

Materiales fluidos de baja resistencia controlada para rellenos



1. Introducción

Denominamos "*materiales de baja resistencia controlada*", en adelante MBRC, a los morteros u hormigones con resistencias a compresión a 28 días comprendidas entre 0,3 y 8 MPa, pensados para su utilización como relleno de zanjas, huecos, trincheras y otros tipos de cavidades. También pueden ser usados como rellenos estructurales, aislantes, bases y subbases de firmes, relleno de todo tipo de conducciones, control de la erosión, etc.

Su fabricación y puesta en obra son similares a las de los morteros y hormigones convencionales, mientras que sus propiedades en servicio se asemejan más, según la resistencia exigida, a las de un suelo estabilizado, un suelocemento o una gravacemento, proporcionando por tanto una capacidad de soporte, para las capas superiores, mucho mayor a la que se obtiene con los materiales granulares utilizados habitualmente en estos trabajos. Es por ello por lo que estos MBRC pueden servir también como bases de aceras o pavimentos sometidos a intensidad de tráfico moderada, e incluso como hormigones de limpieza.

En un gran número de obras, una causa importante de los deterioros (Figura 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, como son las zanjas, trasdoses de muros de contención o de estribos de obras de paso, galerías subterráneas fuera de servicio, etc.

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:

- Una **compactación incorrecta** debido a un excesivo espesor de tongada, al empleo de equipos de compactación inadecuados y a la evaluación subjetiva del grado de compactación, dada la habitual ausencia de ensayos. 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 (Figura 2);
- La posible existencia de **desplomes laterales** que pueden producirse una vez abierta la zanja, creando huecos en las paredes de la misma, en los que el material granular que entra no es posible compactarlo por encontrarse fuera de la acción del medio de compactación, creando así huecos bajo el firme existente.
- 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 las mismas sin ningún proceso de selección (Figura 3).

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



Figura 1a. Hundimiento de calzada y acera provocados por una ejecución inadecuada de los rellenos de las zanjas



Figura 1b. Socavón bajo la acera provocado por una ejecución inadecuada de los rellenos de las zanjas

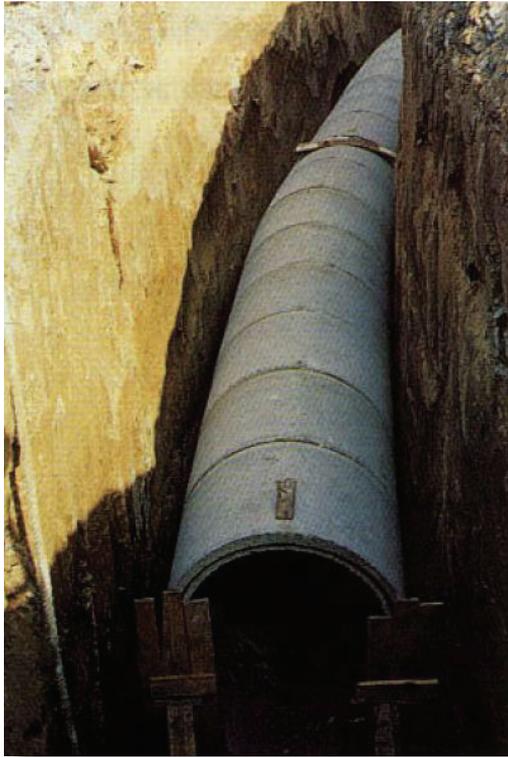


Figura 2. Espacio insuficiente entre la conducción y las paredes de la zanja, haciendo imposible la compactación por debajo del plano medio



Figura 3. Relleno de una zanja con material sin seleccionar



Figura 4. Socavón en la calzada

Las consecuencias de todo lo anterior se traducen en:

- Un acortamiento notable de la vida de la obra;
- Posibles roturas súbitas por formación de huecos bajo el firme (Figura 4);
- Asientos a corto o largo plazo, pudiendo ser necesario un refuerzo o incluso a una reconstrucción;
- Irregularidades superficiales (Figura 5), que van a conllevar una conducción menos segura, unos costes de operación más elevados, por la disminución de la velocidad, así como posibles daños a los vehículos y mayor consumo de combustible por frenadas y aceleraciones;
- Elevados y continuos costes de conservación y mayor afección a los usuarios;
- Otros problemas como el mal aspecto del pavimento o la posibilidad de formación de charcos, con peligro de salpicaduras.

