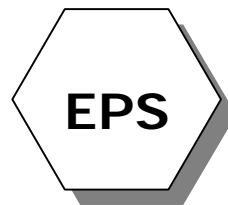


EL EPS

EN LA INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIONES SIN ASENTAMIENTOS
Y CON BAJO MANTENIMIENTO**



CONSTRUCCIÓN CON EPS

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES DEL EPS
 - 1.1 Características
 - 1.2 La producción de EPS

2. VENTAJAS DE LAS APLICACIONES DEL EPS EN EL SECTOR DE LA INGENIERÍA CIVIL E HIDRÁULICA
 - 2.1 Posibles aplicaciones en estructuras utilizando EPS en el sector de la ingeniería civil e hidráulica
 - 2.2 Empleo del EPS en el sector de la ingeniería civil e hidráulica
 - 2.3 Ejemplos de aplicaciones generales del EPS en el sector de la ingeniería civil e hidráulica

3. PROPIEDADES DEL EPS PARA USO EN EL SECTOR DE LA INGENIERÍA CIVIL E HIDRÁULICA
 - 3.1 Propiedades mecánicas
 - 3.2 Propiedades físicas
 - 3.3 Propiedades relativas al ambiente
 - 3.4 Propiedades relativas a la higiene y seguridad en el trabajo
 - 3.5 Resumen de las propiedades del material

4. EXPERIENCIAS EN HOLANDA
 - 4.1 Estructuras de transición: rampas de entrada y salida, pasos elevados
 - 4.2 Pavimentos y arcenes
 - 4.3 Campos de deportes
 - 4.4 Pavimentos en zonas residenciales
 - 4.5 Aplicación sobre líneas subterráneas existentes
 - 4.6 Estaciones de servicio
 - 4.7 Aplicaciones especiales

5. DISEÑO, ESPECIFICACIONES Y EJECUCIÓN

5.1 Programa de requisitos

5.2 Estimación del equilibrio

5.3 Duración de la construcción

5.4 Diseño definitivo

5.5 Ejecución

6. APLICACIONES ESPECIALES

6.1 Planchas de drenaje

6.2 Pantalanes, isletas y jardines flotantes

6.3 Pequeños puentes de EPS

6.4 Hormigón ligero de EPS

7. CONCLUSIONES

REFERENCIAS

LISTA DE ABREVIATURAS

1. GENERALIDADES DEL EPS

Para comprender satisfactoriamente las ventajas del EPS como material de relleno ligero, es importante conocer primero cuáles son las características típicas de material y cómo se fabrica.

1.1 CARACTERÍSTICAS

Las siglas EPS corresponden al nombre en inglés "expanded polystyrene" (poliestireno expandido), un plástico característico, casi siempre de color blanco que ha sido utilizado para diversos fines durante casi 40 años.

De la cantidad total de EPS producido en Holanda, aproximadamente la quinta parte se destina a material de embalaje. El destino final para el 80% restante es la construcción, incluido el sector de la ingeniería civil.

El EPS se ha utilizado desde el origen como material aislante. Como consecuencia de un método de producción muy eficiente, el EPS sigue siendo uno de los materiales aislantes más baratos y, gracias a su especial estructura, uno de los mejor adaptados a los diferentes sistemas de construcción.

Cada metro cúbico de EPS contiene aproximadamente 10 millones de pequeñas esferas, denominadas también perlas. Cada perla contiene aproximadamente 3.000 celdas cerradas que están llenas de aire. En realidad, en volumen, el EPS contiene solamente un 2% de poliestireno y un 98% de aire. Esta estructura de las celdas con aire estacionario, el mejor aislante térmico, hace que el EPS sea especialmente adecuado como material aislante.

El EPS es ligero de peso y por tanto sencillo de procesar. Es importante para el sector de la ingeniería civil ya que además el EPS no se ve afectado por el agua/humedad tras su inmersión y no se produce difusión en el material. Por otra parte, puede soportar cargas mecánicas gracias a su especial estructura de celdas. Además, el EPS es duradero y no degenera con el transcurso del tiempo. El EPS es un "monomaterial", es decir, consta de un solo material por lo que resulta muy adecuado para su reciclaje. Por otra parte, es un material neutro para las aguas subterráneas.

1.2 LA PRODUCCIÓN DE EPS

La producción de EPS puede dividirse en dos partes de la forma siguiente:

1. Conversión del petróleo en poliestireno expandible.
2. Conversión del poliestireno expandible en productos de EPS (material de construcción).

1.2.1 FASE DE PRODUCCIÓN 1

Conversión del petróleo en poliestireno expandible.

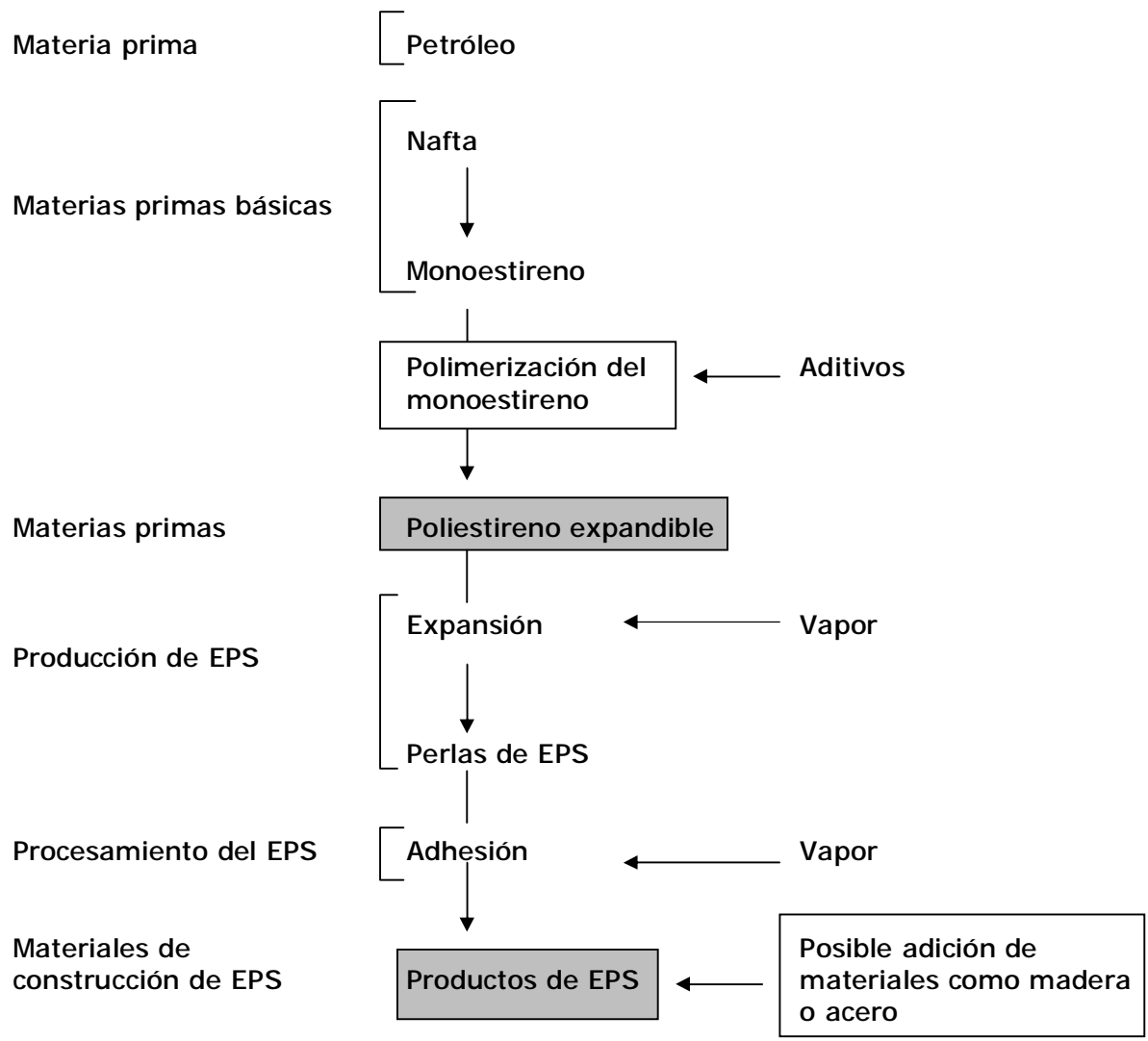
Se obtiene nafta a partir de petróleo crudo por medio de refino. Una fracción de la nafta se convierte mediante reforma catalítica (isomerización, conversión en hidrocarburos cíclicos y deshidrogenación) en hidrocarburos aromáticos, de los cuales se destila el benceno, que es el material de construcción básico del monoestireno. Otra fracción de la nafta se somete a cracking con la ayuda del hidrocracker (catalizador/calor e hidrógeno) para obtener hidrocarburos de cadena corta. El etano (un hidrocarburo con dos carbonos) formado de esta manera se utiliza, después de fraccionamiento y destilación, con benceno para formar monoestireno.

