% del Proctor normal.

En consecuencia, un relleno granular bien ejecutado exige un control cuidadoso, y en particular:

- de los materiales utilizados;
- de las paredes de la zanja, para comprobar que no se han producido desplomes;
- del proceso de compactación (espesor de tongadas, equipos utilizados);
- de la densidad obtenida, por medio de ensayos geotécnicos.

La segunda solución, como se verá mucho más eficaz desde un punto de vista práctico, consiste en el **empleo de morteros u hormigones**:

- **autonivelantes**, de forma que penetren con facilidad en todos los espacios por rellenar, y que no precisen ninguna compactación posterior;
- **de baja resistencia**, a fin de
 - disminuir costes;
 - poder ser reexcavados con facilidad, en caso necesario;

improbable una reexcavación posterior (por ejemplo, en hormigones de nivelación bajo cimentaciones). Por otra parte, también pueden emplearse materiales con una resistencia a compresión de tan sólo 0,35 MPa, los cuales tienen una capacidad de soporte similar a la de un relleno granular bien compactado.

Para la consecución de estas dos cualidades fundamentales (gran trabajabilidad y baja resistencia) suele recurrirse a dosificaciones con un elevado contenido de agua y, aun sin ser estrictamente necesario, en las que el conglomerante está compuesto principalmente por cenizas volantes. Estas últimas, por la forma esférica de sus partículas, tienen un efecto de "rodamiento de bolas", que mejora de forma notable la fluidez del material fresco.



Figura 6b. Relleno de una zanja con mortero fluido: zanja con el material de relleno que alcanza la cota inferior del firme.

- no crear zonas con una rigidez excesiva en comparación con las adyacentes;
- Esta última condición, junto con la de ser autonivelantes, es una de las características básicas de este tipo de rellenos. Por ello suelen conocerse también como materiales de baja resistencia controlada (MBRC). El rango de resistencias a la compresión en el que suelen moverse oscila en general entre 2 y 8,5 MPa, si bien los valores más altos suelen reservarse a obras en las que sea muy

En muchas ocasiones interesa, además, que estos rellenos tengan también una densidad reducida. Ello se consigue mediante la incorporación de aireantes a la mezcla o bien de agentes espumantes. Con ello se obtienen los llamados materiales de baja resistencia y baja densidad controladas (MBRC - BD). En el caso de utilizarse un espumante, es usual denominarlos morteros u hormigones espumados (*foamed concretes*). En ambos casos, la gran proporción de aire resultante

(superior al 25% y pudiendo llegar a ser mucho más elevada) es la principal responsable de los bajos valores de densidad y resistencia; y, por otra parte, las burbujas actúan asimismo como "rodamientos", incrementando ampliamente la trabajabilidad. Es frecuente, por ello, que se empleen incluso en aplicaciones en las que la densidad no es un factor determinante. Por sus características particulares, estos materiales serán objeto de un apartado específico.

4.- Ventajas e inconvenientes que aporta el empleo de materiales de baja resistencia controlada en rellenos

Las ventajas que aporta el empleo en rellenos de materiales de baja resistencia controlada son numerosas. Entre ellas pueden destacarse las siguientes:

- **Gran disponibilidad.** Pueden fabricarse en centrales de hormigón preparado, utilizando materiales locales.
- **Fácil suministro a obra,** en el volumen necesario, utilizando camiones hormigonera.
- **Puesta en obra cómoda y sin complicaciones.** Dependiendo del tipo y emplazamiento del hueco que rellenan, los MBRC pueden ser colocados mediante canaleta (fig. 6), bomba, cinta o cubilote. Al ser autonivelantes, prácticamente no requieren ser extendidos ni compactados, y penetran con gran facilidad en zonas difíciles, como las situadas bajo el plano medio de los conductos de sección circular. Todo ello se traduce en una mayor rapidez de ejecución y en una disminución de la mano de obra necesaria.
- **Gran versatilidad.** Las fórmulas de trabajo de los MBRC pueden ajustarse para satisfacer las exigencias particulares de una determinada obra. Así, la trabajabilidad puede aumentarse utilizando aireantes o plastificantes. Es posible incrementar la resistencia mecánica introduciendo más cemento. También pueden

utilizarse aditivos para regular los tiempos de fraguado. Cuando se precise, la densidad puede reducirse mediante el empleo de espumantes o aireantes.

- **Pueden ejecutarse en cualquier época del año.** Si en el fondo de la zanja hay agua acumulada, por ejemplo, a consecuencia de una lluvia, ésta es desplazada por el MBRC, reduciendo las necesidades de bombas de achique.

- **Aumentan la seguridad de los operarios.** Éstos no precisan penetrar en las zanjas para

- **Requieren menos controles.** Las sucesivas tongadas no precisan la realización de ensayos para comprobar si se ha obtenido la densidad requerida. Los únicos controles necesarios consisten, en general, en unas visitas esporádicas a la central de fabricación del MBRC para comprobar su homogeneidad, y en la toma ocasional de muestras *in situ*, sobre todo si el material experimenta alguna modificación a pie de obra (por ejemplo, la incorporación de un agente espumante para reducir su densidad).

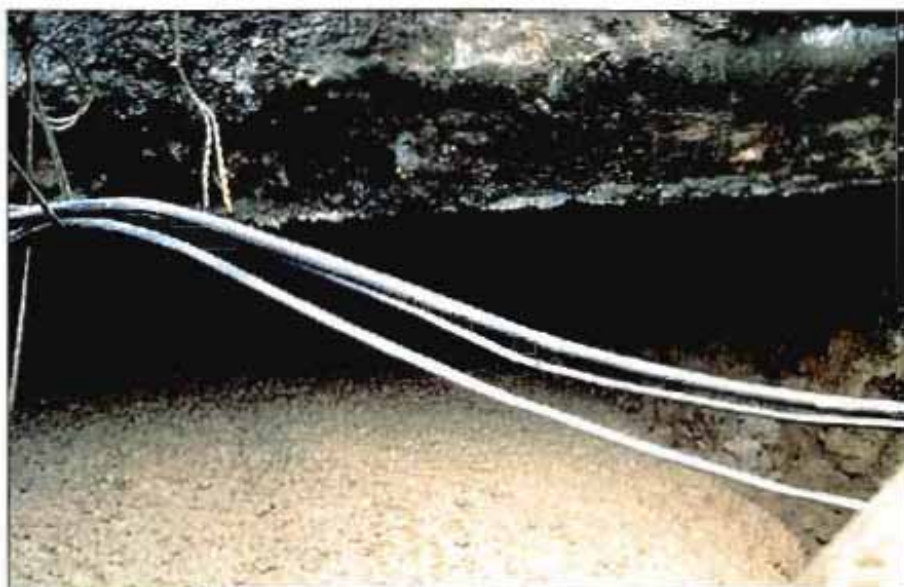


Figura 7. Con el empleo de morteros fluidos no es preciso volver a recortar los bordes de la cala, en el caso de que se produzcan desplomes laterales.

extender o compactar los materiales de relleno.

