

El EPS en aplicaciones de ingeniería civil.

Propiedades y prestaciones del producto

Artículo realizado por **Hans Tepper**, consultor de EUMEPS (Asociación Europea de Poliestireno Expandido) y traducido al castellano por **Raquel López de la Banda**, Directora General de Anape (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido)

El poliestireno expandido (EPS en siglas en inglés) se ha utilizado con éxito como relleno ligero para carreteras, ferrocarriles y otras aplicaciones de ingeniería civil durante décadas. El 1 de enero de 2009 entró en vigor la norma armonizada europea EN14933:2007 para el EPS, completando así las obligaciones de marcado CE.

Antes de enero de 2009, el diseño en ingeniería civil no estaba sujeto a normas legales en toda la Unión Europea sino que se regía por directrices nacionales, el conocimiento propio de los ingenieros, y el sentido común. Ahora, sin embargo, está en vigor en todos los países de la UE la norma de utilización del EPS.

Tradicionalmente, en la UE se han usado muchas reglas de diseño voluntarias no oficiales como BAST, CROW y NRRL, pero desde que entraron en vigor las normas de cálculo para todas las construcciones, los Eurocódigos EN 1990-EN1997, la conocida ruta de cálculo mediante 'coeficientes de seguridad' quedó atrás y se ha hecho más común el moderno método que utiliza factores de carga. En este documento se describen las reglas generales como una ayuda para el diseño simple de aplicaciones de ingeniería civil con EPS.

Propiedades del material

Se facilitan las propiedades del material EPS para que pueda ser evaluado para uso en aplicaciones geotécnicas. Los datos se corresponden con el contenido de la norma EN14933 sobre resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y fluencia a compresión.

Resistencia a la compresión – A corto plazo

Los tipos de productos de EPS se nombran de acuerdo con el valor declarado de resistencia a la compresión, en kPa, a una deformación fijada arbitrariamente en el 10%. Por ejemplo un EPS denominado EPS 100 tiene una resistencia a compresión al 10% de deformación de 100 kPa. Para calcular la resistencia a la compresión a corto plazo $\sigma_{10;d}$ hay que tener en cuenta un factor del material. Este factor (γ_m) es 1,25. Por tanto, para el EPS100, $\sigma_{10;d} = 100/1,25 = 80\text{kPa}$. El factor del material se basa en el panel sándwich de acero estándar, suponiendo una variación del 8% en la producción de EPS.

Resistencia a la compresión – Resistencia permanente

Se espera que el EPS tenga una deformación por fluencia de compresión del 2% o menos después de 50 años cuando se somete a un esfuerzo de compresión permanente menor de $0,3 \times \sigma_{10}$.

Por tanto, el valor declarado de la resistencia a la compresión permanente $\sigma_{10;perm} = 0,30 \times \sigma_{10}$. Nuevamente, hay que tener en cuenta un factor del material (γ_m). Para calcular el valor de diseño de la resistencia a la compresión permanente $\sigma_{10;perm;d}$ para EPS100, $\gamma_m = 1,25$. Por tanto, para un EPS 100, $\sigma_{10;perm;d} = 0,30 \times 100/1,25 = 24\text{ kPa}$.

Resistencia a la compresión bajo carga cíclica

Sobre la base de extensos estudios se ha concluido que con una carga permanente

relativamente ligera ($<15 \text{ kN/m}^2$) y si la deformación bajo una carga cíclica se mantiene por debajo de 0,4%, la deformación será elástica y no se producirá deformación permanente. Traducido en esfuerzos, el valor máximo de seguridad debido a carga cíclica es $0,35 \times \sigma_{10}$. Por tanto, la resistencia a la compresión declarada bajo carga cíclica $\sigma_{10;cycl;d} = 0,35 \times \sigma_{10}$. En nuestro ejemplo, para un EPS100, $\sigma_{10;cycl;d} = 0,35 \times 100 = 35 \text{ kPa}$. Para el cálculo del valor de diseño $\sigma_{10;cycl;d}$ hay que tener en cuenta de nuevo el factor del material (γ_m). Este factor es 1,25 y por tanto, para EPS 100, $\sigma_{10;cycl;d} = 35/1,25 = 28 \text{ kPa}$.

Módulo de elasticidad

Los valores declarados para el módulo de elasticidad (E_t) pueden derivarse usando resultados de ensayo de la norma EN 826. Los valores son válidos para la parte elástica de la curva de tensión/deformación. El mismo valor puede usarse para el cálculo del comportamiento dinámico debido a las cargas cíclicas. Los valores de la tabla I se basan en la fórmula desarrollada por Horvath: $E_t = ((0,45 \times \rho) - 3) \text{ mPa}$, donde ρ es la densidad del EPS. Para un EPS 100 con $\rho = 20 \text{ kg/m}^3$, el módulo se calcula como $E_t = (0,45 \times 20) - 3 = 6 \text{ mPa} = 6000 \text{ kPa}$. Esta es una hipótesis "del lado de la seguridad". La relación entre densidad y resistencia a la compresión para tipos de productos 'viejos' o medidos bajo la antigua norma frente a los 'nuevos' o medidos bajo nueva norma se definió en el escrito 'Tipos de productos EUMEPS' en 2003(1).