Esto se consigue por medio de alquilación y deshidrogenación. La polimerización y la adición de pentano como agente de esponjamiento (aproximadamente el 6% en peso) crea el material bruto llamado poliestireno expandible: pequeñas y duras esferas (perlas de poliestireno) que se ofrecen en diversos tamaños a la industria de procesamiento del EPS. Si se desea, es posible producir poliestireno expandible en una versión modificada resistente al fuego que se denomina EPS de calidad SE. Para ello se añade una pequeña cantidad de retardador de la llama. El material se clasifica entonces como de clase M1 según la actual UNE 23727.

1.2.2 FASE DE PRODUCCIÓN 2

Conversión del poliestireno expandible en materiales de construcción de EPS.

El aspecto más destacado de la segunda fase de la producción de EPS es que sólo es necesario utilizar vapor. El poliestireno expandido es un termoplástico y por tanto contiene un líquido con un bajo punto de ebullición (pentano). El vapor a una temperatura de 100°C - 105°C (212°F - 221°F) puede calentar y ablandar el poliestireno expandible. Esto hace que el pentano se evapore internamente convirtiéndose en un gas. La perla de poliestireno se dilata bajo la influencia del pentano y del vapor difundido, convirtiéndose en lo que se denomina una perla de EPS. Debido a esto, se forma una estructura de celdas cerradas en cada perla de poliestireno expandido en la cual, al enfriarse, condensan internamente el pentano y el vapor. Debido a la reducción de presión resultante, la perla queda hueca en un 98%. Durante este proceso y después de él, el pentano desaparece del EPS y es sustituido por aire: en principio, las perlas sueltas de EPS obtenidas de esta manera son un producto final adecuado para utilizarlo como relleno aislante y para otros fines. Sin embargo, la mayoría de las perlas se comprimen entonces con vapor a 115°C - 125°C (239°F - 257°F) en máquinas de conformación de bloques, cintas o formas diversas para convertir el EPS en un material de construcción homogéneo. Este material se comercializa "tal como está", por ejemplo como planchas y bloques que se ofrecen al sector de ingeniería civil e hidráulica o bajo la forma de material aislante, como parte de un producto final compuesto para la construcción de edificios de viviendas, comerciales e industriales. Con este objeto, se pueden utilizar posteriormente diversas técnicas, dependiendo de la aplicación deseada.



2. VENTAJAS DE LAS APLICACIONES DEL EPS EN EL SECTOR DE LA INGENIERÍA CIVIL E HIDRÁULICA

En construcción, el EPS se utiliza principalmente para aislamiento. En fecha tan temprana como principios de la década de 1960 se descubrió, originalmente en Noruega, que el material era también muy adecuado para el sector de ingeniería civil. Por una parte, el efecto aislante el EPS evita que se congele el subsuelo eliminando así los problemas subsiguientes del deshielo. Por otra parte, su resistencia mecánica y su cohesión permiten la construcción de estructuras que tienen una enorme resistencia vertical y horizontal.

2.1 POSIBLES APLICACIONES EN ESTRUCTURAS UTILIZANDO EPS EN EL SECTOR DE LA INGENIERÍA CIVIL E HIDRÁULICA

En algunas zonas de Holanda, incluida la zona oeste muy urbanizada, el terreno es tan blando y el acuífero está tan próximo a la superficie que casi siempre es necesario elevar el terreno para prepararlo para la construcción. Esto es algo que se hace normalmente con arena, pero hay ciertas objeciones a esta práctica:

- Se necesitan anualmente grandes cantidades de arena. Teniendo en cuenta el hecho de que el gobierno desea reducir la extracción de arena por razones medioambientales, este método resultará probablemente menos atractivo desde el punto de vista del coste.
- Como material de relleno, la arena siempre da lugar a asentamientos. Esto supone mucho tiempo, por lo que la ejecución se retrasa. Si la construcción se realiza demasiado pronto (sin respetar los tiempos de asentamiento de la arena), será necesario tener en cuenta los elevados costes de mantenimiento en el futuro.
- El período necesariamente largo entre la elevación del terreno y el comienzo de la construcción origina considerables pérdidas en intereses.

El EPS tiene diversas aplicaciones posibles en el sector de ingeniería civil que proceden de las ventajas que ofrece el EPS como material de cimentación ligero debido a sus especiales propiedades. A continuación se indican varias soluciones teóricas.

A. ESTRUCTURAS CON BAJO NIVEL DE ASENTAMIENTO

El EPS es especialmente ligero, es capaz de soportar una carga de compresión y conservar su forma. Un diseño correcto y la incorporación adecuada de EPS en proyectos de ingeniería civil conducen por tanto a estructuras con bajo asentamiento. Esto no sólo ofrece la ventaja de que la estructura se puede poner en uso inmediatamente, sino también que los futuros costes de mantenimiento serán reducidos. Cuando se capitalizan los costes iniciales y los gastos de mantenimiento a lo largo de una vida útil de, por ejemplo, veinte años, el resultado de los cálculos siempre favorece al EPS.

Por otra parte, los materiales de relleno tradicionales pesados como la arena, pueden producir una pérdida de estabilidad del suelo. Una estructura de relleno utilizando EPS no tiene mucho más peso que el terreno excavado y por tanto no afecta a la estabilidad del suelo. El principio en el que se basan las cimentaciones de construcciones con EPS consiste en no perturbar el equilibrio existente en el terreno, porque el peso del terreno excavado es igual al peso del nuevo material de EPS instalado más la estructura de la carretera.

La posibilidad de evitar asentamientos posteriores utilizando una estructura de EPS ofrece otra posible aplicación para el EPS. Las carreteras se han elevado una y otra vez, especialmente en los distritos más antiguos de la zona oeste de Holanda, debido a los asentamientos producidos. Resulta bastante irónico que un nuevo material de relleno pesado dé lugar a un nuevo asentamiento, haciendo que los pilotajes bajo las residencias se carguen hasta el límite de su capacidad de carga a causa del rozamiento negativo del fuste. Sustituyendo este relleno pesado por EPS se asegura que el subsuelo quedará liberado de carga, pudiéndose evitar asentamientos adicionales. En cierto número de casos, haciendo esto se podrían evitar derribos de casas.

B. PREVENCIÓN DE CARGAS LATERALES

Los materiales descargados sueltos sin "refuerzo" o que tienen una resistencia a la tracción mínima conducen inevitablemente a diseños de carreteras en los que el ángulo del talud natural es el factor determinante, mientras que las cimentaciones utilizando EPS pueden incluso terminar en un borde vertical. Esto es necesario tenerlo en cuenta en el diseño, para lo cual es preciso realizar estudios y cálculos fiables.

Se han realizado numerosos proyectos en Holanda y Escandinavia de esta manera, con frecuencia en situaciones difíciles o delicadas, que son características de la amplitud de las posibles aplicaciones del EPS en el sector de la ingeniería civil.

C. AUSENCIA DE DAÑOS POR HELADAS EN EL PAVIMENTO

Debido a sus propiedades de aislamiento térmico, el EPS limita los daños por heladas a las estructuras de ingeniería civil. Esto y su ligereza han hecho que se dispare el uso del EPS, especialmente en Escandinavia.

Capas relativamente delgadas son suficientes para evitar que la superficie del terreno se hiele debido a las excelentes propiedades de aislamiento térmico del EPS. Una capa de EPS de 5 a 6 cm es suficiente para evitar que la temperatura de la cimentación de la carretera descienda por debajo de 0°.

En cuanto a los subsuelos denominados sensibles a las heladas, una alimentación continua de calor geotérmico mantiene la temperatura de la cimentación por encima del punto de congelación, ya que esa pérdida de calor la impide la cimentación, es decir, el material aislante de EPS (referencia 1). Sin embargo la desventaja consiste en que con ciclos de hielo/deshielo moderados, así como con nevadas, el riesgo de que la superficie sea resbaladiza es mayor.

Esta aplicación de EPS evita los efectos producidos por el deshielo de la superficie del terreno: el agua contenida en el terreno se congela y se dilata un 10% y luego se deshela.

La estructura situada encima puede simplemente romperse a causa de estas fuerzas. Esto se puede evitar gracias a las excelentes propiedades de aislamiento térmico del EPS (referencia 2).

D. CALIDAD ESPECIAL PARA DRENAJE

Por ejemplo, si en campos de deportes, parques o terrenos con césped el nivel del agua subterránea está tan alto que las plantas y árboles no pueden crecer o si después de la lluvia el drenaje es tan deficiente que el terreno permanece empapado y no es adecuado para jugar, se puede utilizar una calidad especial de EPS "sinterizado". El agua se puede drenar por medio de una red de pasos entre los granos de EPS.

Otra ventaja consiste en la consecución de una excelente distribución de la presión en subsuelos que son generalmente blandos como los de turba y residuos de operaciones de dragado.