Las soluciones a los problemas anteriores pueden ser de dos clases. La primera pasa por un cumplimiento escrupuloso del

Artículo 332 "Rellenos localizados" del Pliego de prescripciones técnicas generales PG-3 del Ministerio de Fomento. La segunda solución, mucho más eficaz desde un punto de vista técnico, económico y medioambiental, consiste en el empleo de morteros u hormigones:

- **Líquidos y autocompactantes**, de forma que penetren con facilidad en todos los espacios a rellenar, y que no precisen ninguna compactación posterior;
- **De baja resistencia**, a fin de disminuir costes, poder ser reexcavados con facilidad, en caso necesario y 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 compresión en el que suelen moverse oscila en general entre 0,3 y 8 MPa.

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



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

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.

2. Contribución a la sostenibilidad

2.1. Ventajas medioambientales

En la mayoría de los casos, será suficiente el empleo de morteros u hormigones con resistencias características a compresión a 28 días comprendidas entre 0,3 y 8 MPa, representando por tanto estos materiales una posibilidad importante para el empleo de áridos reciclados, tanto gruesos como finos, procedentes, no sólo de la demolición de hormigón estructural, sino también de residuos de construcción y demolición (RCD's), con altos contenidos en material cerámico, vidrio u otros.

Estos hormigones pueden fabricarse in situ mediante hormigoneras móviles en el caso de suministro en seco (ensacado o a granel), o en centrales de hormigón preparado, transportándose a obra en el volumen necesario mediante camiones hormigonera. Por tanto, la gran disponibilidad, el fácil suministro a obra y la posibilidad de empleo de materiales locales, redundan en un menor coste de transporte y en una menor afección de éste al medioambiente, lo que supone una clara ventaja medioambiental.

Además, permiten la utilización de cementos con un alto contenido de adición, que, como en el caso de las escorias siderúrgicas y las cenizas volantes, son subproductos de otras industrias.

2.2. Ventajas técnicas

La elevada trabajabilidad y baja resistencia les proporcionan una serie de ventajas técnicas que a continuación se citan:

- **Puesta en obra cómoda y sin complicaciones.** Pueden colocarse mediante canaleta (Figura 6), bomba, cinta o cubilote, no necesitando, al ser de elevada consistencia, de vibración externa para su puesta en obra, rellenando con facilidad todos los huecos, cavidades laterales y zonas de difícil acceso y evitando la generación de ruidos producidos por los equipos de vibración, lo cual es importante, sobre todo en zonas urbanas.
- **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.
- **Pueden ser excavados fácilmente,** debido a su baja resistencia, mediante métodos manuales.
- **Probabilidad mucho más reducida de aparición de socavones.** Los MBRC son menos permeables y más resistentes a la erosión que los rellenos granulares.
- **Gran versatilidad.** Las fórmulas de trabajo pueden adaptarse a las necesidades concretas de la obra, modificando la resistencia a compresión, la consistencia, los tiempos de fraguado y la densidad, entre otros.
- **Pueden ejecutarse en cualquier época del año.** Si en el fondo de la zanja o hueco hay agua acumulada, ésta es desplazada por el MBRC, reduciendo la necesidad de bombas de achique.
- **Aumentan la seguridad de los operarios.** Éstos no necesitan penetrar en las zanjas para extender o compactar los materiales de relleno.
- **Se disminuye la cantidad de maquinaria para la puesta en obra,** al no precisarse palas cargadoras, rodillos, pisones, etc.
- **No es necesaria la formación de acopios.** En las obras urbanas no siempre es posible tener cierta cantidad del material acopiado. Con los MBRC, al no ocuparse tanto espacio en las aceras, **se mejora la seguridad de los peatones.**



Figura 6. Relleno de una zanja con MBRC mediante vertido directo desde camión. A la derecha se aprecia el MBRC alcanzando la cota inferior

- **Garantías de homogeneidad mucho mayores** que las de los rellenos granulares (incluso los ejecutados correctamente), por la naturaleza de los materiales utilizados, el menor número de operaciones y la independencia del grado de compactación alcanzado.
- **Requieren menos controles.** No es necesario comprobar la densidad alcanzada en cada una de las tongadas.
- **Menores tiempos de ejecución** y apertura más rápida al tráfico.
- **Resistencia y durabilidad.** La capacidad de soporte y rigidez de los MBRC es superior a la de los rellenos granulares bien compactados.
- **Su aspecto es muy diferente al del terreno circundante,** con lo que se disminuye la probabilidad de una rotura accidental en el caso de una excavación posterior.

2.3. Ventajas económicas

Dada su resistencia y durabilidad, la vida útil de los MBRC es mayor que la de los rellenos granulares, siendo además muy reducidos los costes de conservación y explotación durante dicho periodo. No ocurre así con los rellenos granulares ejecutados de manera incorrecta, que van a conllevar elevados y continuos costes de conservación e incluso de reconstrucción, produciendo por tanto una mayor afección a los usuarios.

