

Rellenos ligeros de Arcilla Expandida

JAVIER LÓPEZ OVEJERO (*)

RESUMEN Este estudio, elaborado por el Departamento Técnico de Arcillas Ligeras, S.A., presenta un amplio abanico de soluciones a la problemática de los rellenos ligeros en obra civil y en edificación.

Las características de baja densidad y alta resistencia mecánica de la Arcilla Expandida se han empleado en muchas ocasiones tanto en España como fuera de nuestro país para estabilizar terrenos compresibles, aligerar rellenos sobre estructuras subterráneas, reducir el asentamiento de estructuras o el empuje horizontal del terreno sobre muros de contención y pantallas. También se utilizan estas técnicas y este material para protección de conducciones enterradas valorándose, además, la elasticidad de la Arcilla Expandida, su poder de aislamiento térmico-acústico y capacidad de protección pasiva contra incendio (incombustible).

El artículo a continuación aporta un detallado y riguroso análisis de las características técnicas que llevaron a Directores de Proyectos emblemáticos como el "Nuevo Louvres" en París, la Estación de "Las Glorias" en Barcelona, la autopista de "Civitavecchia" en Roma, el puerto de "Albany" en Estados Unidos o el relleno sobre unos falsos túneles del "Tren de Alta Velocidad" alemán a la decisión de utilizar la Arcilla Expandida como material exclusivo.

LIGHTWEIGHT EXPANDED CLAY FILLS

ABSTRACT This study, undertaken by the Technical Department of Arcillas Ligeras, S.A., presents a wide range of solutions to the problems arising from the use of lightweight fills in public works and construction.

The low density and high mechanical resistance characteristics of Expanded Clay have of ten been employed, both here in Spain and abroad, to stabilize compressible soils, lighten fills over subterranean structures, reduce the subsidence of structures or the horizontal thrust of the land against retaining and core walls. These techniques and this material are also used to protect buried piping, due to the added benefits resulting from the elasticity of Expanded Clay, its thermic-acoustic insulation properties and passive fire-protection potential (incombustible).

The article below provides a detailed, rigorous analysis of the technical characteristics which led managers of prestigious projects such as the "New Louvres" in Paris, the "Las Glorias" station in Barcelona, the "Civitavecchia" motorway in Rome, the port of Albany in the United States, or the fill over several false tunnels of the German "High-Speed Train" system to adopt the decision to use Expanded Clay as an exclusive material.

Palabras clave: Relleno ligero; Arcilla expandida; Densidad seca; Compresibilidad.

INTRODUCCIÓN

Los rellenos de arcilla expandida son práctica habitual en todos los países occidentales desde los años 50.

En España también existen muchos ejemplos de rellenos realizados con este material, como pueden ser el aligeramiento de las dunas ajardinadas sobre la estación término de la Villa Olímpica, en Barcelona 1992, o el relleno sobre la estación de metro de la Plaza de las Glorias, también en Barcelona 1992.

En ambos casos era necesario reducir la sobrecarga que originaba una zona ajardinada sobre una estructura de hormigón armado.

En algunos casos se han realizado rellenos ligeros bajo estructuras rígidas de hormigón.

En Alemania se construyeron en 1991 varios tramos de falso túnel con un total de casi 100 km de longitud para las vías del Tren de Alta Velocidad que circula entre Mannheim y Stuttgart. La solera sobre la que van implantados los raíles está situada sobre un relleno ligero de arcilla expandida

de hasta 150 cm de grosor, que actúa como amortiguador de los empujes producidos por un terreno expansivo. El volumen total de la obra fue de 40.000 m³.

En otros emplazamientos, como la Autopista que une Roma con Civitavecchia, en Italia o el Puerto de Albany, en Nueva York, el objetivo era reducir la sobrecarga soportada por un terreno con poca capacidad portante.

En ambos casos, sobre el relleno ligero apoyaba una estructura de hormigón armado con un intenso tráfico rodado, lo que obligó a una compactación muy rigurosa por capas.