2.2 EMPLEO DEL EPS EN EL SECTOR DE LA INGENIERÍA CIVIL E HIDRÁULICA

Se puede disponer de una calidad adecuada (peso por unidad de volumen) para cada aplicación debido a que las propiedades del EPS están relacionadas en gran medida con la densidad del material. Para aplicaciones de ingeniería civil e hidráulica, se utilizan generalmente bloques o planchas gruesas con una densidad de 15 a 32 kg/m³. Se suministran paquetes de planchas con grosores comprendidos entre 25 y 100 cm, anchos comprendidos entre 100 y 125 cm y largos comprendidos entre 2 y 8 metros.

Anticipando información presentada más adelante en este documento, ya se pueden mencionar varias características relativas a la ejecución en general. El EPS tiene que colocarse sobre una superficie plana. Esto se hace normalmente aplicando simplemente una capa de arena limpia de 5 o 10 cm de espesor en la zanja, por ejemplo, colocando una lámina geotextil debajo de la arena para mantener esta en su lugar.

En el caso de que haya irregularidades importantes bajo la forma de terrones o piedras, será necesario tener en cuenta la deformación del EPS y el asentamiento de la estructura en algunos lugares.

Para asegurar la estabilidad, el EPS se tiene que colocar de forma continua. Por esta razón, se utilizan normalmente como mínimo dos capas de EPS. Algunas veces, se aplican grapas, ganchos de acero o cola entre los bloques para evitar que se separen durante la construcción. A continuación, el EPS se cubre con una simple lámina para protegerlo de diversos disolventes, incluidas las gasolinas.

A este respecto, se puede mencionar que el EPS es resistente a un gran número de sustancias (consulte el apartado 2.4).

Es necesario proteger el EPS contra temperaturas superiores a 70°C/158°F. Sin embargo, en relación con las aplicaciones en el propio terreno, el EPS estará suficientemente protegido por la estructura del pavimento o por la capa de material situada encima, como una capa de hormigón armado o una capa de 10 cm de arena o escoria, siempre que no se procesen sustancias acuosas corrientes a alta temperatura. Además, durante el trabajo, es necesario proteger el EPS contra el fuego.

2.3 EJEMPLOS DE APLICACIONES GENERALES DEL EPS EN EL SECTOR DE LA INGENIERÍA CIVIL E HIDRÁULICA

El EPS es la solución ideal para proyectos en el sector de ingeniería civil en los que pueden producirse asentamientos y pérdida de estabilidad. Por tanto, algunas áreas de aplicación muy adecuadas para el EPS son:

- Construcción de carreteras libres de asentamiento
- Elevación y drenaje de campos de deportes, parques y zonas con césped
- Elevación libre de asentamiento de espacios y terrenos para aparcamiento
- Reducción de carga mediante relleno para reforzar pasos elevados y alcantarillas y mediante elevación de rampas de entrada y salida
- Elevaciones encima de gaseoductos enterrados preexistentes

- Reducción de las cargas laterales reforzando cimentaciones de pilotes en restauración de zonas urbanas
- Elevaciones para barreras de ruido
- Cimentaciones para cobertizos y edificios ligeros
- Reparación de asentamientos en carreteras existentes
- Rampas para diques o edificios existentes
- Pavimentos de patios y parcelas
- Terreros y pisos industriales

Desde principios de la década de 1970, el EPS se ha utilizado como material de cimentación e ingeniería civil hidráulica a escala cada vez mayor. El resumen que se adjunta muestra algunas de las diversas aplicaciones que ha tenido el EPS recientemente en Holanda y en otros países (referencia 3) (referencia 4).

Proyecto	Lugar	Fecha de construcción	Volumen de EPS (m ³)	Razón del uso/observaciones
I Cimentaciones de carreteras				
Dhr. v. D. Windhof	Aralenderveen	Marzo 83	360	Asentamiento excesivo
Dique de Niedbroekse	Reeuwijk	Mayo 84	250	Para contrarrestar el asentamiento
Muelle de Zestlanhovense	Rotterdam	Junio 85	2.600	Para aumentar la estabilidad del muelle
Renovación del distrito "Oostgaarde"	Capelle a/d Ussel	85 - 87	35.000	Asentamiento excesivo en el pasado
Autopista provincial S110	Wijchen	Septiembre 86	420	Profundidad peligrosa
Autopista de Zwarte	Gouda	Mayo 87	1.300	Ensanchamiento de la carretera de acceso
Carril de autobús de Hoorn	Hoorn	Marzo 86	2.500	Para impedir la pérdida de estabilidad
II Rampas de acceso				
Carretera de acceso de "Stadsgezicht"	Schiedam	Julio 77	800	Asentamiento inaceptable
Rampa de acceso al puente para bicicletas en el camino de bicicletas	Mijdrecht	Noviembre 82	200	Financieramente atractivo Para limitar la presión lateral sobre el terreno
Paso elevado, autopista nacional 13	Rotterdam	Octubre 87	5.000	Para limitar la presión lateral sobre el terreno
Reparación de carreteras	Vinjeveen	90	10.000	Para contrarrestar el asentamiento
Rampas de acceso residencias en los antiguos depósitos	Rotterdam	Marzo 84	1.150	Presión demasiado grande en las paredes de los depósitos
Rampa de acceso al dique	Hardinxveld/Giessendam	Junio 84	4.600	Ejecución rápida, costes de mantenimiento reducidos
Rampa de acceso al puente	Uithoorn	Julio 85	660	Para evitar daños a las cimentaciones de pilotes

Proyecto	Lugar	Fecha de construcción	Volumen de EPS (m ³)	Razón del uso/observaciones
III Varios				
Campo de deportes	Amsterdam	71	700	Para limitar el asentamiento, capa de drenaje
Cimentación de edificio	Albiasserwaard	74	60	Cimentación barata para cobertizo
Campo de deportes	Gouda	76	500	Para limitar el asentamiento, capa de drenaje
Campo de deportes	Rotterdam	77	Aprox. 500	Para limitar el asentamiento, capa de drenaje
Patios traseros	Rotterdam	84	2.200	Reducción de la presión sobre el terreno
Patio del colegio de Dakotaweg	Capelle a/d Ussel	Final del 84	1.000	Para evitar el asentamiento
Espacio verde	Nieuwegeln	Noviembre 85	190	Para evitar el agrietamiento
Cimentación de cables de alta tensión	Waddinxveen	86	50	Para evitar los latigazos de los cables de alta tensión
Estación de servicio "Bijleveld"	Linschoten	Verano del 86	1.500	Para limitar el asentamiento
Estación de servicio "Ouds Plantage"	Rotterdam	87	2.305	Elevación con bajo asentamiento
Terrazas para residencias	Maatssen	87	Aprox. 500	Para limitar el asentamiento de las terrazas
De Oude Tol	Reenwijk	89	30.000	Cimentaciones de residencias
Carril de autobús de la autopista nacional 16	Rotterdam	89	-	Formación de olas
Superficie de prueba en la autopista nacional 19	Breezand	-	1.800	Proximidad del canal

Algunos proyectos realizados en Holanda en la década de los 80.

3. PROPIEDADES DEL EPS PARA USO EN EL SECTOR DE LA INGENIERÍA CIVIL E HIDRÁULICA

Se explican a continuación las propiedades del material que tienen importancia específicamente para el uso del EPS en el sector de la ingeniería civil. Se pueden encontrar otras propiedades del material EPS en www.anape.es.

3.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las diversas propiedades del EPS como producto están normalmente relacionadas con la designación del peso por unidad de volumen del EPS. La densidad no es un requisito del producto pero sirve de ayuda para identificarlo además de ser una propiedad del material que se utiliza en el marco del control de la calidad interna en las instalaciones de los productores de EPS. La esencia de esas propiedades se puede encontrar en la UNE EN 13163 (Marzo 2.002).

3.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A CORTO PLAZO

La curva de tensión/deformación del EPS tiene una forma especial. El límite elástico lineal (o límite de proporcionalidad) se encuentra para un valor de la deformación entre el 1 y el 1,5%, si la prueba para determinar la resistencia a la compresión se realiza de acuerdo con la norma UNE EN 826. La resistencia a la compresión, tal como se define en esta norma, se determina arbitrariamente como la presión a la cual se produce una deformación del 10% de la muestra sometida a ensayo. Esta $\sigma_{\delta = 10\%}$ es también una variable del producto que se controla dentro del marco del control de la calidad. La velocidad de aplicación de la fuerza es aproximadamente el 10% por minuto. Esta deformación elástica lineal inicial se utiliza para determinar el módulo de elasticidad tangencial E_t (kPa). En la figura 1 se muestra la evolución de la relación tensión/deformación.

En la segunda parte de la evolución, ya hay por tanto una tendencia elástica no lineal de la relación tensión/deformación.

La figura 2 muestra la tendencia de la evolución más allá de la primera sección y la manera de definir el límite elástico. Este límite elástico representa aproximadamente el 75% de la tensión de compresión para "todas" las densidades de EPS. El requisito de resistencia a la compresión a corto plazo, medido para una deformación del 10%, se establece en el marco de la normalización/certificación como se indica en la tabla 1.