Fluencia a compresión

Krollmann propuso por primera vez, en 1989, una forma de determinar y calcular el efecto de la fluencia de compresión de los materiales de aislamiento térmico tomando la ecuación de Findley para predecir los efectos a

largo plazo 'para las primeras décadas' basado en ensayos a lo largo de un período de 667 días.

Para aplicaciones de ingeniería civil es necesaria una predicción sobre un período más largo. El instituto de ensayos sueco SP ha propuesto otra ecuación de extrapolación para la fluencia a largo plazo basada en el método lin-log de Struik.

Esto fue objeto de discusión por grupos de trabajo del CEN (European Committee for Standardization, Comité Europeo de Normalización), que concluyeron que la ecuación de Findley ofrece resultados conservadores mientras que la de Struik ofrece buenos resultados para períodos más largos.

Esto también tiene que ver con dos efectos. En primer lugar, los ensayos se realizan siempre con pequeñas muestras mientras que, en realidad, el relleno de EPS de peso ligero se usa en grandes bloques o planchas.

En segundo lugar, el EPS se somete a rigidización durante la exposición prolongada a cargas.

Estos resultados se incorporaron en el método de ensayo armonizado oficial europeo EN 1606. Con el conocimiento de que la conducta de fluencia del EPS corresponde al método de extrapolación de Struik, un anexo informativo dentro de EN 14933:2007 ofrece una declaración específica.

Esta información es adicional al método de extrapolación conservador obtenido siguiendo a Findley.

La información del anexo es también conservadora pero puede ahorrar a los



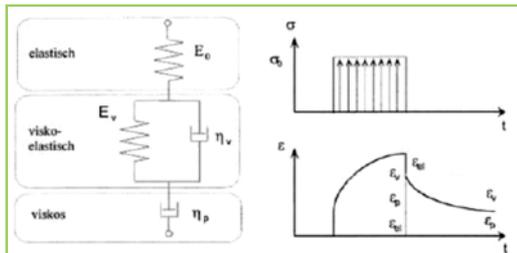
fabricantes una cantidad considerable de costes asociados por ensayos extra.

Los datos de fluencia publicados por SP en 2001 y recogidos en el Libro Blanco de Eumeps en 2003 demuestran que los datos anteriores dados en EN 14933, a 0,3 (o 0,35 para EPS150) veces la resistencia a la compresión a una deformación del 10% (σ_{10}), la fluencia estará alrededor del 0,5%, y por tanto la deflexión total ($\epsilon_t = \epsilon_0 + \epsilon_{ct}$) será del 2,5% a lo largo de 50 años a una carga permanente de $0,3 \times \sigma_{10}$.

Requisitos de prestaciones

Solo un enfoque integral del diseño permitirá que este sea satisfactorio, no solo respecto a su adecuación a la finalidad, sino también en términos de sostenibilidad y en parámetros socioeconómicos.

El EPS permite la construcción de carreteras sobre malos subsuelos y la posibilidad de evitar casi todos los asentamientos. Para el subsuelo, el método de cálculo es sencillo. Siempre que la carga permanente expuesta no exceda las tensiones existentes, no se esperan asentamientos. En caso de que se imponga una carga sobre la cimentación existente, pueden seguirse los cálculos ya conocidos para señalar los asentamientos.



Para la capa superior de distribución de carga, también se dispone de herramientas para calcular las diferentes capas para obtener una carga uniformemente repartida sobre el cuerpo de EPS. En caso de problemas sencillos, existen diferentes manuales de pavimentos y para construcciones más difíciles también puede emplearse software como PLAXIS.

Cargas y combinaciones

Los valores dados son conformes con los eurocódigos EN 1990 y EN 1997.

Cargas permanentes

Las cargas permanentes del propio peso y sobrecargas impuestas pueden obtenerse de los

Descripción	Símbolo	Unidad	EPS60	EPS100	EPS150	EPS200	EPS250
Valor declarado de resistencia a la compresión a corto plazo	σ_{10}	kPa	60	100	150	200	250
Valor de diseño de resistencia a la compresión a corto plazo	$\sigma_{10;d}$	kPa	48	80	120	160	200
Módulo de elasticidad	$E_s; E_{dyn}$	kPa	4000	6000	8000	10000	12000
Valor declarado de resistencia a la compresión permanente	$\sigma_{10;perm}$	kPa	18	30	45	60	75
Valor de diseño de resistencia a la compresión permanente	$\sigma_{10;permd}$	kPa	14.4	24	36	48	60
Valor declarado de resistencia a la compresión bajo carga cíclica	$\sigma_{10;cycl}$	kPa	21	35	52.5	70	87.5
Valor de diseño de resistencia a la compresión bajo carga cíclica	$\sigma_{10;cycl;d}$	kPa	17	28	42	56	70

Tabla 1: Resistencias a la compresión de diferentes tipos de EPS.