Las principales ventajas que la arcilla expandida presenta frente a otro tipo de materiales de relleno son:

- Su baja densidad reduce las sobrecargas.
- Es un material autocompactable.
- La arcilla expandida tiene una reducida compresibilidad.
- La arcilla expandida actúa como drenante natural.
- Es un material ignífugo y no produce humos tóxicos.
- La arcilla expandida es aislante y protege contra las heladas.
- La puesta en obra y compactación se realiza de forma sencilla con medios mecánicos de uso común.
- La arcilla expandida no se deteriora con el tiempo.
- Es un material natural, inerte y 100% reciclable.

(*) Director técnico de Arcillas Ligeras, S.A. Arquitecto.



FOTO 1. Aligeramiento sobre la playa de vías de la Estación Término en la Villa Olímpica, Barcelona 1992.

La arcilla expandida es un material cerámico producido a partir de arcilla pura introducida en hornos rotatorios a 1.200 °C para producir unas esferas de muy bajo peso específico, alto poder aislante y resistencia contra el fuego y los agentes externos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL RELLENO

1. Granulometría 3-16 mm

La curva granulométrica del material se ha estudiado para conseguir un equilibrio ideal entre la compresibilidad y la densidad del material.

Un tamaño mínimo de 3 mm garantiza la ausencia de finos para reducir la densidad del relleno, manteniendo hasta un 45% de volumen de huecos entre los granos sin compactar. Una vez compactado este volumen de huecos intersticiales queda reducido a un 40%.

Por otra parte, el drenaje es excelente y el riesgo de saturación por finos de los canales de drenaje se reduce al mínimo.

2. Densidad

Densidad seca de conjunto 350±50 kg/m³

Densidad de conjunto a largo plazo en condiciones de saturación 625±50 kg/m³

La densidad a largo plazo se calcula basándose en la densidad seca de conjunto, tomando en consideración la compactación y la saturación por agua.

Sistema de cálculo según modelo utilizado en la normativa sueca:

- Masa de agua absorbida por la arcilla expandida

$$W_a = p (1-n) (d_s/d_r) \times 10^3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$p = 0.45$ para rellenos bajo terreno natural

$n = 0.45$ a granel sin compactación

0.40 después de la compactación

d_s = Densidad seca de conjunto sin compactar

d_r = Densidad real de la arcilla (2.500 kg/m³)

- Masa de agua en la superficie de la arcilla expandida

$$W_s = (850 \times (1-n)) / D \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

D = Diámetro medio (10 mm)

- Densidad efectiva

$$d_e = d_c + W_a + W_s \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

d_c = Densidad seca de conjunto, compactado

Según estas fórmulas, las densidades efectivas para las distintas edades del relleno serían de:

- A granel, sin compactar de ca. 350 kg/m³
- Compactado de 370 kg/m³
- Compactado y saturado de 625 kg/m³

3. Carga máxima recomendada 20 kp/cm²

Se recomienda que la carga media sobre el relleno no sobrepase los 20 kp/cm². Cuando la arcilla expandida se aglomera con cemento (150 kg de cemento por cada m³), la tensión podría incrementarse hasta 40 kp/cm².

4. Estabilidad

Angulo de rozamiento interno 40°

Cohesión 0

La arcilla expandida es un material no cohesivo. Para cálculos de estabilidad, el plano crítico de deslizamiento se calcula siguiendo los procedimientos habituales en este tipo de materiales.

5. Compresibilidad del relleno

Asentamiento por compactación 4-6 %

La arcilla expandida es un material autocompactable. Durante el proceso de colocación por medios mecánicos sufre un asentamiento que depende del espesor de la capa a compactar.

Su valor se deduce de forma experimental y para un caso estándar con un espesor de relleno de 2 m, el asentamiento por compactación se estima en torno a un 4/6%.



FOTO 2. Reparación de una pista de aterrizaje en Virginia, USA.

6. Aislamiento térmico 0.073 Kcal/h.m.C

La arcilla expandida es un material aislante contemplado por la norma española NBE-CT-79.

Para la arcilla expandida de densidad 350 Kg/m³ son válidos los siguientes valores de conductividad térmica.

