

MORTEROS DE DENSIDAD CONTROLADA

INTRODUCCIÓN

Los **morteros de densidad controlada** son también conocidos bajo el nombre de: suelo líquido, suelo cemento líquido, relleno fluido, relleno sin retracción, relleno de densidad controlada, mortero fluido, mezcla pobre de relleno, entre otros. ACI (American Concrete Institute) los referencia también como materiales de densidad y resistencia controladas, término que se empleará en esta ficha bajo las siglas MDRC. Para su correcta identificación, los MDRC no deben confundirse con el suelo cemento compactado, al cual aplican otras consideraciones y propiedades.

Los MDRC se emplean en distintas aplicaciones, entre las que cabe mencionar el relleno de zanjas y cavidades de difícil acceso, bases de pavimentos destinados a tránsito liviano, u otros usos como sustituto del suelo compactado. Típicamente, los MDRC presenta una resistencia a la compresión que no supera los 8,5 MPa.

Los componentes de los MDRC son esencialmente los mismos que para las mezclas de mortero y hormigón convencionales, aunque se modifica su dosificación y pueden incluir otros aditivos químicos de efecto específico para obtenerse, por ejemplo, rellenos con propiedades anticorrosivas, aislantes o de protección. Además, cabe mencionar que si bien se los conoce bajo la denominación de morteros, su dosificación puede incluir agregados gruesos, por lo que en rigor puede tratarse tanto de un mortero como un hormigón.

Algunas de las principales ventajas que se reconocen para este tipo de mezclas son las siguientes:

- **Disponibilidad.** Los MDRC fácilmente son producidos por los mismos elaboradores de hormigón convencional, con los mismos vehículos motohormigoneros tradicionales.
- **Versatilidad y fácil de colocación.** Son autonivelantes y requieren poca o nula compactación. Se ajustan fácilmente para

cumplir con las propiedades solicitadas (fluidez, resistencia, tiempos de fraguado entre otras), a la vez que su colocación supone muy bajo esfuerzo.



Figura 1. Uso de un mortero de densidad controlada fluido como material de relleno

- **Resistencia y durabilidad**
- **Rápida habilitación.** Por su fácil colocación, menor tiempo de fraguado y ganancia de resistencia, existen beneficios en cuanto a una rápida habilitación para otras intervenciones.
- **Sin asentamiento diferencial.** No presenta asentamiento significativo en el tiempo, ni oquedades.
- **Reducción de costos de excavación y riesgos de seguridad.** Si bien el costo por unidad de volumen puede ser mayor al de otros materiales de relleno, la disminución de los tiempos de ejecución, la facilidad de relleno para espacios aún reducidos y con formas complejas permite disminuir los trabajos de excavación, lo que supone ahorros en mano de obra, tiempo de obra, y uso de equipos, lo que redundará en una mayor competitividad de los MDRC con respecto al relleno con suelo tradicional.

- Permite zanjas más angostas debido a que no requiere mayores anchos para el equipo de compactación, y los trabajadores pueden colocar el material en la zanja sin entrar en ella.
- **Construcción en cualquier tipo de clima**
- **Excavables.** Puede ser excavado con equipo convencional, un atributo valorable especialmente en áreas susceptibles de ser intervenidas por reparaciones.
- **Supervisión sencilla, y reduce la necesidad de equipamiento especial.** Debido a su capacidad autonivelante, requiere menos supervisión durante la colocación.
- **No requiere almacenamiento previo en obra** como otros materiales de relleno tradicionales, sino que se prepara en planta antes de su uso y se coloca en el momento indicado.



Figura 2. Uso de mortero de densidad controlada como relleno entre instalaciones de desagüe

MATERIALES COMPONENTES

Se pueden emplear todos los tipos de cementos contemplados en la norma IRAM 50.000 -CPN, CPF, CPC, CPE, CAH, CPP-, así como en combinación con adiciones minerales dosificadas en planta hormigonera, siempre que se atiendan los requerimientos de calidad de las normas técnicas IRAM para las adiciones, y los

requisitos de combinación con el cemento que define la IRAM 1666.