- **Se disminuye notablemente la maquinaria de puesta en obra,** al no precisarse, por ejemplo, palas cargadoras, rodillos, pisones, etc.

- **No precisan la formación de acopios.** Los camiones hormigonera pueden transportar a obra los MBRC en las cantidades requeridas. Por otra parte, al no ocuparse tanto espacio en las aceras, **se mejora la seguridad de los peatones.**

- **Garantías de homogeneidad mucho mayores** que las de los rellenos granulares, incluso de los ejecutados correctamente, por la naturaleza de los materiales utilizados, el menor número de operaciones y la independencia del grado de compactación alcanzado.

mente para reducir su densidad).

- **Permiten una apertura más rápida al tráfico,** tanto por su mayor facilidad de puesta en obra como por el menor ancho de las zanjas.

- **Resistencia y durabilidad.** La capacidad de soporte de los MBRC es en general superior a la de los rellenos granulares bien compactados. En caso de querer utilizarse como rellenos estructurales permanentes, pueden alcanzarse resistencias a compresión del orden de 8,5 MPa.

- **No sufren asentamientos.** En los MBRC no se crean huecos durante su puesta en obra ni tampoco asientan o se producen roderas al paso de las cargas. Esto presenta un interés particular en los rellenos bajo firmes.

- **Probabilidad mucho más reducida de aparición de so-**

Son los materiales más convenientes en las obras en las que la extensión y, sobre todo, la adecuada compactación del relleno puede presentar dificultades

cavones. Los MBRC son menos permeables y más resistentes a la erosión que los rellenos granulares. Esto ha sido comprobado tanto *in situ* como en laboratorio.

- **Pueden ser excavados fácilmente.** La resistencia de los MBRC puede ajustarse para permitir incluso eliminarlos con métodos manuales.

- **Mayor seguridad frente a rotura en el caso de una excavación posterior,** por el cambio obvio de apariencia entre un relleno de MBRC y el suelo circundante. Dicha seguridad puede incrementarse utilizando colorantes en la parte del relleno adyacente a la conducción.

- **Reducen los costes de excavación.** Las zanjas pueden ser más estrechas, al no requerir un sobrecancho para acomodar los equipos de compactación. Por otra parte, en el caso de calas en firmes en servicio no es necesario realizar cortes suplementarios en ellos si se producen desplomes de las paredes laterales de las zanjas (fig. 7). Como caso límite puede mencionarse su utilización en zanjas de 12 - 15 cm de ancho (fig. 8) para el alojamiento de conducciones de polietileno de 4 cm de diámetro de la red de gas natural.

- Todo lo anterior se traduce en unos **costes de conservación y de explotación más reducidos.**

- **Posibilidad de empleo de conducciones de menor resistencia,** tanto por el menor ancho de las zanjas como por el mayor factor de apoyo de los MBRC. Con ello se disminuye la carga sobre la tubería.

Estas ventajas deberían tenerse siempre en cuenta frente a al-

gunos inconvenientes que presentan los MBRC en comparación con los rellenos granulares, como pueden ser:

- **El mayor coste del material** (del orden de 6 000 pts/m³), si bien esta diferencia se vería muy disminuida de cumplirse en los rellenos granulares todas las exigencias sobre características de sus materiales, densidad en cada tongada, controles necesarios para ello, etc. El coste en sí de los MBRC puede además disminuirse utilizando cementos con un elevado contenido de adiciones activas o bien áridos marginales no totalmente adecuados para morteros u hor-



Figura 8. Relleno de una zanja estrecha para una canalización de gas natural

migones. Las dimensiones de la excavación se reducen frecuentemente, al no requerirse un espacio adicional para poder realizar una compactación adecuada. Es también posible disminuir, en muchos casos, la categoría resistente de la conducción, por el mayor factor de apoyo que proporcionan estos rellenos. Finalmente, hay que considerar también en el balance total los menores costes de conservación, así como los de explotación de los vehículos, al no producirse asentamientos, roderas, etc. en los MBRC.

- **La menor disponibilidad en algunas situaciones espe-**

ciales (por ejemplo, reparaciones de urgencia que haya que llevar a cabo durante la noche o el fin de semana).

5.- Aplicaciones de los materiales de baja resistencia controlada

En general, la principal aplicación de los MBRC es como relleno, en vez de un suelo o material granular. Dado que no necesitan compactación y pueden formularse para obtener mezclas muy fluidas, son los materiales más convenientes en las obras en las que la extensión y, sobre todo, la adecuada compactación del relleno puede presentar dificultades. Por otra parte, los materiales de baja resistencia y baja densidad controlada (MBRC - BD) pueden emplearse como rellenos ligeros en emplazamientos en los que se deba evitar un aumento del peso propio, por ejemplo, en azoteas. En estas últimas, los MBRC - BD presentan además la ventaja de sus excelentes características aislantes frente al calor.

A continuación se pasa brevemente revista a algunas de estas aplicaciones:

- **Rellenos no estructurales:** como los de zanjas, pequeñas obras de fábrica (fig. 9) y trasdoses de muros o de estribos de puentes (fig. 10). Como ya se ha mencionado en varias ocasiones, los MBRC no precisan ser compactados, por lo que pueden reducirse las dimensiones de la excavación. Hay que destacar además que, incluso en los rellenos granulares bien compactados y extendidos por tongadas de espesor adecuado, es difícil conseguir la uniformidad de los MBRC.

Al realizar los rellenos de trasdoses de muros de contención o de estribos de obras de paso, hay que tener en cuenta las presiones que ejerce el MBRC en estado fluido. En ocasiones, puede ser aconsejable una ejecución por tongadas, no extendiendo cada una de ellas hasta que la anterior haya endurecido.

- **Rellenos estructurales:** los MBRC pueden utilizarse como capa de regularización bajo cimen-



Figura 9. Relleno de una pequeña obra de fábrica

taciones. Las resistencias a compresión pueden variar entre 1 y 10 MPa, según las exigencias de la obra. En el caso de suelos débiles, distribuyen las cargas de la estructura sobre una superficie mayor. En excavaciones con una terminación irregular o de características heterogéneas, proporcionan una superficie de apoyo uniforme y bien nivelada. Con una resistencia apropiada, la capa de MBRC puede permitir la disminución de las dimensiones de la cimentación o de la resistencia del hormigón de la misma.

• **Rellenos sobre estructuras subterráneas** (aparcamientos, etc.) ejecutadas a cielo abierto, hasta alcanzar la cota inferior del firme.

• **Capas de firmes:** los MBRC pueden emplearse en subbases, e incluso como bases para tráficos ligeros. En vías urbanas, el MBRC puede verse directamente entre los bordillos previamente colocados. El espesor que se coloque depende, entre otros factores, de la resistencia del material. Para un rango de variación de las resistencias a la compresión comprendido entre 3 y 9 MPa, puede estimarse que los coeficientes de equivalencia estructural de los MBRC oscilan entre 0,16 y 0,28; es decir, superiores a los de las bases y subbases granulares y similares a los



Figura 10. Relleno de un trasdós de estribo.

de las capas tratadas con cemento.