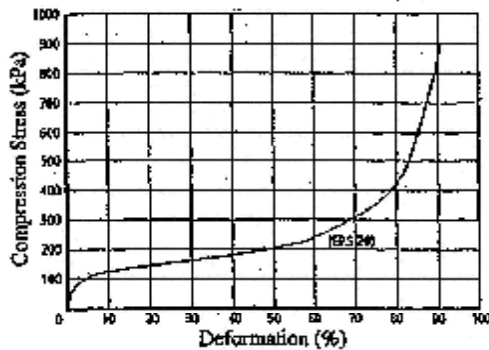
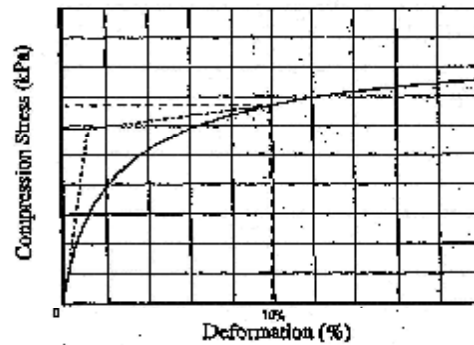


Figure 1: Diagram Showing Load-Deformation



.... yield point
 --- compression strength

Figure 2: (Initial) EPS Stress-Strain Relationship

Para la relación lineal entre la tensión de compresión actual y la densidad (ρ), se ha utilizado la fórmula siguiente: $\sigma_{\delta = 10\%} = 8,82 \rho - 61,7$ (kPa), donde ρ está expresada en kg/m^3 .

Por tanto, la resistencia máxima a la compresión a corto plazo que se puede conseguir es sustancialmente mayor. Sin embargo, respetamos los valores de la tabla 1 como una propiedad y también como un requisito. Suponiendo que el EPS se utiliza en el sector de la ingeniería civil de tal manera que la máxima deformación alcanza un valor del 1%, la relación para el módulo de elasticidad tangencial a corto plazo tal como se indica en la figura 3 es válido.

Expresado en una fórmula esto se traduce en $E_t = 0,045 \rho - 3$ (MPa).

Como consecuencia de esto, en Holanda utilizan los valores de la tabla 2 como valores de cálculo. La tercera sección de la evolución está formada por un comportamiento de reforzamiento como consecuencia de comprimir la estructura de las perlas hasta conseguir una deformación aproximada del 25% utilizando EPS-15 y del 50% utilizando EPS-35. Por encima de estos valores, para una deformación aproximada del 70%, se produce una fractura unidimensional a poliestireno duro.

	Tipos de EPS					
Resistencia a la compresión (kPa)	15	20	25	30	35	40
$\sigma_{10\%}$ a corto plazo	80	120	170	210	260	300

Tabla 1: Requisitos de resistencia a la compresión a corto plazo del EPS.

	Tipos de EPS					
Módulo de elasticidad (kPa)	15	20	25	30	35	40
E_t	4.000	6.000	8.000	10.000	12.000	14.000

Tabla 2: Módulo de elasticidad

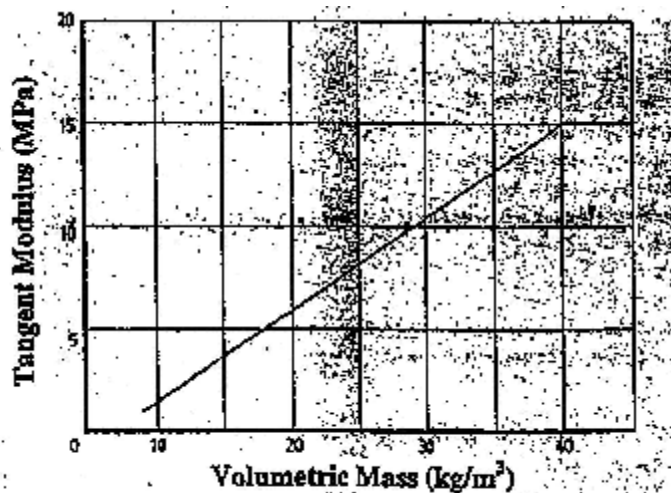
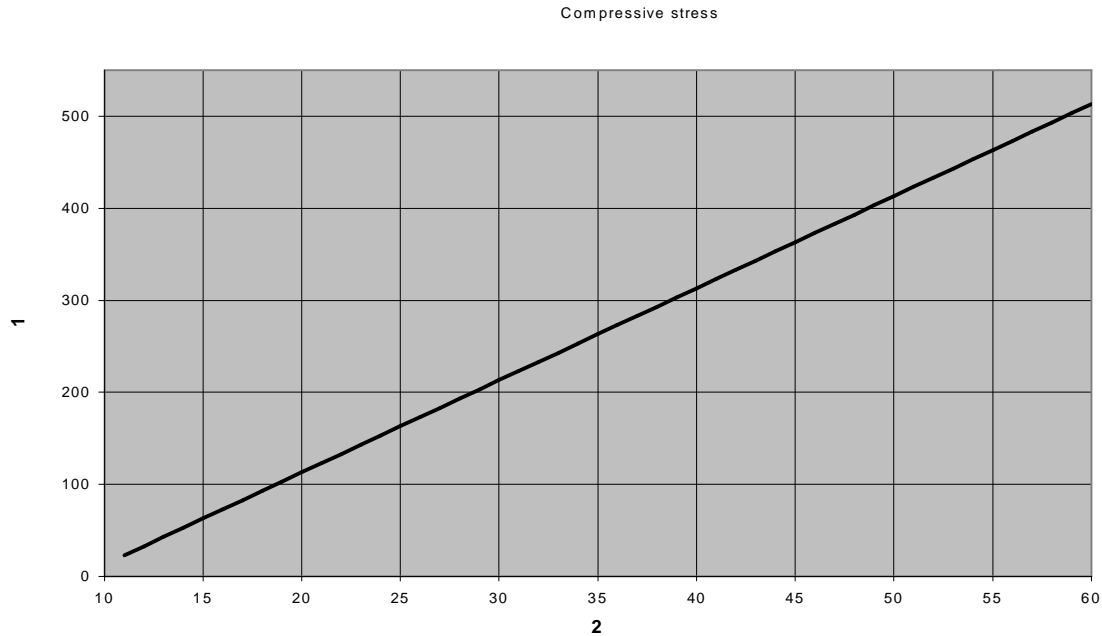


Figure 3: Relation of tangent modulus to volumetric mass.

La norma UNE EN 13163 (Marzo 2002) incluye en su anexo B la siguiente tabla, que recoge la relación entre la tensión de compresión y la densidad de los productos de EPS.



1...Tensión de compresión σ_{10} [kPa]

2...Densidad aparente r_a [kg/m³]

———— Tensión de compresión

Relación entre la tensión de compresión al 10% de deformación y la densidad aparente para ensayos indirectos; $1-a = 0,90$; $n = 495$;

Regresión para $r_a \geq 11$ kg/m³:

$$\sigma_{10, \text{mean}} = 10,0 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \times r_a - 81,0 \text{ kPa} \text{ [kPa]}$$

3.1.2 CONTRACCIÓN TRANSVERSAL

El coeficiente de contracción transversal (módulo de Poisson) del EPS es pequeño y se especifica como valor cero en algunos países. Para ser suficientemente conservador se recomienda adoptar un valor $\nu = 0,1$. Este valor es aplicable en la zona de deformación elástica y por encima de esta zona disminuye muy rápidamente (referencia 5).

3.1.3 FLUENCIA Y RELAJACIÓN

La fluencia es un fenómeno en virtud del cual la deformación aumenta a lo largo del tiempo como consecuencia de la carga. Para el EPS, esto parece depender de cinco variables independientes: densidad, presión, deformación, tiempo y temperatura. Lo mismo se puede decir de la relajación, el fenómeno en virtud del cual bajo una deformación impuesta, la presión (interna) disminuye a lo largo del tiempo.

A título de ejemplo, la figura 4 contiene la curva que muestra la deformación en función del tiempo del EPS-25 ($\rho = 23,5 \text{ kg/m}^3$) para tres niveles de carga (30, 50 y 70 kPa respectivamente) a lo largo de 500 días, a la temperatura del laboratorio de $23^\circ\text{C}/73^\circ\text{F}$. Esta curva también se puede trazar como un diagrama de carga/deformación para distintas duraciones de la carga (figura 5). Se ha determinado que la deformación, con una carga a largo plazo del 25% aproximadamente de la tensión de compresión a corto plazo alcanza un valor máximo del 1%, por lo cual se puede ignorar la fluencia. Se recomienda realizar el cálculo de acuerdo con las normas CEN para el EPS. Para un nivel aproximado de carga de $0,25 \sigma_{\delta} = 10\%$ a corto plazo o de $0,35 \sigma_{\delta} = 10\%$ a corto plazo, esto sugiere admitir una deformación total del 2% o del 3%, respectivamente, para una vida útil de 50 años. Investigaciones recientes (referencia 5) indican que la fluencia esperada para el EPS-15 y para el EPS-20 al cabo de un año con un nivel de carga aproximado del 25% de la tensión de compresión a corto plazo (σ_{10}) representa menos del 0,2%. Además, la mitad de la fluencia ya se ha producido al cabo de un día.