Los MDRC utilizan aditivos inclusores de aire y agentes espumantes que, adicionalmente a su efecto principal, contribuyen a su trabajabilidad, disminución de la retracción, exudación y segregación, y limitan la capacidad resistente. También pueden ser utilizadas con el propósito de alcanzar mejores propiedades aislantes. En la norma IRAM 1663 pueden encontrarse las referencias normativas nacionales al respecto de los aditivos químicos para hormigones.

Los diseños de mezclas especializadas de los MDRC pueden incluir otros componentes minerales para prestaciones especiales. Un ejemplo es el uso de bentonita que permiten disminuir la permeabilidad y la presión subterránea de suelos, así como de zeolitas para la absorción de iones selectivos en pozos donde es necesario un tratamiento de agua o lodos.

Los agregados son indudablemente su mayor componente. Su tipo, forma y granulometría inciden en propiedades como la fluidez y la resistencia a la compresión. Se pueden emplear una gran variedad de tipos, con excepción de las arenas arcillosas, debido a que ocasionan inconvenientes en el mezclado y homogenización de la mezcla, una demanda de agua excesiva, mayor retracción y variabilidad de resistencia.

Según antecedentes, los tipos de esqueletos granulares más habituales para la preparación de estas mezclas son:

- Agregado fino con una granulometría acorde con los límites de la Figura 3.
- Mezclas de grava-arena
- Suelos arenosos con más de un 10% de polvo (pasa tamiz # 200)
- Residuos de cantera, con un tamaño máximo nominal de 10 mm.
- Agregado grueso sin contenido de material fino, de 19 mm (3/4") de tamaño máximo nominal

Tamiz	Material que pasa (%)
9,5 mm	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 μm (No. 30)	25 a 60
300 μm (No. 50)	5 a 30
150 μm (No. 100)	0 a 10
75 μm (No. 200)	0 a 3,0 ^{AB}

Notas:

A: Para hormigón no está sujeto a la abrasión, el límite para el material más fino que 75 μm (No. 200) puede ser máximo 5%.

B: Para el agregado fino producido, este material puede ser más fino que el de 75 μm (No. 200) consiste en ripio de trituración, fundamentalmente libre de arcillas o esquistos. El límite puede ser 5% máximo para hormigón sujeto a la abrasión y 7% máximo para hormigón no sujeto a la abrasión.

Figura 3. Distribución granulométrica para un agregado fino que cumple los límites de la norma ASTM C33, y comprendido entre las curvas A y B de la IRAM 1627.

Asimismo, los MDRC admiten, en ciertos casos, la inclusión de subproductos industriales y otros materiales recuperados en reemplazo de agregados tradicionales “vírgenes”, o incluso agregados considerados marginales o de baja calidad para hormigones de tipo convencional o de alta prestación. Algunos ejemplos de este tipo de materiales son las arenas de fundición, trozos de vidrios, y restos de polietileno, entre otros casos.

PROPIEDADES

Consistencia-Fluidez

Es su mayor ventaja en comparación con otros materiales de relleno convencionales, debido a que son mezclas autonivelantes, fluyen fácilmente entre los vacíos sin necesidad de un equipo especial para su colocación y compactación.



Figura 4. Ensayo de fluidez según norma ASTM D 6103.

El método de la norma ASTM D 6103 se emplea para la evaluación de la fluidez a través de la medición del extendido. Las mezclas se pueden clasificar de acuerdo con el resultado y el siguiente criterio:

- Baja capacidad de flujo: menos de 150 mm
- Capacidad de flujo normal: 150 a 200 mm
- Alta capacidad de flujo: más de 200 mm

Si bien habitualmente son preferibles las mezclas con un extendido de, al menos, 200 mm, en el trabajo de relleno de zanjas en superficies inclinadas, o para azoteas con pendiente, se puede requerir una menor fluidez por razones constructivas.