• **Camas de conducciones:** los MBRC constituyen un excelente material en todo tipo de conducciones (agua, saneamiento, gas, teléfono, energía eléctrica, etc.), bien como cama de apoyo de ellas, bien para envolverlas completamente. Debido a su fluidez, los MBRC rellenan los huecos bajo los tubos, proporcionando un soporte uniforme. Por otra parte, es posible diseñar las mezclas para obtener, una vez endurecidas, una buena resistencia a la erosión, lo que dificulta que se produzcan socavaciones.

Los MBRC pueden emplearse también para envolver por completo las conducciones y protegerlas de daños en caso de una reexcavación futura. El apreciable cambio de características del MBRC frente a las del suelo o relleno granular circundante sirve para alertar de la presencia de la conducción. Este efecto puede reforzarse empleando colorantes en la mezcla; o, al menos, en la parte más cercana al conducto.

• **Control de erosión:** los MBRC presentan una resistencia a la erosión superior a la de otros tipos de rellenos. Esto se ha podido comprobar tanto por su comportamiento *in situ* como mediante ensayos de laboratorio, exponiéndolos a la acción de flu-

jos de agua con velocidades del orden de 0,5 m/s.

Haciendo uso de esta propiedad, los MBRC se emplean también en aplicaciones tales como:

- cementación de bloques de escollera para protección de taludes o de cuencos amortiguadores de presas;
- relleno de colchones de geotextil para protección de taludes en canales, zonas costeras, etc.;
- inyecciones para relleno de huecos bajo firmes, aceras, losas de transición en aproximaciones a puentes, etc.



Figura 11. Relleno de un depósito subterráneo fuera de servicio.

• **Relleno de obras subterráneas fuera de servicio:** los MBRC se utilizan para rellenar antiguas alcantarillas o galerías subterráneas abandonadas, así como sus pozos de acceso. Cuando el MBRC deba desplazarse en una longitud elevada (en algunas obras se han alcanzado recorridos que superan los 90 m) es conveniente mantener un ritmo de suministro lo más uniforme posible.

Otra posibilidad es el relleno de sótanos o depósitos fuera de servicio (fig. 11), vertiendo el material a través de alguna abertura (puerta, registro, etc.), o bien directamente, en el caso de piscinas.

Los materiales de baja resistencia y baja densidad controladas (MBRC-BD) pueden utilizarse en todas las aplicaciones anteriores, así como en otras más específicas en las que interese reducir el peso propio o conseguir un buen aislamiento:

• **en azoteas y cubiertas,** para la formación de pendientes o como capa aislante (fig. 12);

• **en tableros de puentes,** como relleno de zanjas para alojamiento de servicios (fig. 13);

• **en trasdoses de muros de contención o de estribos de obras de fábrica,** para reducir las presiones sobre ellos;

• **sobre estructuras subterráneas situadas a poca profundidad.**

6.- Materiales

Las mezclas típicas de MBRC están compuestas por cemento, agua, árido fino y, en los casos en



Figura 12. Formación de una capa aislante con mortero ligero en una cubierta.

que se quiera obtener una resistencia o densidad más elevadas, árido grueso. En Estados Unidos se utilizan frecuentemente cenizas volantes en mayor o menor proporción, con objeto de aumentar la trabajabilidad y las resistencias a largo plazo, y reducir la exudación, la permeabilidad y la retracción de las mezclas resultantes. Estos mismos resultados pueden obtenerse con más garantías empleando cementos con un contenido elevado de cenizas volantes (sobre todo, cementos puzolánicos CEM IV/B o cementos especiales ESP-VI de la Instrucción RC-97).

En algunos tipos de obras se utilizan, como MBRC, lechadas constituidas por agua, cemento y, eventualmente, cenizas volantes. Estas mezclas resultan apropiadas para algunas aplicaciones especiales, por ejemplo, en inyecciones de lechada para el relleno de huecos bajo un pavimento de hormigón, o bajo losas de transición en aproximaciones a puentes.

En los MBRC se han empleado igualmente aireantes para aumentar la trabajabilidad y reducir tanto la densidad como la resistencia mecánica. También pueden mejorar las propiedades aislantes (menor conductividad térmica), lo que tiene interés, por ejemplo, en cubiertas.

Los plastificantes reductores de agua se han utilizado sobre todo en mezclas con un bajo contenido de finos, a fin de disminuir el contenido de agua y acelerar el desarrollo de resistencias.

Excepto en el caso de las lechadas, los áridos son normalmente el componente principal de los MBRC, por lo que pueden tener un marcado influjo tanto en su resistencia como en su trabajabilidad. Suelen emplearse áridos que cumplan los requisitos para morteros u hormigones, por su mayor disponibilidad. Asimismo pueden utilizarse suelos procedentes de la excavación de las propias zanjas, siempre que no contengan demasiados finos arcillosos. En este sentido, podría decirse que un suelo apto para ser estabilizado con cemento suele ser también adecuado para su uso en MBRC. Finalmente, en la literatura técnica se menciona también el empleo de algunos materiales residuales (cenizas de cenicero, arena de fundición, etc.). No obstante, los áridos no convencionales deben utilizarse con precaución, vigilando que no contengan sustancias perjudiciales (por ejemplo, materia orgánica) y realizando ensayos previos.

7.- Fórmulas de trabajo

No existe un método específico para la obtención de las fórmulas de trabajo de los MBRC. Los empleados con morteros y hormigones normales no suelen ser muy fiables en estos casos, por lo que lo habitual es proceder por tanteos.

Los contenidos de conglomerante suelen oscilar entre los 100 y 300 kg/m³, mientras que los de agua varían entre 200 y 350 l/m³.

Los MBRC, no requieren vibración ni compactación, consolidándose por efecto de su peso propio

Si se utilizan morteros como MBRC, la cantidad de arena es del orden de 1500 a 1800 kg/m³. Los hormigones con árido grueso son menos habituales como MBRC que los morteros. En caso de emplearse, la relación ponderal árido grueso/árido fino varía en general entre 1 y 1,4, con un contenido total de áridos del orden de 1900 - 2100 kg/m³.

En la tabla 1 se han incluido datos de varias dosificaciones utilizadas en distintas obras.

Las reducidas resistencias indicadas en la tabla 1 deben atribuirse a que los conglomerantes están compuestos en una gran proporción por cenizas volantes, y a que se trata de valores a 28 días, ya que este tipo de conglom-



Figura 13 Relleno de una zanja para el alojamiento de canalizaciones en el tablero de un puente.

Para el amasado de los componentes puede recurrirse a varios métodos: centrales de hormigón discontinuas, camiones hormigonera y amasadoras continuas. Algunas lechadas pueden necesitar un tiempo de mezcla superior a 15 minutos.

El transporte se realiza habitualmente en camiones hormigonera. Salvo en el caso de

Dependiendo del tipo de obra y de su accesibilidad, el MBRC puede ser colocado mediante caída directa desde la canaleta del camión hormigonera, o bien utilizando cintas, bombas o cubiletos, según los casos.