- en seco : $\lambda = 0,07$ Kcal/h.m.C
- amorturada : $\lambda = 0,10$ Kcal/h.m.C

7. Durabilidad y resistencia al fuego**Punto de fusión** 1.200 C

La arcilla expandida es un material de tipo cerámico, resistente a los ataques químicos y a la heladicidad, completamente natural y con una durabilidad garantizada por su composición inorgánica.

Su resistencia al fuego está garantizada por la ausencia de componentes orgánicos y por su elevado punto de fusión (1.100 a 1.200 C).

PUESTA EN OBRA**1. Vertido**

El vertido del relleno ligero se puede realizar mediante camiones basculantes, ayudándose de medios mecánicos para su reparto, o bien bombeando directamente el material desde camiones cisterna o silos.

A pesar de su baja capilaridad, en caso de verterse directamente sobre el terreno debe tomarse la precaución de extender un geotextil para evitar la contaminación por finos.

2. Compactación

Debido a su forma esférica y su baja densidad, la arcilla expandida tiene tensiones de contacto muy bajas, por lo que el grado de autocompactación es muy alto.

La compactación de cada estrato de arcilla expandida se realiza mediante el vertido de una capa de 15 cm de arena natural sobre el relleno. Dicha capa se extiende por medios mecánicos en sentido ascendente sobre el relleno, compactándose por el propio paso de la máquina de colocación.

Se recomienda utilizar máquinas sobre orugas lisas sin resaltes o pala cargadora sobre ruedas, para mejorar la compactación sin remover la capa de arena superficial.

Cada estrato de arcilla expandida no debe sobrepasar los 2 m de altura.

El rendimiento es una variable con una gran dependencia de las condiciones de la obra.

Podemos estimar que en condiciones normales, para una obra de tipo medio, con suministro ininterrumpido y extendido mediante medios mecánicos, el rendimiento no será inferior a los 150/200 m³/h.

3. Impermeabilización

En condiciones normales no es necesario impermeabilizar el relleno. En caso de que hubiese de hacerse, se extenderá una lámina de polietileno, protegida con tratamientos anti-raíces si se va a plantar vegetación encima del relleno.

APLICACIONES

Los rellenos ligeros de arcilla expandida permiten solucionar muchos problemas de difícil resolución en la obra civil y edificación.



FOTO 3. Relleno ligero de arcilla expandida en el Puerto de Albany, USA.

1. Construcción de rellenos ligeros sobre terrenos muy compresibles

En estructuras o vías construidas sobre terrenos de echadizo o poco resistentes, se pueden producir asentamientos. La sustitución del material de relleno por arcilla expandida permite evitar asentamientos posteriores.

Esta técnica se utiliza de forma habitual en la construcción de carreteras en zonas pantanosas o en las cercanías de edificaciones (Figuras 1 y 2).

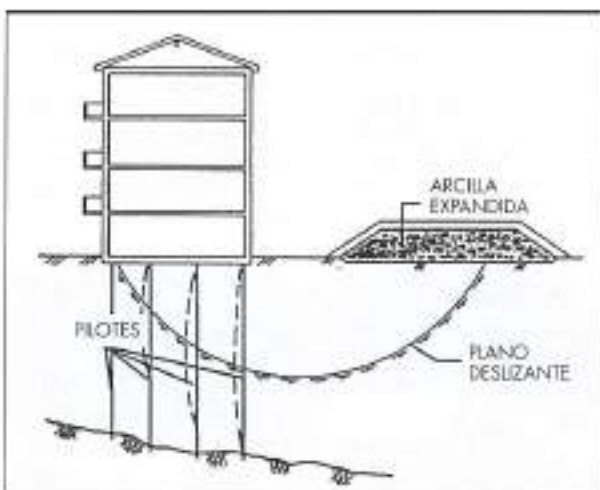


FIGURA 1. Relleno de arcilla expandida para evitar daños en cimentaciones cercanas por pilotes.



FIGURA 2. Relleno con arcilla expandida para aumentar la estabilidad en una calzada elevada sobre terreno pantanoso.



FOTO 4. Relleno ligero sobre un aparcamiento, Barcelona 1992.