Control de la segregación

Para los MDRC de consistencia altamente fluida, se requiere la incorporación de un mayor contenido de material fino para alcanzar la cohesión necesaria y controlar la segregación. Lo habitual es que a tal efecto se utilice una adición mineral dosificada en planta hormigonera, o un material fino no cohesivo (no arcilloso), en cantidades que pueden alcanzar hasta un 20% de la masa total de agregados.

Por último, al respecto del bombeo de los MDRC, una presión alta puede disminuir el contenido de aire de la mezcla, y una presión muy baja puede generar atascamientos en la línea de impulsión.

Asentamiento plástico

Refiere a la reducción de volumen ocupado por la mezcla en el estado fresco. Sucede principalmente durante la colocación, y el grado de asentamiento depende de la cantidad de agua que sea liberada en superficie.

Según antecedentes, mezclas con un alto contenido de agua han alcanzado asentamientos de hasta 3 a 6 mm cada 300 mm de profundidad, mientras que, con contenidos de agua menores, el asentamiento detectado es habitualmente no significativo.

Tiempo de fraguado

En el caso de los MDRC, los principales factores que influencia el tiempo de fraguado son los siguientes:

- Tipo y cantidad de material cementante
- Permeabilidad del suelo de contacto y grado de saturación.
- Contenido de humedad del MDRC.
- Dosificación de la mezcla.
- Humedad y temperatura ambiente.
- Profundidad de llenado.

En términos generales, el tiempo de fraguado puede variar de 1 a 5 h, aunque lo habitual es de 3 a 5 h.

Para la evaluación del tiempo de fraguado se utiliza la norma ASTM C 403, mediante la que se estima el tiempo de fraguado en función a la resistencia a la penetración, que pueden variar de 3,5 a 10,5 MPa.

Densidad en estado endurecido

La densidad típica de un MDRC se encuentra entre 1.850 y los 2.350 Kg/m³, lo que resulta más elevado que para otros materiales; en mezclas sin la incorporación de agregados, el valor desciende a 1.400 y 1.600 kg/m³. En estado seco, la densidad decrece sustancialmente, así como también cuando los agregados empleados son de tipo livianos.

La densidad suele ser evaluada como medida indirecta de la conductividad térmica del sustrato, así como para establecer la facilidad con la que el relleno de MDRC puede ser excavado una vez endurecido.

Dentro de los MDRC se encuentran los denominados MDRC-BD (de baja densidad), los que incluyen espuma preformada en la mezcla. Estas burbujas son células estables de aire formadas por la inclusión de agentes químicos que generan gas. La guía ACI 229R clasifica los MDRC-BD en función a su densidad y su resistencia mínima a la compresión a la edad de 28 días, según se presenta en la Figura 5.

Clase	Densidad (Kg/m ³)	R28 d-min- (MPa)
I	290 a 380	0,1
II	380 a 480	0,3
III	480 a 580	0,6
IV	580 a 670	0,8
V	670 a 800	1,1
VI	800 a 1300	2,2
VII	1300 a 1900	3,4

Figura 5. Clasificación de MDRC-BD en función a la densidad y resistencia a la compresión a 28 días.

Estabilidad de volumen y retracción por secado

A diferencia de los rellenos compactados, los MDRC no se contraen o asientan significativamente después del endurecimiento.

Valor relativo de soporte

Este parámetro resulta de interés cuando el material está destinado a ser utilizado como base de un pavimento.

Mediante la siguiente fórmula se puede establecer una correlación con la resistencia a la compresión del MDRC:

$$VRS (\%) = 2,4 f_c + 30^{(*)}$$

Donde:

f_c : Resistencia a la compresión, en Kg/cm²

Nota: *1: Esta función se estableció para rellenos fluidos con masas unitarias de 1600 a 1900 kg/m³.

Conductividad térmica

Los MDRC son considerados un material con propiedades aislantes, con valores de conductividad térmica del orden de 0,42 a 0,48 W/m.K.

La presencia de aire incorporado reduce la densidad del MDRC y reduce la conductividad. En contraposición, a medida que aumenta el contenido de humedad y la densidad seca, la conductividad térmica se incrementa.