Los MBRC, como ya se ha mencionado en varias ocasiones, no requieren vibración ni compactación, consolidándose por efecto de su peso propio.

En el relleno de zanjas los MBRC se suelen verter en continuo. No obstante, en el caso de zanjas largas que se rellenen por etapas, o de construcciones con los extremos abiertos (como antiguas galerías fuera de servicio), debe preverse algún tipo de contención (sacos de arena, mezclas de MBRC más rígidas, etc.).

Si se emplean para formar camas de tuberías o para envolverlas, debe evitarse la flotación de las mismas. Ello puede obligar en ocasiones bien a un hormigonado por tongadas que se dejan endurecer hasta el vertido de la siguiente, bien a la disposición de algún tipo de anclaje. Por otra parte, deberá procurarse que en las primeras fases de la extensión no se produzcan acumulaciones laterales de material junto a la tubería que pudiesen dar lugar a su vuelco. Para ello, el vertido se realizará, a ser posible, sobre la clave.

TABLA 1
EJEMPLOS DE DOSIFICACIONES DE MBRC

Tipo de mezcla	Conglomerante (kg/m ³)	Árido fino (kg/m ³)	Árido grueso (kg/m ³)	Agua (l/m ³)	Res. comp. a 28 días (MPa)
Hormigón	30	1100	1010	195	0,4
Hormigón	175 ⁽¹⁾	860	1125	160	0,7
Mortero	385 ⁽²⁾	1485	-	300	0,55
Lechada	770 ⁽³⁾	-	-	680	0,35
Lechada	1300 ⁽⁴⁾	-	-	250	Sin datos

(1) Conglomerante con 80% de cenizas volantes
(2) Conglomerante con 90% de cenizas volantes

(3) Conglomerante con 85% de cenizas volantes
(4) Conglomerante con 95% de cenizas volantes

merantes tiene un desarrollo lento de resistencias.

8.- Puesta en obra

En general, la puesta en obra de los MBRC (con la excepción de los de baja densidad obtenidos mediante la adición de un espumante) se realiza de forma similar a la de los morteros u hormigones convencionales.

distancias cortas, durante el mismo la mezcla debe agitarse, a fin de que los componentes sólidos permanezcan en suspensión.

También se han utilizado para el transporte cintas y bombas. En este último caso, dado el elevado contenido de finos habitual en los MBRC, es necesario que la bomba se encuentre en perfecto estado y limpia.

El hormigonado por tongadas también puede ser conveniente en rellenos de trasdoses de muros de contención, así como en el caso de una tubería flexible, a fin de proporcionar un cierto soporte lateral e impedir que se concentre sobre ella una parte importante de la presión ejercida por el material fresco.

Los MBRC se han vertido bajo el agua sin que se hayan apreciado segregaciones importantes. En espacios confinados, los MBRC desplazan el agua hasta la superficie, de donde puede ser eliminada fácilmente.

Debido a su consistencia muy fluida, los MBRC pueden recorrer grandes distancias, relleno huecos y cavidades situados en emplazamientos de difícil acceso. Dichos huecos no precisan ser limpiados previamente, porque los MBRC encapsulan todos los elementos sueltos.

9.- Control de calidad

El nivel de control, como es lógico, depende de la experiencia que se tenga con el material y de la importancia de la obra. Puede ir desde un simple control visual hasta la realización de ensayos sistemáticos de consistencia, densidad y resistencia.

Según el tipo de obra y las exigencias de la colocación, la consistencia varía entre fluida y plástica. Para su determinación, en las mezclas fluidas puede ser de aplicación, entre otros, el método descrito en la Norma ASTM C 939 (*Flow Cone* o cono de fluidez), en el que se mide el tiempo que tarda en fluir, por efecto de la gravedad, un volumen dado de mortero a través de un cono invertido de dimensiones normalizadas; mientras que, con las de tipo plástico, puede emplearse el cono de Abrams (Norma UNE 83-313).

En lo que se refiere a la resistencia mecánica, hay que recordar que en algunas obras, como en las de rellenos estructurales bajo cimentaciones, puede ser necesario especificar un valor mínimo, para lo cual es necesario conocer las cargas que actúan sobre la estructura. Por el contrario, en obras que sean susceptibles de una reexcava-



Figura 14. Medida de la consistencia de un mortero ligero con cono de Abrams

ción posterior, hay que fijar una resistencia máxima. En general, se mide la resistencia a compresión de probetas, en cuyo caso hay que adoptar precauciones al removerlas de los moldes, por las bajas resistencias de estas mezclas. También pueden realizarse otras evaluaciones indirectas *in situ*, mediante penetrómetros o placas de carga.

En cuanto a la densidad, suele determinarse pesando un molde de volumen conocido, lleno de material.

10.- Propiedades de los MBRC

10.1.- Introducción

Los MBRC pueden considerarse un híbrido entre los suelos y los hormigones. Su fabricación y puesta en obra son similares a la de estos últimos; mientras que sus propiedades en servicio se asemejan más a las de un suelo. No obstante, tanto los componentes de la mezcla como sus proporciones mutuas tienen una gran influencia; por ello, la gama de valores para cada una de las características que se examinan a continuación suele ser muy amplia.

10.2.- Propiedades en estado plástico

Trabajabilidad. Como ya se ha mencionado, se trata quizás de la mayor ventaja que ofrecen es-

tos materiales. Son mezclas autonivelantes, que fluyen relleno cualquier hueco y se compactan por sí solas, sin requerir la intervención de otros equipos.

Hay que tener en cuenta, no obstante, que, por su fluidez, los MBRC en estado plástico ejercen una presión hidrostática. Ello, en ocasiones, lleva consigo el tener que trabajar por tongadas, las cuales se dejan endurecer antes de colocar la siguiente; por ejemplo, si se está trabajando entre encofrados, o si puede haber peligro de que se produzca flotación de tuberías.

Existen diferentes métodos para evaluar la fluidez o trabajabilidad de los MBRC. Si se emplea el cono de Abrams (fig. 14), puede establecerse la siguiente clasificación:

- mezclas de fluidez baja: asentamiento < 15 cm;
- mezclas de fluidez media: asentamiento entre 15 y 20 cm;
- mezclas de fluidez alta: asentamiento > 20 cm.

Segregación. Puede producirse en MBRC de fluidez alta, si ésta se consigue fundamentalmente mediante un alto contenido de agua. Para evitarla, deben utilizarse mezclas con un contenido adecuado de finos. También puede recurrirse al empleo de conglomerantes con una proporción elevada de cenizas volantes.

Asentamiento. Los MBRC experimentan una ligera reduc-

ción de volumen debida a pérdidas de aire ocluido y de agua. Esta última es absorbida por el terreno adyacente o bien asciende hasta la superficie del material (sangrado).

La mayor parte del asentamiento se produce durante la puesta en obra del material. Su valor depende fundamentalmente de la cantidad de agua libre eliminada, y suele oscilar entre el 1 y el 2% de la altura total del MBRC.

Plazo de endurecimiento.