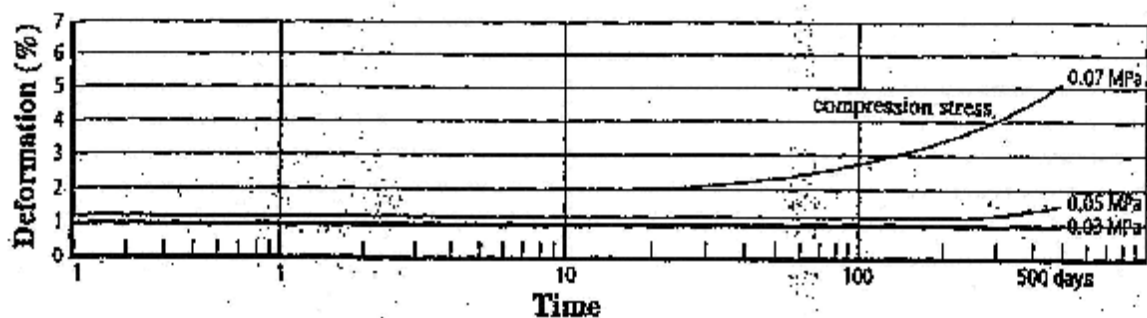


Figure 4: Deformation of EPS as a result of creep (EPS-25).

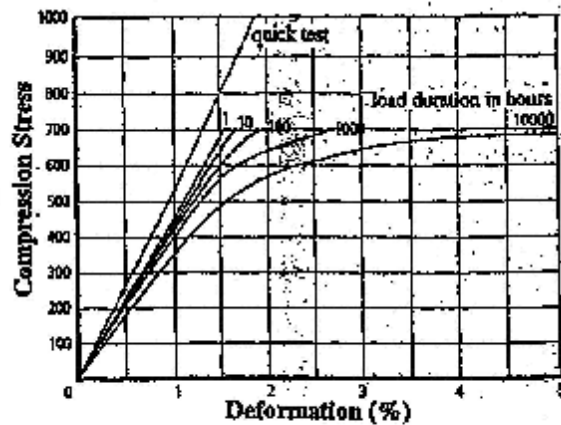


Figure 5: Stress/deformation relation and load duration.

3.1.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LARGO PLAZO

La resistencia a la compresión a largo plazo es el nivel admisible de carga continua durante 50 años, con objeto de limitar efectos de fluencia indeseables. Sobre la base de los efectos de fluencia/relajación mencionados en el párrafo anterior, la resistencia a la compresión a largo plazo del EPS se establece en la cuarta parte aproximadamente de la resistencia a la compresión a corto plazo (tabla 3).

	Tipos de EPS					
Resistencia a la compresión a largo plazo	15	20	25	30	35	40
σ largo plazo	20	30	40	50	60	70

Tabla 3: Resistencia a la compresión a largo plazo

3.1.5 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Aunque estas propiedades no son relevantes por lo que se refiere a las aplicaciones del EPS en el sector de la ingeniería civil, se indican en la tabla 4 como propiedades del producto simplemente para que estén completas.

Propiedades (kPa)	Tipo de EPS					
	15	20	25	30	35	40
Resistencia a la tracción (σ_t)	200	280	360	440	520	600
Resistencia a la flexión (σ_b)	190	270	360	460	570	670
Resistencia al cizallamiento	80	120	170	210	260	300

Tabla 4: Resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y resistencia al cizallamiento.

3.1.6 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

En los cálculos, se puede utilizar 0,5 como un valor seguro, si el ángulo de rozamiento está limitado al 30% aproximadamente.

3.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas del EPS se pueden subdividir en varias categorías que son las siguientes: propiedades térmicas, propiedades higroscópicas, comportamiento frente al fuego, duración y resistencia a productos químicos.

En este párrafo se tratan todas estas propiedades.

3.2.1 PROPIEDADES TÉRMICAS

El EPS es conocido sobre todo por sus excelentes propiedades térmicas, lo que hace que sea especialmente adecuado para utilizarlo como material aislante en la construcción de edificios de viviendas, comerciales e industriales y que además pueda ofrecer ventajas especiales en el sector de la ingeniería civil.

3.2.1.1 COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Dentro del marco de la certificación del EPS como material aislante, se ha llegado a acuerdos sobre los coeficientes de conductividad térmica en cuanto al método de determinación, así como en las operaciones estadísticas y los factores aditivos. Estos aspectos están recogidos en la norma UNE EN 13163.

La tabla 5 muestra un resumen de los coeficientes de conductividad térmica en función del peso por unidad de volumen. Esto se refiere tanto al valor declarado por el fabricante como al valor utilizado en los cálculos para determinar la resistencia térmica de las estructuras de los edificios.

Por otra parte, si hay absorción de agua, el coeficiente de conductividad térmica (valor de cálculo) debe corregirse utilizando los factores indicados en la tabla 6.

	Tipo de EPS				
Coefficiente de conductividad térmica	15	20	25	30	35
λ Declarada	39	36	35	34	33

Tabla 5: Coeficiente de conductividad térmica del EPS (en W/mK)

	Tipo de EPS					
Aplicación del EPS	15	20	25	30	35	40
Sin drenaje	1,22	1,22	1,22	1,15	1,11	1,11
Con drenaje	1,11	1,11	1,11	1,05	1,05	1,05

Tabla 6: Factor de corrección para aplicación en seco/húmedo

3.2.1.2 CALOR ESPECÍFICO Y COEFICIENTE DE DILATACIÓN

Para cálculos prácticos, se puede utilizar para el calor específico un valor de 1.210 J/kgK y para el coeficiente de dilatación un valor de 7×10^{-5} .

3.2.2 PROPIEDADES HIGROSCÓPICAS

Otra propiedad especial del EPS es la excelente resistencia a la humedad del material, una característica que evidentemente tiene una gran importancia en el sector de la ingeniería civil.

3.2.2.1 ABSORCIÓN DE AGUA

El EPS puede absorber agua de dos maneras. En primer lugar como resultado de difusión seguida por condensación de vapor de agua a través del material. La absorción de agua por este proceso, incluso al cabo de muchos años, nunca es superior al 1% en volumen. Esto significa un incremento máximo de la conductividad térmica del 5%.

Una segunda posibilidad es la absorción de agua por inmersión o por agua de lluvia caída desde arriba. Los resultados de las investigaciones sobre este aspecto presentan divergencias. La absorción máxima de agua en aplicaciones de EPS sin drenaje, como resultado de una inmersión completa, se estima como máximo en un 5% en volumen. Esto se ha convertido en el requisito establecido en las nuevas normas CEN. El valor práctico en cimentaciones de EPS con drenaje, sólo alcanza la mitad de ese valor (tabla 8).

En los cálculos prácticos de mecánica de suelos, se utiliza un valor de cálculo del EPS con una densidad aparente de 100 kg/m^3 .

Absorción de agua (en volumen)	Tipo de EPS					
	15	20	25	30	35	40
Sin drenaje	5,0	5,0	5,0	2,5	2,5	2,5
Con drenaje	2,5	2,5	2,5	1,25	1,25	1,25

Tabla 8: Absorción de agua en porcentaje en volumen

3.2.2.2 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DE VAPOR DE AGUA

Aunque la magnitud de la resistencia a la difusión de vapor de agua no es muy importante para las aplicaciones del EPS en el sector de la ingeniería civil, en el conjunto de las aplicaciones en construcción tiene alguna importancia, por ello este valor se recoge en la tabla 9.

Coeficiente de resistencia a la Difusión de vapor de agua	Tipo de EPS					
	15	20	25	30	35	40
μ	20	30	40	60	90	120

Tabla 9: Coeficiente de resistencia a la difusión de vapor de agua

3.2.3 COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO

La inflamabilidad del EPS no es relevante para las aplicaciones en el sector de la ingeniería civil debido a que se encuentra integrado entre varias capas de material no inflamable. Por tanto, la calidad del EPS denominada "normal" o "estándar" es suficiente (M4 según UNE 23727).

Durante el proceso de construcción, debe tenerse en cuenta que el EPS es inflamable (clase M4 según la norma UNE 23727). Por tanto, no debe almacenarse en lugares donde se realicen operaciones en las que se utilice fuego o produzcan chispas.

En ocasiones se utiliza el EPS en su versión modificada retardadora de la llama, el EPS de clase M1 según UNE 23727. El EPS se clasifica como de clase M1 o M4 en relación con su "contribución a la propagación de la llama", medida de acuerdo con la norma UNE 23727. El EPS estándar es suficiente para las aplicaciones normales.