Eurocódigos. Para el EPS se tiene en cuenta un valor de diseño de 100 kg/m³ para la posible absorción de agua, aunque esta carga es pequeña en comparación con la arena, grava y terreno. Para una capa superior de peso ligero, puede usarse una carga de 15 kPa.

Cargas del tráfico

Las cargas del tráfico (cíclicas) pueden obtenerse de los Eurocódigos. Para los cálculos del cuerpo de EPS en los Países Bajos, normalmente aplican una carga uniformemente distribuida de 15 kPa y por tanto ya tienen en cuenta la distribución de carga por las capas de grava/arena y la capa bituminosa.

Factores de carga

Para cargas permanentes, hay que aplicar un factor de carga de $\gamma F; G = 1,35$. Para la carga de tráfico, hay que aplicar un factor de carga de $\gamma F; Q = 1,50$. Otros factores cubren la posibilidad de que el EPS flote sobre en aguas subterráneas.

Criterios de diseño

Criterio de estado límite último a corto plazo (STR) Combinación de cargas

Multiplicar el peso propio y las sobrecargas por sus factores de carga respectivos y combinar ambas cargas. Calcular la resistencia a la compresión de diseño con acción en la parte superior de los bloques de EPS y compararla con la resistencia a la compresión de diseño a corto plazo $\sigma_{10;d}$ (p.ej. 80 kPa para EPS 100). La acción del esfuerzo a corto plazo debería ser menor o igual que la resistencia a corto plazo.

Criterio de estado límite último permanente (STR) Combinación de cargas

Multiplicar el peso propio y la parte permanente de la sobrecarga (principalmente

cero en aplicaciones de ingeniería civil) por sus factores de carga respectivos y combinar ambas cargas. Calcular la acción del esfuerzo a compresión de diseño y compararla con la resistencia de diseño permanente $\sigma_{10;perm;d}$ (p.ej. 24kPa para EPS100). La acción del esfuerzo permanente debería ser menor o igual a la resistencia permanente.

Criterio de estado límite último para cargas cíclicas (GEO)

Multiplicar la carga cíclica por el factor $\gamma_Q = 1.50$. Calcular la acción del esfuerzo a compresión de diseño y compararla con la resistencia cíclica de diseño $\sigma_{10;cycl;d;d}$ (p.ej. 24kPa para EPS100). Obsérvese que se permite una carga permanente máxima de 15kPa.

Estado límite último para flotación (UPL)

El factor de carga $\gamma_{G;stb} = 0,9$ en situaciones favorables e $\gamma_{G;stb} = 1,0$ en situaciones desfavorables para acciones permanentes.

Factor de carga $\gamma_{Q;dst} = 1,5$ en situaciones desfavorables para acciones variables.

Ejemplo de aplicación – Carreteras en Pólder, Países Bajos

Puede tomarse como ejemplo de uso de EPS en el mundo real en aplicaciones geotécnicas una carretera típica en los Pólders, en la parte occidental de los Países Bajos. La carretera se construyó extrayendo terreno de turba hasta una profundidad aproximada de 1,5 m y añadiendo bloques de EPS hasta una altura de 2m. Sobre el EPS se aplicó una capa de arena/grava para distribuir las cargas puntuales y la carretera se remató con una doble capa de asfalto. Se consideraron diferentes tipos de carga en una serie de cálculos, véase debajo, que comparan los requisitos de EN 14933:2007 con las propiedades del material EPS100.

Carga permanente ($\gamma=1,35$)

Capas de asfalto de 0,15m
($0,15 \times 2100\text{kg/m}^3$) = 3,1kN/m²)



0,50m grava/arena
($0,50 \times 1800\text{kg/m}^3$) = 9,0kN/m²)

2,0m EPS100
($2,00 \times 100\text{kg/m}^3$) = 2,0kN/m²)

Por tanto, la carga permanente total es...
 $3,1\text{kN/m}^2 + 9,0\text{kN/m}^2 + 2,0\text{kN/m}^2 = 14,1\text{kN/m}^2$.

Carga del tráfico ($\gamma = 1,50$)

Cíclica y distribuida uniformemente sobre el EPS = 15,0kN/m²

STR a corto

($1,35 \times 14,1$) + ($1,50 \times 15$) = 41,35

Este valor es menor de 80 y por tanto el EPS100 es adecuado según este requisito de rendimiento.

STR permanente

($1,35 \times 14,1$) = 19,05

Este valor es menor de 24,0 y por tanto el EPS100 es adecuado según este requisito de rendimiento.

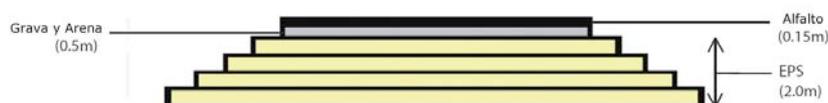
GEO cíclica

($1,50 \times 15$) = 22,50.

Este valor es menor de 28,0 y por tanto el EPS100 es adecuado según este requisito de prestaciones.

En conclusión, el EPS100 es un material adecuado para uso en la construcción de la carretera en Pólder.

www.anape.es



Esquema de construcción de la carretera en Pólder.