Se entiende como tal el tiempo transcurrido desde la fabricación de la mezcla hasta que ésta pueda soportar el peso de una persona.

El plazo de endurecimiento se ve muy influido, entre otros factores, por la cantidad total de agua de exudación y por su velocidad de eliminación. Las características y dotación del conglomerante, así como la temperatura ambiente, tienen también una gran importancia. Normalmente suele oscilar entre 3 y 5 horas, aunque en ocasiones puede llegar a reducirse a 1 hora.

El grado de endurecimiento de un MBRC está directamente relacionado con su resistencia mecánica y su capacidad de soporte. Para evaluarlo, puede recurrirse a ensayos de penetración.

Bombeabilidad. Los MBRC pueden ser bombeados empleando equipos convencionales, para acceder, por ejemplo, a emplazamientos de acceso difícil. La dosificación de la mezcla tiene en estos casos una importancia fundamental, como ocurre con los hormigones bombeados. Al igual que en éstos, es importante mantener un flujo continuo de material en la tubería de bombeo.

10.3.- Propiedades en servicio

Resistencia (capacidad de soporte). La capacidad de soporte de un MBRC está muy relacionada con su resistencia mecánica. Un material con una resistencia a compresión entre

0,35 y 0,7 MPa tiene una capacidad de soporte similar a la de un suelo compactado.

Como ya se ha mencionado, en los MBRC debe, en general, controlarse que su resistencia no alcance un valor excesivo, a fin de permitir que pueda reexcavarse en caso necesario.

Densidad in situ. Suele variar entre 1850 y 2300 kg/m³. Estas densidades son en general superiores a las de los rellenos con suelos o materiales granulares bien compactados.



Figura 15. Excavación a mano de un material de baja resistencia controlada.

En el caso de emplear como MBRC lechadas de agua y cemento, la densidad descende a 1100 - 1200 kg/m³. En las mezclas espumadas, de las que se tratará posteriormente, pueden obtenerse valores todavía más bajos.

Asentamiento. Al contrario que en los rellenos granulares, los MBRC no experimentan asentamientos una vez que han endurecido. Esto ha podido comprobarse con medidas realizadas a posteriori en algunas obras.

Aislamiento térmico y conductividad. Los MBRC no son en general buenos aislantes térmicos. La conductividad desciende al ir disminuyendo la densidad

En este sentido, los hormigones y morteros espumados tienen buenas propiedades aislantes, y son muy recomendables en algunas aplicaciones en las que interese esta cualidad, como pueden ser las capas de formación de pendientes en cubiertas.

En otras ocasiones puede buscarse el efecto contrario, como ocurre por ejemplo en los rellenos que rodean cables de energía eléctrica. En estos casos conviene ir a mezclas de alta densidad y muy baja porosidad.

Permeabilidad. La permeabilidad de la mayoría de los MBRC excavables es similar a la de los rellenos granulares bien compactados. Los valores típicos del coeficiente de permeabilidad suelen oscilar entre 10⁻⁴ y 10⁻⁵ cm/s. En las mezclas de mayor resistencia y contenidos más elevados de finos, dicho coeficiente puede descender hasta 10⁻⁷ cm/s. Por el contrario, la permeabilidad aumenta al disminuir tanto la dotación de conglomerante como la fracción de árido que pasa por el tamiz de 80 µm.

Retracción - Agrietamiento. Tanto la retracción como el agrietamiento resultante no afectan prácticamente el comportamiento de los MBRC. Los valores del acortamiento por retracción son muy reducidos, oscilando en general entre 0,02 y 0,05%.

Excavabilidad. Se trata evidentemente de una característica de gran interés en muchas obras, pensando sobre todo en futuras reparaciones o renovaciones de servicios. Como es lógico, depende en gran medida de la resistencia alcanzada. En general, se considera que con valores que no superen los 0,5 MPa es posible la excavación a mano (fig. 15); y que, hasta 2 MPa, puede emplearse una retroexcavadora.

No obstante, la excavabilidad del material se ve también muy afectada por el tipo de material utilizado. Las mezclas con árido grueso son difíciles de excavar a mano, incluso con bajas resistencias.

Es conveniente, por tanto, prever una dotación de conglomerante acorde con la resistencia que se prevea alcanzar, y realizar, si se considera conveniente, determinaciones de la misma a edades avanzadas.

Para reducir las resistencias, puede recurrirse a una disminución del contenido de conglomerante, o bien al empleo de aireantes.

11.- Morteros y hormigones de resistencia y densidad controladas

11.1.- Introducción

Cuando además de las propiedades más características de los MBRC (trabajabilidad, resistencia reducida) se requieren en ellos bajas densidades (entre 400 y 1700 kg/m³), se añade un oclisor de aire, o bien un agente espumante, a la mezcla de agua, cemento y áridos. Se obtienen así los llamados materiales de baja resistencia y densidad controladas (MBRC-BD). En el caso de utilizarse un espumante es mucho más frecuente denominarlos morteros u hormigones espumados o celulares.

Los oclisores de aire crean literalmente millones de burbujas dentro de la mezcla, con un diámetro comprendido en general entre 20 y 200 micras. Por el contrario, en los morteros espumados es usual que el diámetro mínimo de las burbujas sea del orden de 0,1 mm, y que en más de un 75% de ellas esté comprendido entre 0,3 y 1,5 mm. Como consecuencia de ello, tanto la estructura como las propiedades del material endurecido presentan diferencias notables según el tipo de aditivo empleado, algunas de las cuales se han resumido en la *tabla 2*.

En estas mezclas no suele emplearse árido grueso, por su tendencia a segregarse; aunque es posible recurrir a áridos ligeros de densidad similar a la del material endurecido. En los morteros espumados, la gama inferior de densidades (por debajo de 600

TABLA 2
PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE LOS MORTEROS AIREADOS Y ESPUMADOS

Propiedad	Aditivo	
	Oclisor de aire	Espumante
Diámetro de burbuja	0,02 - 0,2 mm	>75% con diámetro entre 0,3 y 1,5 mm
Contenido de aire (%)	15 - 35	25 - 65 ⁽¹⁾
Densidad seca (kg/m ³)	1900 - 1400	1550 - 750 ⁽¹⁾

(1) Hasta un 80% de aire y 350 kg/m³ de densidad en mezclas sin arena.

kg/m³) se obtiene suprimiendo el árido fino.

Por las distintas características de los morteros espumados y aireados, ambos tipos de materiales se tratarán separadamente.

11.2.- Morteros espumados o celulares

11.2.1.- Materiales

El componente principal es un agente espumante. Los más usuales están basados en proteínas hidrolizadas o en dispersantes sintéticos. Se trata de conseguir con ellos un conjunto de burbujas que sea estable y capaz de resistir los esfuerzos a que se ve sometido durante el amasado, puesta en obra y endurecimiento del material.

En ocasiones se añade un superplastificante para incrementar todavía más la trabajabilidad. También puede añadirse un acelerante si se desea, por ejemplo, una puesta en servicio más rápida.