3.2.4 DURABILIDAD

Tanto en el campo de la aplicación de aislantes como en el sector de la ingeniería civil, se ha demostrado que el EPS no envejece. Incluso al cabo de un largo período de tiempo, el material conserva sus propiedades características.

En una fecha tan temprana como 1985, una empresa de consultoría independiente (referencia 6) llegó a la conclusión de que "el EPS, después de haber estado en el terreno durante 14 años, sigue satisfaciendo los requisitos para su aplicación y resulta evidente que las estructuras requieren menores operaciones de mantenimiento que las estructuras tradicionales".

3.2.5 RESISTENCIA A LOS PRODUCTOS QUÍMICOS

En la tabla 10 se indica la resistencia (o la falta de resistencia) del EPS a determinadas sustancias. Esto pone de manifiesto que cuando se utiliza en estructuras de pavimentos tiene que protegerse de la gasolina, gasóleo y otros disolventes que pudieran infiltrarse a través de la estructura. Esto se puede conseguir fácilmente colocando una lámina protectora sobre el EPS.

Substancia	Resiste	Resiste condicionalmente	No resiste
Acetona			*
Alcohol	*		
Amoniaco	*		
Anhídrido	*		
Bitumen asfáltico		*1)	
Cemento	*		
Cloro	*		
Aceite para freír/ensaladas			*
Creosota		*2)	
Gasóleo			*
Gasolina			*
Cola		*2)	
Ácido clorhídrico al 35%	*		
Peróxido de hidrógeno	*		
Keroseno			*
Cal	*		
Magnesita	*		
Metales	*		
Microorganismos	*		
Ácido nítrico al 50%	*		
Pinturas		*2)	
Pentaclorofenol		*3)	
Escayola	*		
Plásticos ⁵⁾	*		
Jabón	*		
Disolventes			*3)
Ácido sulfúrico al 95%	*		
Alquitranes			*
Turpentina			*
Radiación UV	*4)		
Vaselina		*2)	
1) Durante un tiempo muy breve, si la temperatura de contacto no es superior a 100°C/212°F 2) Cuando los disolventes se han evaporado por completo 3) Por ejemplo, como solución de bitumen asfáltico 4) Si la exposición no es permanente 5) Sin ablandadores			

Tabla 10: Resistencia a los productos químicos

3.3 PROPIEDADES RELATIVAS AL MEDIO AMBIENTE

Se ha realizado un amplio estudio de las propiedades del EPS relativas al medio ambiente. Se puede encontrar una descripción completa en www.anape.es. En resumen, el EPS tiene las siguientes características básicas relativas al medio ambiente:

- El EPS está y siempre ha estado exento de CFC.
- El EPS es económico (2% de poliestireno, 98% de aire).
- Se hace un uso económico de las materias primas: aproximadamente sólo es necesario el 0,15% del consumo total de petróleo en Holanda para toda la industria del EPS.
- El pentano, el agente de expansión utilizado para producir el EPS, es inocuo para la salud y para la capa de ozono.
- El EPS es neutro para las aguas subterráneas.
- El EPS no es sensible a la humedad, no se pudre ni es atacado por los hongos y no ofrece ningún atractivo nutricional para los animales.
- Se evitan los residuos mediante planes de reciclaje y políticas del producto aplicados en las fábricas.
- Se puede reciclar el 100% del EPS independientemente de que esté limpio o sucio.
- El EPS se puede reciclar mecánicamente hasta 5 veces.
- Los residuos de la fabricación del EPS se reutilizan internamente.
- El EPS usado se vuelve a procesar convirtiéndolo en material para mejorar el suelo, aditivo para el sector del hormigón ligero, materia prima para artículos nuevos fabricados con espuma de estireno dura y, en algunos casos, materia prima para la industria petroquímica.
- El sector del EPS participa activamente en numerosas iniciativas medioambientales y de reciclaje nacionales, europeas y de alcance global.

3.4 PROPIEDADES RELATIVAS A LA HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

El EPS no constituye un peligro para la salud ni emite partículas nocivas y por tanto no requiere el uso de equipos de protección personal durante su utilización. Además, el material es higiénico y no tóxico.

3.5 RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL

Las propiedades mecánicas y físicas del EPS más importantes se resumen de nuevo en la tabla 11, por lo que se refiere al sector de la ingeniería civil.

Propiedades del material	Magnitud		Tipo de EPS				
			III	IV	V	VI	VII
	Notación	Unidad	15	20	25	30	35
Peso por unidad de volumen (nominal) para identificación	ρ	Kg/m ³	15	20	25	30	35
Coefficiente de conductividad térmica	λ	W/m.K	0,039	0,036	0,035	0,034	0,033
Número de resistencia a la difusión	μ	-	20	30	40	60	90
Resistencia a la compresión requerida para un 10% de deformación	σ_{10}	Kpa	60	100	130	165	200
Resistencia a la compresión a corto plazo	σ_{10}	Kpa	80	120	170	210	260
Resistencia a la compresión a largo plazo	σ_{10}	Kpa	20	30	40	50	60
Resistencia a la flexión	σ_{10}	Kpa	190	270	360	460	570
Resistencia a la tracción	σ_{10}	Kpa	20	280	360	440	520
Absorción de humedad en inmersión completa después de 7 días	% Vol.	-	1,7	0,6	0,55	0,5	0,45
Absorción de humedad en inmersión completa después de 1 año	% Vol.	-	5,0	4,0	3,8	3,5	3,3
Coefficiente de dilatación lineal	α	m/m	$7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$
Coefficiente de rozamiento	C	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Calor específico	C	J/kgK	1500	1500	1500	1500	1500
Resistencia a la temperatura (mínima/máxima)	T	-	-110/+70	-110/+70	-110/+70	-110/+70	-110/+70
Resistencia temporal a la temperatura máxima	T _{Max}	-	+110	+110	+110	+110	+110
Módulo de elasticidad	E	kpa	4000	6000	8000	10000	12000

Tabla 11: Recapitulación de las propiedades del EPS

4. EXPERIENCIAS EN HOLANDA

Años de experiencia en todo el mundo utilizando EPS en el sector de la ingeniería civil y una intensiva investigación del comportamiento del material a lo largo del tiempo han demostrado que las propiedades del EPS se conservan en la práctica. Por tanto, en este capítulo se examinan diversos proyectos y los resultados de las investigaciones. Lo que se ha examinado especialmente ha sido el comportamiento del EPS como material ligero para fundaciones en relación con sus propiedades físicas y mecánicas en proyectos realizados en Holanda.

4.1 ESTRUCTURAS DE TRANSICIÓN: RAMPAS DE ENTRADA Y SALIDA, PASOS ELEVADOS

Hardinxveld-Glessendam (referencia 7)

En 1984 se estaban buscando materiales de relleno ligeros para la cimentación de la rampa de acceso a la carretera del dique de Hardinxveld-Glessendam debido a la reparación de diques de arena que constantemente se estaban agrietando y asentando. La carretera tenía que estar situada sobre una parte de terreno que flota en 8 metros de turba. Una rampa rellena con arena (incluso arena con una capa de baja densidad) habría causado constantes problemas. La rampa se había hundido 3 m en 30 años, había empujado lateralmente el terreno e iba a producir daños en un edificio industrial cercano.

Se encontró una solución bajo la forma de grandes bloques de EPS de 0,5 x 0,1 m y de 4 m de longitud que sólo pesaban 40 kg. En total, se apilaron aproximadamente 5.000 m³ de bloques de EPS pegados entre sí. Todo se hizo a mano, ya que no fue necesario el uso de máquinas. Se colocó una lámina sobre la pila con una "capa de compresión" de 1,1 m de grosor y la superficie de la carretera encima de esa capa. Después de un año de tráfico intenso y de un invierno riguroso, la rampa se comportó mejor de lo que se había esperado.

En contraste con la carretera del pólder, ya desgastada y vuelta a pavimentar, la rampa se conservó en el mismo estado que tenía cuando fue construida.

Una coincidencia afortunada fue que la rampa se pudo construir con una pendiente mucho más acusada que una de arena, por ser la estructura rígida y no poder desviarse.

Uithoorn (referencia 8)

En Uithoorn era necesario elevar la rampa de paso de una pista de bicicletas a un puente. En la proximidad inmediata del puente había cimentaciones de pilotes y estaba previsto el paso de un canal. Por tanto, una elevación pesada tradicional habría provocado problemas relacionados con el asentamiento de los cables y el rozamiento negativo de los fustes en las cimentaciones de pilotes.

Una estructura de 1985 con 660 m³ de EPS resultó ser la solución más económica, dadas las limitaciones existentes. El comportamiento de la estructura fue excelente. El tráfico intenso durante la construcción no causó prácticamente ningún daño al pavimento y el asentamiento que se produjo fue extremadamente pequeño.