Esta propiedad es tenida en cuenta en aplicaciones de relleno para cubiertas, áticos y losas de azotea en edificios y viviendas, donde cumple la función de aislante térmico.



Figura 6. Uso de un MDRC como aislante térmico para la cubierta de una vivienda

Excavabilidad

En ocasiones, se requiere que los rellenos con MDRC permitan ser excavados si eventualmente así se requiere en operaciones de mantenimiento futuras.

A tal efecto, se presenta en la Figura 7 una clasificación respecto a la excavabilidad de un MDRC en función al nivel de resistencia a la compresión.

R28 d (MPa)	Excavabilidad
< 1,0	Excavable a mano (pico y pala)
De 1 a 3	Excavable con retroexcavadora
> 3,0	No excavable

Figura 7. Excavabilidad en función a la resistencia a la compresión.

Resistencia triaxial y módulo de corte

Los MDRC poseen una alta cohesión, característica de los suelos arcillosos, así como un ángulo de fricción alto. A modo de referencia, se han obtenido valores cohesión del orden de 3,8 kg/cm² y un ángulo de fricción interna de 41.6 ° en ensayos con mezclas de 18 MPa de resistencia a la compresión y 1.800 kg/m³ de densidad.

El módulo de corte (relación del esfuerzo de cizalla y el esfuerzo de corte) para un MDRC de densidad normal se encuentra típicamente en el orden de 160 a 380 MPa.

Módulo de elasticidad

Valores bajos de módulo de elasticidad favorecen el buen comportamiento del material en combinación con otro tipo de estructuras, por ejemplo, en el relleno de cavidades entre otras estructuras, presentando menores deformaciones y esfuerzos ante cargas.

Para la estimación del módulo de elasticidad se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$E_c = w_c^{13} 0,14 \sqrt{f_c}^{(*)2}$$

Donde:

E_c : módulo de elasticidad del hormigón

f_c : Resistencia a la compresión, en kg/cm².

w_c : Densidad, en kg/m³.

(*2) La fórmula es válida para masas unitarias entre 1440 y 2480 kg/m³

Permeabilidad

Los resultados obtenidos sobre MDRC sitúan al material en un nivel similar al de los rellenos granulares compactados, con valores de permeabilidad del orden de 10^{-4} a 10^{-5} cm/seg, y, en ocasión de MDRC de mayor resistencia, en niveles de 10^{-7} cm/seg.

Resistencia a la compresión o capacidad de carga

Frecuentemente, la resistencia a la compresión de un MDRC es del orden de 1 a 3 MPa, aunque se pueden alcanzar niveles mayores en función a las necesidades particulares y del diseño de la mezcla.

La guía ACI 229 considera un límite de 8,5 MPa de resistencia a la compresión para los denominados MDRC.

DOSIFICACIÓN DEL MDRC

La guía ACI 229R presenta, a modo de referencia, ejemplos de dosificaciones de mezclas de MDRC empleadas por distintas direcciones estatales de transportes (DOT) en los Estados Unidos de Norteamérica (Figuras 8 y 9). En cualquier caso, la dosificación a ser empleada debe ser sometida a pruebas previas para constatar que resulte acorde a las necesidades de cada proyecto.

Fuente	CO DOT	IA DOT	FL DOT	IL DOT	IN DOT		OK DOT	MI DOT		OH DOT	
					Mix 1	Mix 2**4		Mix 1	Mix 2**4	Mix 1	Mix 2
Cemento (kg/m ³)	30	60	30-60	30	36	110	30 mín.	60	30	60	30
Ceniza Vol. (kg/m ³)	-	178	0-356**2	178 (Clase F) 119 (Clase C)	196	-	148	1187 (Clase F)	326 (Clase F)	148	148
Agr. grueso (kg/m ³)	1010**1	-	-	-	-	-	-	-	**5	-	-
Agr. fino (kg/m ³)	1096	1543	1632**3	1720	1697	1587	1727	-	**5	1691	1727
Agua (kg/m ³)	193	347	297 (Máx)	222-320	303	297	297 (Máx)	395	196	297	297
R28 d (MPa)	0,4	-	0,3-1,0	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 8. Tabla sobre dosificaciones propuestas por DOTs de USA, presentada en la guía ACI 229 R (Parte 1)