Los restantes componentes son el cemento, el agua y los áridos. En general puede emplearse cualquier tipo de cemento, con o sin adiciones activas. Si se desea acelerar la puesta en servicio, es posible recurrir a cementos de alta resistencia inicial.

El agua que se utilice debe ser potable. Ello reviste una importancia especial en el caso de que se utilicen espumantes a base de proteínas, puesto que entonces las contaminaciones de origen orgánico pueden afectar desfavorablemente a la calidad de la espuma.

Como ya se ha indicado, en estas mezclas es habitual utilizar como árido solamente arena. Generalmente se le exigen las mismas características que para su empleo

en hormigones o morteros de albañilería, aunque también se han obtenido buenos resultados con arenas marginales procedentes, por ejemplo, de colas de machaqueo. A igualdad del resto de factores, algunas investigaciones parecen indicar que se consiguen resistencias más elevadas con arenas finas de 2 mm de tamaño máximo y una proporción de partículas cernidas por el tamiz UNE 0,63 comprendida entre el 60 y el 95%.

11.2.2.- Fórmulas de trabajo

Las dotaciones usuales de cemento suelen estar comprendidas entre 300 y 375 kg/m³.

Es conveniente que la mezcla base de cemento, agua y áridos posea de por sí una trabajabilidad elevada. En caso contrario, se corre peligro de que tienda a extraer agua de la espuma, provocando su colapso. Por ello deben utilizarse mezclas base con una relación agua / cemento relativamente alta (entre 0,5 y 0,6), o bien recurrir al empleo de superplastificantes. A este respecto hay que indicar que, tanto si se utilizan estos últimos como cualquier otro tipo de aditivos (por ejemplo, aceleradores de fraguado), debe asegurarse su compatibilidad con el espumante.

Aunque no pueden darse reglas fijas, en la *tabla 3* se indican algunas dosificaciones tipo que permiten hacerse una idea de cómo influyen los distintos componentes en algunas propiedades de los morteros espumados.

Los porcentajes de aire ocluido varían inversamente al contenido de arena, y suelen oscilar en general entre el 80% (en las mezclas sin arena) y el 25% en volumen,

11.2.3.- Fabricación y puesta en obra

El aditivo espumante puede incorporarse de diferentes formas a la mezcla base de cemento, agua y áridos:

- **In situ:** la concentración de espuma se incorpora como un componente más a la misma mezcladora en la que se realiza el amasado del mortero u hormigón. Normalmente, el agua y la concentración se mezclan durante un corto período, antes de la introducción del cemento y de los áridos, a fin de permitir que se forme la espuma.

- **Como espuma preformada:** ésta se obtiene diluyendo en agua la concentración de espuma (habitualmente en proporciones de una parte de concentración por 5 a 40 partes de agua) y haciéndola luego pasar por un generador de espuma. En éste la mezcla resultante se combina con aire comprimido y se hace pasar por un estrechamiento. Con ello se produce una expansión de hasta 20 veces el volumen inicial, dando lugar a una espuma estable (con una densidad que oscila en general entre 25 y 80 g/l) constituida básicamente por burbujas de tamaño reducido (como ya se ha mencionado, alrededor del 80% tienen un diámetro comprendido entre 0,3 y 1,5 mm). La espuma se incorpora luego en la proporción requerida a la mezcla base y se amasa con ella, bien en camión hormigonera, bien en planta. Dependiendo de las características de esta última, el mortero u hormigón espumado puede fabricarse de forma continua o por amasadas.

Hay varios tipos de generadores de espuma. Pueden consistir en un equipo fijo o bien en una pistola accionada manualmente (fig. 16).

En situaciones de emergencia o en unidades de pequeño volumen (por ejemplo, para efectuar un relleno alrededor de un registro) se suelen utilizar pequeñas amasadoras de obra, que pueden producir, por ejemplo, 200 l de mortero espumado a partir de un volumen de mezcla base correspondiente a un saco (50 kg) de cemento.

TABLA 3
EJEMPLOS DE DOSIFICACIONES DE MORTEROS ESPUMADOS

Densidad húmeda (kg/m ³)	500	900	1300	1700
Densidad seca (kg/m ³)	360	760	1180	1550
Cemento (kg/m ³)	300	320	360	400
Arena (kg/m ³)	-	420	780	1130
Relación A/C de la mezcla base	Entre 0,5 y 0,6			
Contenido de aire (%)	78	62	45	28



Figura 16. Adición de espuma preformada a un mortero.

El resto de las operaciones de puesta en obra no presenta diferencias con respecto a las usuales en los MBRC.

11.2.4.- Propiedades de los morteros espumados

Al igual que ocurre con los hormigones densos, la resistencia a compresión de un mortero espumado depende de la densidad, de la relación agua / cemento de la mezcla base y del contenido de cemento. La densidad de la espuma tiene también influencia, especialmente en las mezclas más ligeras. En todos los casos, una espuma compuesta por burbujas pequeñas y de tamaño uniforme permite alcanzar mayores resistencias.

Como valores medios, puede estimarse que con densidades secas de 400 kg/m³ se obtienen resistencias a la compresión a los 7 días comprendidas entre 0,5 y

1,0 MPa, mientras que con una densidad de 1600 kg/m³ el rango usual de valores es de 7,5 a 10 MPa. En la tabla 4 se ha incluido una serie de datos que indican cómo varían con la densidad tanto la resistencia como otras propiedades (conductividad térmica, módulo de elasticidad, retracción por desecación) de los morteros espumados. Se han incluido asimismo algunas aplicaciones típicas para los distintos rangos de densidades.

Como puede apreciarse en dicha tabla, la retracción por desecación de los morteros espumados es mayor que la de los hormigones densos. Las retracciones más elevadas se registran en las mezclas de menor densidad, que están constituidas esencialmente por una lechada de cemento espumada.

La conductividad térmica es del orden de un 5 a un 30% de

TABLA 4
PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LOS MORTEROS ESPUMADOS

Densidad seca (kg/m ³)	Resistencia a compresión (MPa)	Conductividad térmica (W/mK)	Módulo de elasticidad (MPa)	Retracción por desecación (%)	Aplicaciones
400	0,5 - 1,0	0,10	800 - 1000	0,30 - 0,35	Rellenos aislantes (cubiertas, azoteas, piscinas climatizadas, etc.)
600	1,0 - 1,5	0,11	1000 - 1500	0,22 - 0,25	
800	1,5 - 2,0	0,17 - 0,23	2000 - 2500	0,20 - 0,22	
1000	2,5 - 3,0	0,23 - 0,30	2500 - 3000	0,18 - 0,15	
1200	4,5 - 5,5	0,38 - 0,42	3500 - 4000	0,11 - 0,09	Relleno de cavidades, conducciones de saneamiento fuera de servicio, etc.
1400	6,0 - 8,0	0,50 - 0,55	5000 - 6000	0,09 - 0,07	Rellenos de zanjas, trasdoses de muros, depósitos, etc.
1600	7,5 - 10,0	0,62 - 0,66	10000 - 12000	0,07 - 0,06	Capa de nivelación bajo cimentaciones, coronación de explanadas

la de los hormigones densos. Para el módulo de elasticidad se tiene una relación similar.