Otras ventajas económicas derivadas del uso de los MBRC son las siguientes:

- **Reducen los costes de excavación.** Las zanjas pueden ser más estrechas, al no requerir un sobreebanco 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 los mismos si se producen desplomes



Figura 7. Con el empleo de MBRC no es preciso volver a recortar los bordes de la cala, en caso de desplomes laterales



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

de las paredes laterales de las zanjas (Figura 7). Como caso límite puede mencionarse su utilización en zanjas de 12 a 15 cm de anchura (Figura 8) para el alojamiento de conducciones de polietileno de 4 cm de diámetro de la red de gas natural;

- **Posibilidad de empleo de conducciones de menor resistencia**, tanto por la menor anchura de las zanjas como por el mayor factor de apoyo de los MBRC. Con ello se disminuye la carga sobre la tubería;
- **El coste del material**. Debido a su baja resistencia, los MBRC pueden competir con el coste de un relleno granular puesto en obra (incluyendo en éste la maquinaria de extendido y compactación, así como los medios auxiliares necesarios), considerando que los rellenos cumplen todas las exigencias, tanto de calidad de los materiales como de densidad de cada tongada, controles necesarios para ello, etc.

3. Propiedades de los MBRC

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.

3.1. Propiedades en estado plástico

3.1.1. Trabajabilidad

Como ya se ha mencionado, se trata quizás de la mayor ventaja que ofrecen estos materiales. Son mezclas cuya fluidez permite rellenar 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 ejercen una presión hidrostática. Ello, en ocasiones, conlleva 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 (Figura 9) 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.

Si se utilizan MBRC autocompactantes, la clasificación puede basarse en el Anejo 17 de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08.



Figura 9. Medida de la consistencia de un mortero ligero con cono de Abrams

3.1.2. Segregación

Se deben utilizar mezclas con un contenido adecuado de finos que garanticen la ausencia de segregación. También puede recurrirse al empleo de aditivos superplastificantes y cohesionantes.

3.1.3. Asentamiento

Los MBRC experimentan una ligera reducción 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 en forma de agua de 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 de MBRC.

3.1.4. 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.

Normalmente suele oscilar entre 3 y 5 horas, aunque en ocasiones puede llegar a reducirse a 1 hora.

3.1.5. Bombeabilidad

Los MBRC pueden ser bombeados empleando equipos convencionales, para acceder, por ejemplo, a emplazamientos de difícil acceso. La dosificación de la mezcla tiene en estos casos una importancia fundamental, como ocurre con los hormigones bombeados.

3.2. Propiedades en servicio

3.2.1. Resistencia y 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 0,3 y 0,7 MPa tiene una capacidad de soporte similar a la de un suelo granular bien 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 ser reexcavado en caso necesario.

3.2.2. Densidad in situ

Suele variar entre 1100 y 2300 kg/m³. Para obtener densidades bajas se deben utilizar los aditivos espumantes que permitan ocluir cantidades de aire superiores al 25%

3.2.3. 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 obra.

3.2.4. Aislamiento térmico-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 rodeando cables de energía eléctrica. En estos casos conviene ir a mezclas de alta densidad y muy baja porosidad.

3.2.5. 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/seg.

En las mezclas de mayor resistencia y contenidos más elevados de finos dicho coeficiente puede descender hasta 10⁻⁷ cm/seg.

Por el contrario, la permeabilidad aumenta al disminuir tanto la dotación de conglomerante como la fracción de árido pasando por el tamiz de 80 µm.



Figura 10. Excavación a mano de un MBRC

3.2.6. Retracción y agrietamiento

Tanto la retracción como el agrietamiento resultante no afectan prácticamente el comportamiento de los MBRC.

Los valores del acortamiento por retracción de los mismos son muy reducidos, oscilando en general entre 0,02 y 0,05%.

3.2.7. 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 no superando los 0,7 MPa es posible una excavación manual (Figura 10), y que hasta 2 MPa puede emplearse una miniretroexcavadora.

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 a 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 el incremento de la cantidad de aditivo espumante.

4. Aplicaciones

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 obras en las que la extensión y sobre todo la adecuada compactación del relleno pueda 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, como por ejemplo en azoteas. En estas últimas los MBRC-BD presentan además la ventaja de sus excelentes características aislantes frente al calor.

Algunas de estas aplicaciones son:

- **rellenos no estructurales:** como los de zanjas, pequeñas obras de fábrica (Figura 11) y trasdoses de muros o de estribos de puentes (Figura 12). 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 que se consigue con los MBRC.