Rotterdam (referencia 9)

Cerca de Rotterdam, la autopista provincial S22 de Rotterdam (Doeckade) y la autopista nacional A13 se cruzan por medio de rampas de entrada y salida y de un paso elevado. Es sabido que las diferencias en asentamiento se ponen de manifiesto por sí mismas, sobre todo cuando un cuerpo de carretera está conectado con una obra estructural.

Una de las mejoras sugeridas se refería al uso de materiales de relleno ligeros en la sección de la carretera que conecta directamente con el cuerpo estructural sobre pilotes. En relación con la nueva sección proyectada, fue necesario ensanchar la conexión varios metros y también elevar la carretera de 1,5 a 2 m. Esto tenía que hacerse también con la sección de la carretera comprendida entre el paso elevado sobre la A13 y la losa enterrada.

En 1988, los proyectistas eligieron el EPS como el material de relleno ligero adecuado para impedir futuros asentamientos. El tráfico tenía que mantenerse durante la ejecución de la obra. En estas circunstancias, la estructura que se podía construir con mayor rapidez era una con EPS.

En total, se incorporaron manualmente unos 6.000 m³ de EPS. Los bloques median 3 x 1,2 x 0,5 m y se utilizaron bloques de EPS-20 para el fondo de la estructura de la carretera y de EPS-30 para las capas superiores debido a su capacidad de distribución de la carga ligeramente mayor. Los bloques se colocaron contiguamente y se utilizaron dos conexiones por bloque entre las distintas capas para contrarrestar el desplazamiento relativo entre unos y otros durante la fase de construcción. El EPS se cubrió con una lámina y una capa de arena de 0,3 m de espesor, sobre la que se aplicó una mezcla granulada y el asfalto. Un año después, prácticamente no se pudo detectar ningún asentamiento, mientras que el asentamiento de las rampas de entrada y salida de la A13, medido desde la losa enterrada, iba aumentando gradualmente.

Se espera que no será necesario ningún mantenimiento durante mucho tiempo. El aumento de los costes a causa del relleno con EPS se recuperará gracias a la enorme reducción de los costes de mantenimiento. La solución ofrece otras ventajas en cuanto al confort y seguridad del tráfico.

Gouda (referencia 10)

En mayo de 1987, la rampa de entrada, incluida una pista para bicicletas separada, al cruce del ferrocarril de Zwarteweg en Gouda fue objeto de un ensanchamiento. El lugar de la obra era estrecho y estaba rodeado por un gran número de edificios. Además, la capacidad de carga del terreno era pequeña y se pretendía perturbar el tráfico lo menos posible. Se determinó que la obra, que debía ejecutarse bajo la supervisión de los ferrocarriles holandeses, podía realizarse con bloques de EPS de 0,4 m de espesor. De esta manera, no sólo se llevó a cabo la obra con gran rapidez, sino que gracias al EPS fue posible evitar el asentamiento y la presión lateral sobre las cimentaciones. La estructura sigue siendo muy lisa y sólida.

4.2 PAVIMENTOS Y ARCENES

Reenwijk (referencia 11)

Las carreteras del municipio de Reenwijk pasan a través de una zona cuyo subsuelo es sensible al asentamiento y tiene poca capacidad de carga. Requieren mucho trabajo de mantenimiento en el pavimento y en los arcenes.

En 1983, se emprendió un proyecto de prueba con ayuda de EPS. Era necesario elevar una sección del dique de Nieuwenbroakse debido al hecho de que sólo estaba 20 cm por encima de la superficie de los lagos circundantes y se inundaba periódicamente. La estructura existente tenía un espesor de 55 cm y consistía en capas de material de derribo, lava, escoria y asfalto. Para la nueva estructura, se eligió un material mucho más ligero: EPS en dos capas formadas por bloques de 1 x 4 m de 25 cm de espesor. Encima de ellas se colocó un revestimiento de carretera y una capa de compresión de escoria de espuma. Los arcenes, de los cuales también se había quitado el pavimento antiguo, se rellenaron con arcilla y EPS, añadiendo además el revestimiento, la escoria de espuma y la protección de la orilla del río. Dos capas de asfalto aplicado en caliente de 12 cm de espesor cada una, formaron la capa superior de la estructura de la carretera. La superficie del nuevo pavimento quedó así 80 cm por encima del nivel del agua. Varios meses después, todo indicaba que sólo se había producido un asentamiento muy ligero y que se habían formado surcos, pero el pavimento no había sufrido daños. También se determinó que los arcenes se encontraban en buenas condiciones. En un análisis que cubría un período de 15 años, se llegó a la conclusión de que la nueva estructura era mejor y que debido a la gran reducción de los costes de mantenimiento de la estructura utilizando EPS, también era más económica que estructuras "ortodoxas" desde el punto de vista de los resultados finales.

Wijchen (referencia 8)

La autopista provincial S110 cerca de Wijchen se había asentado en un tramo de 60 m aproximadamente con un asentamiento máximo de 33 cm. Exactamente en el centro de la sección de la carretera que había cedido, sobre una alcantarilla, la carretera se había asentado 25 cm.

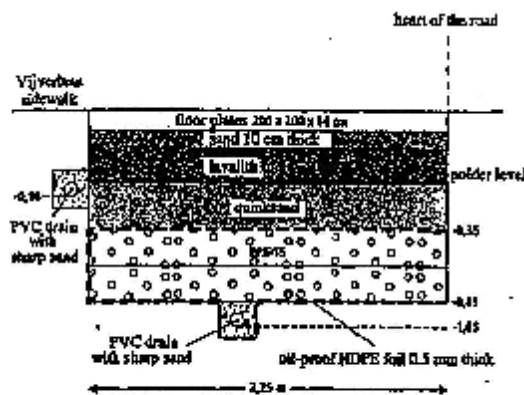
Se imponía una elevación, ya que la situación era peligrosa para el tráfico. De haberse hecho una elevación tradicional, se habrían producido nuevos asentamientos. Por esta razón, se decidió utilizar EPS para la elevación. Al principio, durante la ejecución, surgieron algunos problemas para conseguir la estanqueidad dinámica entre el cemento de arena y la cimentación. En la actualidad, siete meses después de terminarse la obra, la carretera reconstruida se encuentra en perfecto estado. No se ha producido ningún asentamiento.

Krimpen aan den IJssel (referencia 12)

El lugar previsto para la construcción en el distrito de Lansing-Zuid de Krimpen aan den IJssel se encuentra en una zona de polder de turba muy húmeda, con un acuífero muy alto. Además, a lo largo de la carretera de acceso del distrito, que supuestamente se iba a construir con ayuda de EPS a principios de 1996, corría una acequia de polder que tenía también un nivel del agua subterránea muy alto.

Para evitar el asentamiento de la carretera y para poder ejecutar el proyecto rápidamente, se eligió una estructura con dos capas de EPS-15 y una capa de EPS-20 de 0,25 cm de espesor. La cantidad total de EPS (aproximadamente 1.500 m³) se envolvió en una lámina y se colocó flotando en el agua subterránea. Mediante un elaborado sistema de drenaje, se aseguró que el acuífero no volvería a sobrepasar un determinado nivel.

La estructura se cubrió con escoria de lava y pavimento. El proyecto completo se terminó en dos semanas.



Cross-section of the road.

4.3 CAMPOS DE DEPORTES

Campo de deportes de Durgedam, Amsterdam (referencia 8)

Para recuperar el campo de deportes, era necesario elevarlo. Debido a las pobres condiciones del suelo de turba, los métodos tradicionales darían por resultado asentamientos y diferencias de asentamientos que tendrían como consecuencia trabajos adicionales de mantenimiento del campo de deportes.

En 1971, se instaló debajo del campo de hierba un EPS con una calidad de drenaje especial desarrollada específicamente para este proyecto. La acción de drenaje es debida a la especial estructura laberíntica de este tipo de "EPS de drenaje". El campo se elevó a 15 cm, parcialmente mediante bloques de EPS de 2,20 x 1,10 x 0,15 m.

Aunque el EPS está medio sumergido en el agua subterránea, el campo sigue estando en condiciones excelentes al cabo de quince años. La experiencia demuestra que en estas áreas se tiene que hacer una renovación completa en un plazo de diez años típicamente. Esto resultó ser totalmente innecesario, por lo que la solución elegida ha constituido también una ventaja económica.

Gouda y Rotterdam (referencia 13)

Los dos campos de deportes de Gouda y Rotterdam se encuentran situados en áreas con terreno muy blando y deficientemente drenado que es sensible al asentamiento. Era necesaria una elevación para hacer bajar el nivel del agua subterránea. Placas de EPS formaron la cimentación para el terreno elevado. Esta solución resultó excelente. La renovación completa de los campos en el futuro ya no será necesaria. Se extrajeron planchas de EPS de ambos campos de deportes ocho y catorce años después para realizar estudios adicionales y evaluar el estado, y por tanto la durabilidad del EPS cuando se saca del terreno. El material no había sufrido daños causados por animales y se encontraba en las mismas condiciones que tenía cuando se enterró. En el terreno alcalino y arenoso de Gouda, apenas se pudieron detectar depósitos de hierro en las planchas. Esto se observó también en Rotterdam donde las planchas estaban colocadas sobre suelo ácido rico en hierro.