2. Aligeramiento de rellenos sobre estructuras subterráneas

Esta es una solución que se ha utilizado reiteradamente en España.

La utilización de arcilla expandida reduce las sobrecargas en estructuras enterradas, tales como falsos túneles, aparcamientos subterráneos, estaciones de metro, etc. (Foto 4).

3. Sustitución del terreno por arcilla expandida en terrenos compresibles

La sustitución de terreno natural por un relleno ligero permite reducir la sobrecarga hasta 1.200 kg/m^3 .

La sobrecarga debida a una estructura levantada sobre un terreno compresible puede equilibrarse con la reducción de carga debida a la sustitución de terreno natural por arcilla expandida. De esta forma, la carga total soportada por el terreno no sufre ninguna variación (Foto 5).



FOTO 5. Relleno ligero de arcilla expandida bajo una autopista sobre terreno pantanoso.

EJEMPLO

En un edificio con dos plantas sin sótano, las pobres condiciones del terreno obligan a sustituir el terreno natural por un relleno ligero para evitar asentamientos y daños en el edificio terminado.

- Sobrecarga debida a la estructura nueva (repartida uniformemente)

$$q = 1 \text{ t/m}^2$$

- Relleno de arcilla expandida 3-16 mm
- Densidad máxima estimada 625 Kg/m^3
- Terreno natural
- Densidad por encima del nivel freático 2000 Kg/m^3
- Nivel freático a 2 metros de la superficie.

Profundidad necesaria del relleno para equilibrar la carga:

$$q + (X \cdot Dr) = X \cdot Dt \rightarrow X = 0,73 \text{ m}$$

Es necesaria una profundidad de aproximadamente 0,7 m para obtener una solución de asentamiento nulo (equilibrio de cargas previas y posteriores).

4. Reducción del empuje del terreno sobre muros de contención

Con rellenos ligeros, el empuje que experimentan los muros de contención y pantallas pueden aliviarse hasta un 80% (Figura 4).

Por otra parte, el drenaje que proporciona la arcilla expandida evita en buena medida el empuje hidrostático.

En el caso de terrenos inestables, los rellenos ligeros actúan como amortiguadores de la presión ejercida por el terreno (Figura 3).

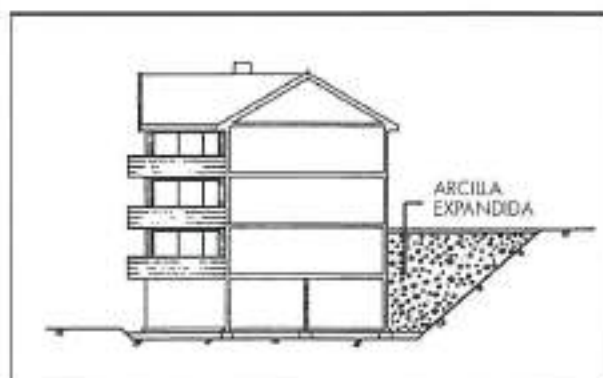


FIGURA 3. Muro de contención con rellenos de arcilla expandida.

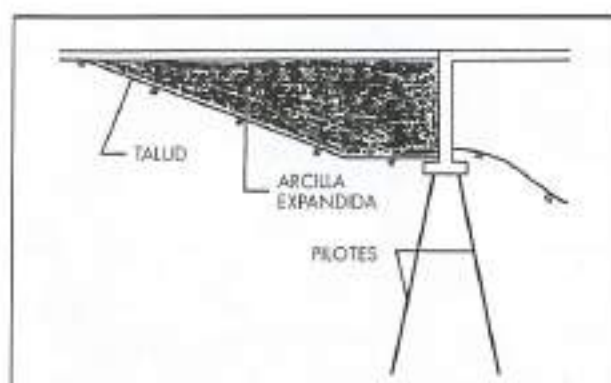


FIGURA 4. Relleno ligero del trasdós de un puente.

EJEMPLO

Comparación del empuje total de un relleno ligero de arcilla expandida y otro de grava contra un muro de contención.