11.3.- Morteros aireados

11.3.1.- Materiales

El componente característico es un aireante, que actúa además como estabilizador de la estructura en fresco. Existen dos tipos básicos: el que podría denominarse "normal", que se utiliza en dosis del orden de 1 l/m³; y el "de alta actividad", con dotaciones mucho más reducidas (0,09 - 0,12 l/m³), y que tiene también un efecto fluidificante. Con el empleo de cualquiera de ellos, se pretende conseguir una proporción de aire ocluido comprendida entre el 15 y el 35% en volumen. A efectos comparativos puede recordarse que, en los hormigones para pavimentos, las dotaciones de aireante suelen ser del orden de 0,15 - 0,22 l/m³ (0,04 - 0,07% en peso de cemento), a fin de obtener un volumen de aire ocluido entre el 4 y el 6% del total.

Aunque no es imprescindible, se recomienda el empleo de conglomerantes con una proporción elevada de cenizas volantes para mejorar la fluidez del mortero.

Pueden utilizarse tanto arenas naturales como de machaqueo. Estas últimas suelen proporcionar mayores resistencias, a igualdad del resto de componentes.

Con los aireantes de tipo normal suele ser aconsejable el empleo conjunto de un superplastificante,

11.3.2.- Fórmulas de trabajo

Los morteros aireados tienen una matriz más resistente que la de los espumados. Por ello, su contenido de conglomerante es sensiblemente más reducido (60 - 200 kg/m³ en los aireados, frente a los más de 300 kg/m³ usuales en los espumados), obteniéndose a pesar de ello resistencias del mismo orden o superiores a igual densidad.

A título informativo, en la tabla 5 se dan algunos ejemplos de dosificaciones utilizando aireantes concentrados.

La oclusión de aire es función del tipo de cemento empleado, granulometría de la arena, relación agua / cemento, etc., por lo que, si no se tiene experiencia de casos similares, es aconsejable realizar pruebas previas para optimizar la dosificación.

11.3.3.- Fabricación y puesta en obra

Los morteros aireados pueden fabricarse en centrales de hormigonado o bien directamente en camiones hormigonera. Este último es el sistema más usual si se emplean aireantes concentrados de alta actividad. En ambos casos, se amasa previamente el mortero base, y a continuación se incorpora el aireante. Después se agita la mezcla hasta obtener una masa perfectamente homogénea. El tiempo de agitación depende del tipo de aireante utilizado. En los normales suele bastar entre 30

segundos y 1 minuto, mientras que se requieren plazos más elevados (del orden de 10 minutos) para los concentrados. Estos últimos se suministran en cápsulas de cera en forma de granada (fig. 17). El contenido de cada una de ellas (90 ml) es el habitual para un metro cúbico de relleno. Las cápsulas pueden incorporarse tanto en las amasadoras de central como en los camiones hormigonera, lanzándolas contra las paredes internas o contra las paletas. La envoltura de cera se fracciona como consecuencia de los choques, quedando incluida dentro de la masa como un producto inerte sin ninguna consecuencia para las características del material.

Si en el control de la consistencia se obtuviera un valor bajo (normalmente suele estar comprendida entre 15 y 25 cm), se puede añadir el agua precisa mediante un reamasado adicional.

Al igual que ocurre con los morteros espumados, el resto de las operaciones de puesta en obra no difiere de las habituales con los MBRC. En el caso de colocarse mediante bombeo se recomienda utilizar bajas presiones y un contenido de aire ocluido no superior al 20%.

11.3.4.- Propiedades de los morteros aireados

En la tabla 5 se han indicado algunos valores de la resistencia a compresión de estos materiales. Como puede verse, el contenido de cemento, así como la natura-

TABLA 5
EJEMPLOS DE DOSIFICACIONES DE MORTEROS AIREADOS

Conglomerante (kg/m ³)	60	120	180 ⁽¹⁾	100	150	200
Arena natural (kg/m ³)	1410	1360	1285	-	-	-
Arena de machaqueo (kg/m ³)	-	-	-	1310	1350	1220
Agua (l/m ³)	148	148	148	178	165	167
Aireante concentrado (kg/m ³)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Densidad húmeda (kg/m ³)	1620	1630	1610	1590	1615	1590
Aire oculto (%)	35	35	30	sin datos	sin datos	sin datos
Resistencia a la compresión (MPa):						
- a 3 días	0,2	0,4	0,4	0,8	1,2	2,1
- a 28 días	0,4	0,8	1,0	1,5	2,9	4,0

(1) Conglomerante con 2/3 de cenizas volantes

leza de la arena, tienen una gran influencia.

El índice CBR suele crecer con la resistencia a compresión. Así, se han obtenido valores del orden de 50, a los 56 días de edad, para resistencias a compresión a la misma edad de 0,4 MPa; mientras que, para resistencias de 0,8 MPa, se incrementa hasta más de 120. Puede recordarse a este respecto que a una explanada E2 (es decir, de tipo medio), se le exige un CBR comprendido entre 10 y 20.

La conductividad térmica depende del contenido de aire oculto y de las condiciones de humedad. En materiales secos un rango típico de valores es 0,48 - 0,42 W/mK, es decir, similar al de los morteros espumados. Ello indica que, al igual que estos últimos, los morteros aireados son también unos buenos aislantes térmicos. En estado saturado y superficie seca, las cifras anteriores pueden aumentar un 10 - 15%.

Finalmente, hay que volver a recordar el ahorro que puede suponer en algunos casos la elección de una tubería de menor clase resistente que la necesaria con un relleno convencional, debido al factor de apoyo más elevado que proporcionan los MBRC. Como es sabido, la carga que agota la resistencia de un determinado tubo suele determinarse mediante un ensayo de aplastamiento. De entre los distintos tipos, el

figura de, por lo menos, dos décimas de milímetro de abertura y treinta centímetros de longitud. La resistencia del tubo se expresa mediante la carga lineal equivalente, en kp/m, que se obtiene dividiendo la carga de fisuración por la longitud útil del tubo.

En el ensayo de tres aristas, el tubo se encuentra sometido a unas condiciones más severas que las que se dan en la realidad. La carga se aplica concentrada en la gene-



Figura 17. "Granado" de aireante concentrado.

más utilizado en los tubos de hormigón es el denominado de tres aristas, que por otra parte es el especificado en el Pliego de prescripciones para tuberías de saneamiento del Ministerio de Fomento. En dicho ensayo, el tubo se apoya sobre dos vigas muy próximas (distanciadas 1/12 del diámetro exterior), y la carga se aplica uniformemente a lo largo de la generatriz opuesta al apoyo, mediante una viga de carga que tiene en su parte inferior una regla de madera de 10 cm de ancho (fig. 18).

Se llama carga de fisuración a la que hace aparecer la primera

ratriz superior, en lugar de encontrarse repartida sobre el tubo: la reacción se concentra prácticamente en la generatriz inferior; lo que sólo ocurre en la realidad si el tubo se coloca directamente sobre el terreno, sin cama de apoyo; y la deformación lateral en el ensayo es libre, mientras que en la realidad se encuentra parcialmente contenida por el terreno lateral.