Al realizar los rellenos de trasdoses de muros de contención o de estribos de obras de fábrica hay que tener en cuenta las presiones que ejerce el MBRC en estado fresco. 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 cimentaciones. Las resistencias a compresión pueden variar entre 1 y 8 MPa, dependiendo de 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.

- **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 a colocar depende, entre otros factores, de la resistencia del material. Para un rango de variación de las resistencias a compresión comprendido entre 2 y 8 MPa, puede estimarse que los coeficientes estructurales 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 de las capas tratadas con cemento.
- **camas de conducciones:** los MBRC constituyen un excelente material para todo tipo de conducciones (agua, saneamiento, gas, teléfono, energía eléctrica, etc.), bien como cama de apoyo de las mismas o 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 el que se produzcan socavaciones.

Los MBRC pueden emplearse también para envolver por completo las conducciones y protegerlas de posibles 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.

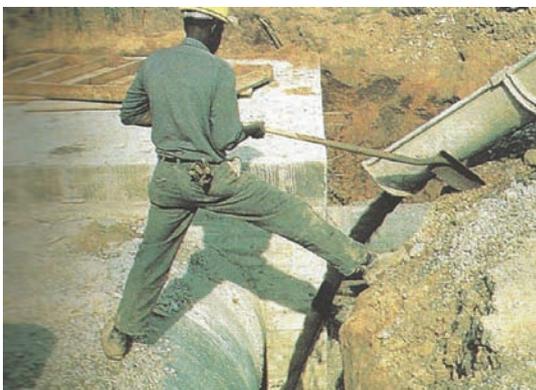


Figura 11. Relleno de una pequeña obra de fábrica



Figura 12. Relleno de un trasdós de estribo

- **control de erosión:** los MBRC presentan una resistencia a la erosión superior a la de otros tipos de rellenos granulares o suelos. Esto se ha podido comprobar tanto a través de su comportamiento in situ como mediante ensayos de laboratorio, exponiéndolos a la acción de flujos 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.
- **relleno de obras subterráneas fuera de servicio:** los MBRC se utilizan para rellenar antiguas alcantarillas o galerías subterráneas abandonadas, así como pozos de acceso a las mismas. Cuando el MBRC deba desplazarse en una longitud elevada (en algunos obras se han alcanzado recorridos superando los 90 m) es conveniente mantener un ritmo de suministro del mismo lo más uniforme posible.

Otra posibilidad es el relleno de sótanos o depósitos fuera de servicio (Figura 13), 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 ser utilizados en todas las aplicaciones anteriores, así como en otras más específicas en las que interese reducir el peso propio y/o conseguir un buen aislamiento, como ocurre en:

- **azoteas y cubiertas**, para formación de pendientes o como capa aislante (Figura 14);
- **tableros de puentes**, como relleno de zanjas para alojamiento de servicios (Figura 15);
- **trasdoses de muros de contención o de estribos de obras de fábrica**, para reducir las presiones sobre los mismos;
- **estructuras subterráneas situadas a poca profundidad.**