Hipótesis:

- rugosidad nula
- nivel freático bajo el nivel de cimentación
- construcción encima del relleno no terminado
- carga de terreno nula
- terreno horizontal

Material:

- Arcilla expandida 3-16 mm, densidad en seco 350 Kg/m³
- Arena y gravilla

Parámetros del material:

- Arcilla expandida

Angulo de rozamiento interno : $\phi_k = 40,5^\circ$

cohesión : $c = 0$

coeficiente de seguridad : $\tau_{es} = 1,3$

densidad total : $d = 625 \text{ Kg/m}^3$

- Arena/Grava

Angulo de rozamiento interno : $\phi_k = 35^\circ$

cohesión : $c = 0$

coeficiente de seguridad : $\tau_{es} = 1,5$

densidad total : $d = 2000 \text{ Kg/m}^3$

τ_{es} ref. "Coeficiente de seguridad" dependiente del control de fabricación.

Coeficiente de empuje del terreno activo (rugosidad = 0):

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi_k / 2) \quad \phi_k = \phi_c / \tau_{es}$$

(ϕ_k = ángulo de rozamiento interno efectivo)

— arcilla expandida : $K_a = 0,32$

— arena/grava : $K_a = 0,43$

Empuje del terreno activo en cota -5 metros.

$$P_a = K_a \cdot d \cdot 5$$

— arcilla expandida : $P_a = 0,32 \cdot 625 \cdot 5 = 1.000 \text{ kp/m}^2$

— arena/grava : $P_a = 0,43 \cdot 2.000 \cdot 5 = 4.300 \text{ kp/m}^2$



FIGURA 5.

El cálculo muestra que la reducción del empuje horizontal contra el muro en un relleno de arcilla expandida es un 77% menor al de un relleno normal (Figura 5).



FOTO 6. Relleno ligero en un gasoducto en Calgary, Canadá.

5. Protección de conducciones enterradas

La elasticidad del material permite absorber de forma óptima las presiones que se producen en las inmediaciones de gasoductos, alcantarillas y otras conducciones enterradas. Por otro lado, los rellenos ligeros de arcilla expandida proporcionan un aislamiento térmico-acústico a estos conductos y resultan fácilmente registrables en caso de avería (Foto 6).

6. Ajardinamiento de terrazas

La baja densidad de la arcilla expandida se alfa en este caso con su capacidad drenante y sus cualidades como sustrato de cultivo.



FOTO 7. Relleno ligero sobre la Sala Hipóstila del Parque Güell, Barcelona.

De esta forma, ya sea como drenante o como sustrato de cultivo (mezclada con tierra vegetal o sin mezclar), los rellenos ligeros se utilizan de forma extensiva para incluir zonas ajardinadas sobre estructuras ya construidas sin sobrecargar estas excesivamente.



FOTO 8. Relleno ligero bajo una calzada en Polesine, Italia.

REFERENCIAS

- (1) "Baaverwaltung" n° 7/89.
- (2) "Bauwirtschaft" Heft 8 Agosto 89.
- (3) "Worldwide Leca".
- (4) "ESCSI Lightweight Aggregate Geotechnical Applications" Info Sheet #600.
- (5) "1st International Symposium on Lightweight Aggregate Concrete", Sandefjord, Noruega. 1995.

CALIDAD **Dragados**



Presa de Riaza. Segovia



Presa de Jaraiz de la Vera. Cáceres



Presa de la Esperanza. Ecuador



Dragados



Agua limpia, ciudad viva

El conocimiento y control del agua son decisivos para operar en óptimas condiciones y contribuyen, en términos económicos y medioam-



bientales al desarrollo y futuro de nuestras ciudades. Para elegir el proceso de depuración más adecuado para el tratamiento de las aguas, CADAGUA pone a su disposición, ingeniería,

Experiencia en el diagnóstico, proyecto, diseño, construcción, mantenimiento, explotación y gestión de plantas de trata-

miento y depuración de aguas. Porque usted es el primer beneficiado, haga un trato con el agua. Trate con CADAGUA.



EDAR AGUACUA,
GRAN CANARIA.



EDAP VENTANA,
BISAO.


Cadagua

Tel: (34) 921 12 00 • Fax: (34) 921 22 01 • Email: legitim@cadagua.es