Por ello, la carga última q_u de una conducción instalada que previsiblemente agotará su resistencia al aplastamiento, es igual a la carga $q_{0,3}$ obtenida en el ensayo de tres aristas multiplicada por un coeficiente F_x que

se denomina factor de apoyo: es decir,

$$q_{aj} = F_{aj} \cdot q_{03}$$

El factor de apoyo cuantifica, por tanto, el incremento de la capacidad de soporte de la tubería que se obtiene al mejorar sus condiciones de apoyo. Su valor depende de una serie de parámetros: tipo de instalación (en zanja, en terraplén, en zanja terraplenada); cama sobre la que descansa la conducción; material de relleno que la rodea, etc.

En la tabla 6 se dan los factores de apoyo que se obtienen normalmente empleando morteros espumados. Se han incluido también en ella algunos valores medios obtenidos con rellenos granulares tradicionales.

Aunque no se han encontrado referencias de valores del factor de apoyo para los otros dos tipos de materiales analizados en este artículo (morteros espumados y materiales de baja resistencia controlada), es razonable suponer que son del mismo orden que los de los morteros aireados; e incluso superiores en el caso de los MBRC con árido grueso.

Si se divide la carga q_{03} , en kp/m , de una conducción, obtenida en el ensayo de tres aristas, por su diámetro interior, en m, se obtiene la denominada resistencia nominal de la misma. En el Pliego de prescripciones técnicas generales de tuberías de saneamiento del Ministerio de Fomento se establecen las cuatro series o

Los hormigones y morteros de baja resistencia controlada son una solución muy experimentada y con numerosas ventajas para el relleno de zanjas, trasdoses de muros y otras aplicaciones



Figura 18. Ensayo de tres aristas para la obtención de la carga de rotura de una tubería.

clases resistentes que se indican a continuación:

- Serie A . . . 4 000 kp/m^2
- Serie B . . . 6 000 kp/m^2
- Serie C . . . 9 000 kp/m^2
- Serie D . . 12 000 kp/m^2

En consecuencia, comparando los factores de apoyo de la tabla 6, se deduce que, empleando rellenos de morteros aireados, podría reducirse en muchos casos en una o incluso dos clases la cate-

goría resistente de la tubería, en comparación con la necesaria en caso de utilizarse rellenos granulares. La misma conclusión es aplicable a los otros tipos de MBRC.

12.- Experiencia internacional y española en el empleo de MBRC

La experiencia internacional con MBRC es muy amplia.

TABLA 6
FACTORES DE APOYO OBTENIDOS CON MORTEROS AIREADOS Y CON OTROS TIPOS DE RELLENOS

Tipo de relleno	Factor de apoyo F_a					
	instalación en zanja			instalación en terrapién		
	16 horas	7 días	28 días	16 horas	7 días	28 días
Mortero aireado	1,8 - 2,8	2 - 3,4	2,5 - 4,8	2,5	3,0	4,0
Relleno granular bien compactado	1,9			2,1 - 2,8		
Relleno granular parcialmente compactado	1,5			1,8 - 2,3		
Relleno granular suelto	1,1			1,1 - 1,3		

Estados Unidos, Canadá, Suiza Francia e Inglaterra son ejemplos de países donde esta técnica ha alcanzado un gran desarrollo. Algunas realizaciones tienen más de treinta años de antigüedad, con resultados muy satisfactorios.

En España, los MBRC, en especial los de baja densidad (aireados o espumados), se van empleando cada vez más, aunque todavía no puede decirse que hayan alcanzado una gran difusión. Al poderse amasar en camión hormigonera, se tiene la posibilidad de utilizarlos en cualquier obra, sobre todo a través de la extensa red de centrales de hormigón preparado.

13.- Conclusión

Los hormigones y morteros de baja resistencia controlada son una solución muy experimentada y con numerosas ventajas para el relleno de zanjas, trasdoses de muros y otras aplicaciones. Por ello, constituyen una alternativa que debería ser siempre considerada en este tipo de obras, teniendo en cuenta que el superior coste del material frente al de un relleno granular queda de sobra compensado por los beneficios que se derivan de su uso. Entre éstas se pueden destacar la facilidad de puesta en obra, la falta de necesidad de compactación, la homogeneidad y, sobre todo, la seguridad que supone su comportamiento a largo plazo, con ausencia de asentamientos y deformaciones del firme, que a su vez se traducen en molestias para los usuarios y en costosas re-

paraciones. Las circunstancias particulares de cada caso determinarán asimismo cuál de los tres tipos de materiales es el más adecuado.

Bibliografía

- Ministerio de Fomento: "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG.3/75". Madrid, 1976.
- "Utility Cut Restoration. Problems and a New Policy". Metropolitan Toronto Roads and Traffic Department, abril 1985.
- Ministerio de Fomento: "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tuberías de Saneamiento de Poblaciones". Publicado en el B.O.E. de 23 de septiembre de 1986.
- Ayuntamiento de Madrid: "Pliego de Condiciones Técnicas Generales 1988". Madrid, 1988.
- Gabinete Técnico de Tubos Borondo, S.A.: "Manual de conducciones de saneamiento con tubos de hormigón en masa o armado". Tubos Borondo, S.A., Madrid, 1988.
- American Concrete Institute (ACI): "Guide for Cast-in-Place Low-Density Concrete". ACI 523.1R-92 Report. Incluido en el ACI Manual of Concrete Practice 1993.
- American Concrete Institute (ACI): "Guide for Cellular Concretes Above 50 pcf, and for Aggregate Concretes Above 50 pcf with Compressive Strengths Less Than 2500 psi". ACI 523.3R-93 Report. Incluido en el ACI Manual of Concrete Practice 1994.

- British Cement Association (BCA): "Foamed Concrete". BCA Publication N°. 46.041, 1994.

- British Cement Association (BCA): "Foamed Concrete. Composition and Properties". BCA Publication N°. 46.042, 1994.

- British Cement Association (BCA): "Foamed Concrete for Improved Trench Reinstatement". BCA Publication N°. 46.043, 1994.

- American Concrete Institute (ACI): "Controlled Low Strength Materials (CLSM)". ACI 229R-94 Report. Concrete International, julio 1994. Incluido también en el ACI Manual of Concrete Practice 1995.

- López Perona, R.: "El hormigón celular: características técnicas y aplicaciones". Carreteras, n° 77, mayo julio 1995.

- Federal Highway Administration: "Fly Ash Facts for Highway Engineers". Report No. FHWA-SA-94-081, diciembre 1995.

- Rodríguez, J.L.: "Hormigón ligero para relleno de zanjas". Incluido en la publicación "El hormigón en las vías rurales y urbanas", IECA, 1996.

- "Controlled Low Strength Material". Engineering Bulletin 1, Grace Construction Products, 1996.

- Información técnica de las empresas: Bettor-MBT, Fosroc, Readymix Asland. ■

Carlos Jofré. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).