Fuente	SC DOT	DOE SR ⁽¹⁶⁾	Relleno sin retracción	Otras cenizas		Agregado grueso MDRC		Fluidez de CV		
				Mix AF	Mix D	Sin aire**9	Con aire ⁽¹¹⁾	Mix S-2**10	Mix S-3**11	Mix S-4**12
Cemento (kg/m ³)	30	30	36	98	60	30	30	58	94	85
Ceniza Vol. (kg/m ³)	356	356 (Clase F)	-	481	326	148	148	810 (Clase F)	749 (Clase F)	685 (Clase F)
Agr. grueso (kg/m ³)	-	-	1012 (TMN:10 mm)	1300	1492	1127 (TMN:25,4 mm)	1127 (TMN: 5,4 mm)	-	-	-
Agr. fino (kg/m ³)	1483	1492	1173	-	-	863	795	-	-	-
Agua (kg/m ³)	273-320	397-326	152**6	415	301	160**8	151**8	634	624	680
R28 d (MPa)	0,6	0,2-1,0	0,1 a 1 d	0,4	0,4	0,7	-	0,3 (56 d)	0,4 a (56 d)	0,3 a (56 d)

1. La cantidad de cemento puede ser incrementada sobre éste límite sólo cuando la resistencia temprana es requerida y es improbable una remoción futura.
2. EGAH (Escoria granulada de alto horno) puede ser usada en remplazo de CV (ceniza volante).
3. Ajustar a 0,8m³.
4. De 0,15 a 0,18 L de mezcla con aire ocluido produce de 7% a 12% de contenido de aire
5. Material granular total de 1690 kg/m³, con 19 mm de tamaño de agregado máximo.
6. Genera 150 mm de fluidez.
7. Genera aproximadamente 1,5% de aire
8. Genera de 150 a 200 mm de fluidez
9. Genera aproximadamente 5% de contenido de aire
10. Genera flujo modificado de 210 mm de diámetro, contenido de aire de 0,8% y densidad fresca de 1500 kg/m³
11. Genera flujo modificado de 270 mm de diámetro, contenido de aire de 1,1% y densidad fresca de 1470 kg/m³
12. Genera flujo modificado de 430 mm de diámetro, contenido de aire de 0,6% y densidad fresca de 1450 kg/m³

Figura 9. Tabla sobre dosificaciones propuestas por DOTs de USA, presentada en la guía ACI 229 R (Parte 2)

MARCO NORMATIVO

Ante la ausencia de normas IRAM específicas sobre los MDRC, pueden emplearse otras normas técnicas y guías de ASTM y ACI, de acuerdo con el siguiente detalle:

ACI 229R	Definiciones
ASTM D 4832	Preparación y ensayo de probetas
ASTM D 5971	Muestreo
ASTM D 6023	Ensayo de peso unitario, rendimiento, y contenidos de cemento y aire
ASTM D 6024	Ensayo de caída libre de una masa para evaluar la capacidad de soportar cargas
ASTM D 6103	Ensayo de consistencia-Extendido (flujo)
ASTM C 403	Tiempo de fraguado

Figura 10. Marco normativo para los MDRC.

BIBLIOGRAFÍA

Cervantes, G. Relleno fluido, un suelo líquido. Ventajas, propiedades y aplicaciones. Revista Construcción y Tecnología. Septiembre 2005.

Reporte del comité ACI 229R-99. Controlled Low Strength Materials. 1999. Vigente a 2005.

Guide Specification for Controlled Low Strength Materials (CLSM) National Ready Mixed Concrete Association. 2016.

Martínez V., A. Rellenos fluidos o de densidad Controlada. Una solución Innovadora para inconvenientes en la construcción. Revista Hormigonar de la AAHE. 2003.

Santafila L. E., Salamanca R. Estado del arte del relleno fluido para subbases y bases granulares. Revista Ciencia e Ingeniería Neogradina Julio de 2012.