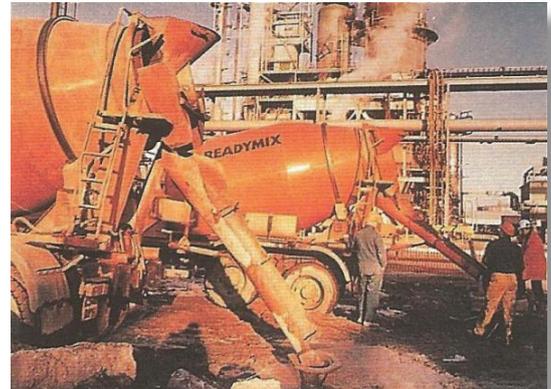


Figura 13. Relleno de un depósito subterráneo fuera de servicio

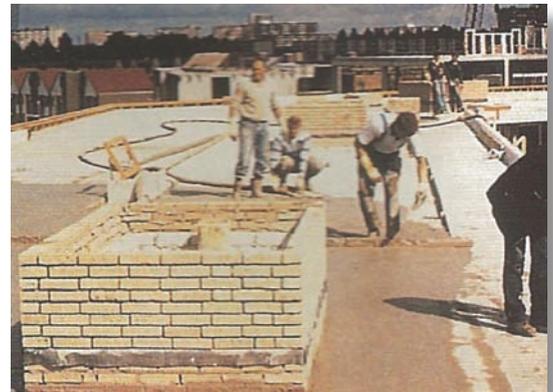


Figura 14. Formación de una capa aislante con mortero ligero en una cubierta

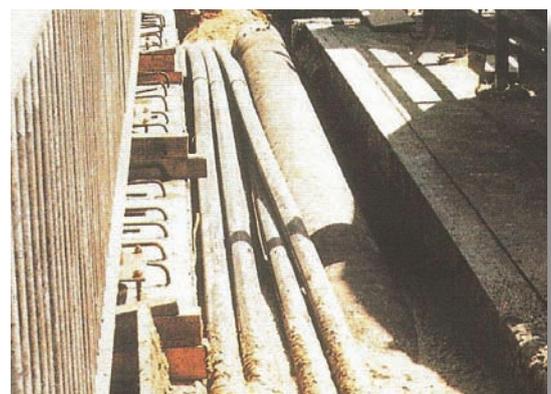


Figura 15. Relleno de una zanja para el alojamiento de canalizaciones en el tablero de un puente

5. Materiales y fórmulas de trabajo

5.1. Materiales

Las mezclas típicas de MBRC están compuestas por cemento, agua, árido fino y aditivo aireante o espumante, en los casos en los que se quiera obtener una resistencia o densidad más elevadas, árido grueso. Con objeto de aumentar la trabajabilidad y las resistencias a largo plazo, y de reducir la exudación, la permeabilidad y la retracción de las mezclas resultantes, es recomendable el empleo de cementos con un contenido elevado de adiciones puzolánicas (cenizas volantes, puzolanas y escorias).

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 cumpliendo 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, como áridos procedentes de RCD's. No obstante, los áridos no convencionales deben utilizarse con precaución, vigilando que no contengan sustancias perjudiciales (por ejemplo, materia orgánica o sulfatos, etc.) y realizando ensayos previos.

5.2. 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 convencionales 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.

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.

6. Ejecución

En general, la puesta en obra de los MBRC (con la excepción de los de baja densidad obtenidos mediante adición de un

espumante) se realiza de forma similar a la de los morteros u hormigones convencionales.

Para el amasado de los componentes puede recurrirse a varios métodos: plantas 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 distancias cortas, durante dicho transporte la mezcla debe agitarse, a fin de que los componentes sólidos permanezcan en suspensión.

Dependiendo del tipo de obra y de la accesibilidad de la misma, el MBRC puede ser colocado mediante caída directa desde la canaleta del camión hormigonera, o bien utilizando cintas, cubilotes o bombas.

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

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, encofrados, 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, o 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 al vuelco de la misma. Para ello el vertido se realizará, a ser posible, sobre la clave

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 los mismos 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 libremente 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.

7. 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.

Dependiendo del tipo de obra y de las exigencias de colocación, la consistencia puede variar entre líquida, fluida y blanda. Para la determinación de la misma, puede emplearse el cono de Abrams (Norma UNE 83-313). También podemos encontrarnos con MBRC autocompactantes, en cuyo caso pueden ser de aplicación los ensayos recogidos en el Anejo 17 de la Instrucción de Hormigón EHE-08, para determinar la autocompactabilidad de la mezcla.

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. En este sentido, la Instrucción de Hormigón EHE-08, en su Anejo 18 de Hormigones de uso no estructural, exige para los hormigones de limpieza una dosificación mínima de cemento de 150 kg/m³.

Por el contrario, en obras que sean susceptibles de una reexcavación 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, se puede determinar mediante la realización de probetas convencionales de hormigón.

8. Conclusiones

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 inicial de los MBRC frente al de un relleno granular, en el caso de haberlo, queda de sobra compensado por los beneficios que se derivan de su uso, siendo, en la mayor parte de los casos, los costes globales menores.

Entre estos beneficios se pueden destacar la facilidad de puesta en obra, la no 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 reparaciones.

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

9. Referencias

- López Perona, R.: "El hormigón celular: características técnicas y aplicaciones". Carreteras nº 77, mayo-julio 1995
- Jofré, C.: "Rellenos con morteros y hormigones fluidos de baja resistencia controlada". Revista Rutas 1998
- 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.
- American Concrete Institute (ACI): "Controlled Low Strength Materials (CLSM)". ACI 229R-99
- Utility Cut Restoration. Problems and a New Policy". Metropolitan Toronto Roads and Traffic Department, abril 1985
- Ayuntamiento de Madrid: "Pliego de Condiciones Técnicas Generales 1988". Madrid, 1988



Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones

C/ José Abascal, 53 - 1º

28003 Madrid

T.: +34 91 442 93 11

tecnologia@ieca.es

www.ieca.es