También se encontraron en las planchas raíces de árboles. Sin embargo, los depósitos de hierro y el crecimiento de raíces pueden evitar fácilmente envolviendo el EPS con una lámina. La cantidad de agua absorbida fue mayor de lo esperado, pero esto se atribuyó al hecho de que las planchas utilizadas ("planchas de drenaje") se colocaron intencionadamente con más espacio hueco.

Por consiguiente, se llegó a la conclusión general de que se habían construido estructuras duraderas utilizando EPS como material de cimentación y drenaje para campos de deportes y que el material no envejece. El EPS extraído seguía satisfaciendo los requisitos establecidos para esta aplicación. Además, es evidente que la estructura requiere menos trabajos de mantenimiento que otras estructuras tradicionales similares.

4.4 PAVIMENTOS EN ZONAS RESIDENCIALES

Aarlanderveen, municipio de Alphen aan de Rijn (referencia 8)

Comenzando en 1974, la zona residencial se preparaba para la construcción por fases utilizando el método de zanjas (cunetas). En 1977 y 1980, la zona se elevó y se volvió a elevar debido a que el asentamiento alcanzaba la cifra de 30 a 40 cm. Un estudio de mecánica del suelo realizado en 1982 indicó que se iba a producir un asentamiento adicional de 1,30 m aproximadamente, si se seguía haciendo el relleno con arena de las cimentaciones de los edificios de viviendas. Fue necesario impedir asentamientos adicionales haciendo una reconstrucción con EPS en marzo de 1983. Esta estructura resultó ser extraordinariamente satisfactoria. Desde esa fecha no se ha producido ningún asentamiento.

Rotterdam (referencia 8)

Con objeto de mantener el dique en el nivel apropiado, el Zestienhovensekade de Rotterdam se tuvo que rellenar en fechas pasadas una y otra vez con material de relleno tradicional pesado. Esto comenzó a poner en peligro la estabilidad del dique.

En primer lugar, el asentamiento era importante y continuo. En segundo lugar, cierto número de bloques de viviendas se estaban desviando en la dirección del polder. Uno de esos bloques se había desviado aproximadamente 2 metros en el transcurso de los años.

La estabilidad del dique se aumentó en 1985 sustituyendo parte del material de relleno pesado por materiales ligeros, incluidas perlas de arcilla expandidas y EPS (2.600 m³). Estos materiales se instalaron en el exterior del muro de contención del dique. El lecho del dique ha quedado liberado de cargas hasta tal punto mediante el uso de materiales ligeros, que la solución ha alcanzado plenamente el objetivo pretendido.

Capelle aan den IJssel (referencia 8)

Hasta la fecha, éste ha sido el proyecto de ingeniería civil en el que se ha utilizado una mayor cantidad de EPS, 80.000 m³. El distrito de Oostgarde de Capelle ha tenido enormes problemas de asentamiento durante muchos años.

El distrito sólo se podía salvar mediante una elevación local de 0,5 m y disminuyendo preferiblemente la carga sobre el sustrato. Esto sólo se podía conseguir con EPS. Debido al hecho de que el conjunto de bloques de EPS estaba totalmente sumergido en agua subterránea, era necesario impedir su flotación. Se adoptaron medidas especiales para la gestión del agua, de manera que fuera posible reducir el nivel del agua subterránea en el futuro.

El proyecto fue un éxito completo: la seguridad del distrito de Oostgarde ha quedado garantizada para el futuro gracias al uso de EPS.

4.5 APLICACIÓN ENCIMA DE LÍNEAS SUBTERRÁNEAS EXISTENTES

Nieuwegein (referencia 8)

En 1985, fue necesario hacer una elevación en el Lekboulevard de Nieuwegein, donde era necesario salvar las líneas de gas existentes. Una elevación encima de una línea de gas enterrada, no puede causar en ningún caso un incremento de la carga sobre la línea de gas. Un aumento del peso del terreno encima de una línea de gas enterrada reduciría inaceptablemente la seguridad de la línea desde el punto de vista de las posibles fracturas.

Por esta razón, se eligió una estructura formada por bloques de EPS de 3 x 1 m de 50 cm de espesor. El estado de la estructura parece ser muy satisfactorio. No existe riesgo de rotura de la línea a causa de la elevación.

Mijdrecht (referencia14)

En 1993, un tubo de alcantarillado a presión enterrado iba a ser cruzado diagonalmente por una nueva carretera. Para evitar que el pavimento y el tráfico que éste soportaría ejerciera presión sobre la línea causando posiblemente roturas y fugas, se eligió una estructura de puente de vigas de hormigón pretensado apoyadas en contrafuertes de resistentes bloques de EPS-30.

De esta manera, la estructura de la carretera pudo salvar la línea de presión enterrada, con objeto de que ambos elementos pudieran asentarse independientemente.

4.6 ESTACIONES DE SERVICIO

Linschoten (referencia 15)

En el verano de 1986, se utilizaron aproximadamente 1.500 m³ de EPS bajo la estructura del pavimento de la nueva estación de servicio de Bijlevel en la autopista A12 entre Gouda y Utrecht.

Por consideraciones de higiene medioambiental, debía tener un pavimento impermeable para evitar que la gasolina derramada penetrase en el terreno.

Aunque el terreno ya se había elevado durante cierto tiempo, se esperaba todavía un asentamiento residual de varias decenas de centímetros. Debido a dicho asentamiento, la impermeabilidad del pavimento no se conservaría y además se esperaba también que las líneas subterráneas comenzasen a tener fugas. Para evitar asentamientos adicionales, la arena del lugar donde estaba previsto colocar el pavimento impermeable se excavó hasta alcanzar una profundidad de 2 m aproximadamente por debajo de la superficie. A continuación se instaló un conjunto de bloques de EPS de 1,5 m de espesor envuelto en una lámina resistente a productos químicos, a manera de protección contra a cualquier combustible que pudiera infiltrarse a través de la estructura del pavimento.

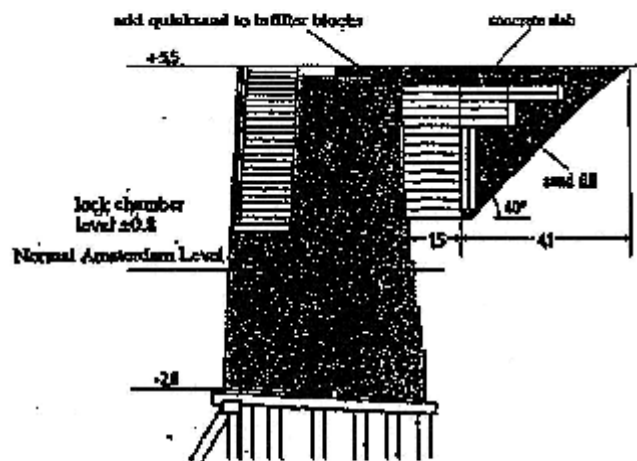
Encima de esto se colocó una losa de hormigón de 10 cm para proteger cables y tubos, seguida por una capa de arena de 60 cm en la que se tendieron dichos cables y tubos. Encima de todo esto se colocó una cimentación formada por un lecho de ladrillos y el pavimento impermeable.

La experiencia con esta estructura fue tan positiva que un año más tarde, se volvió a utilizar EPS en una nueva estación de servicio que se construyó en Maasboulevard en Rotterdam (2.600 m³).

4.7 APLICACIONES ESPECIALES

Aeropuerto de Valkenburg, South Holland (referencia 16)

En 1992, se instalaron enormes depósitos de queroseno en el terreno que rodea el aeropuerto de Valkenburg. Para evitar que los depósitos estropearan el paisaje, se desarrolló una estructura estática capaz de mantenerse sobre el terreno con la menor capacidad de carga. La elección recayó en la construcción de un cuerpo de dique con la ayuda de 6.000 m³ de bloques de EPS-15 (modificado para que fuese capaz de retardar la llama), colocando encima terreno. De esta manera, no sólo se creaba una estructura que tenía una relación visual con el paisaje, sino que además la estructura no se asentaría y no ocasionaría deformaciones laterales indeseables del suelo.



Renovation of the Great Lock in Vianen

Vianem (referencia 17)

La renovación de la gran esclusa de Vianem en 1996 estaba especialmente destinada a liberar la presión lateral del suelo sobre las paredes de ladrillo de la esclusa que era debida a la carga que tenía que soportar desde arriba.

Se retiró el terreno existente y fue sustituido por casi 3.000 m³ de bloques de EPS-15 y EPS-20 junto con arena que se cubrieron con una losa de hormigón de 0,2 m y con el pavimento de la calle.

5. DISEÑO, ESPECIFICACIONES Y EJECUCIÓN

Una estructura que incorpore EPS tiene que satisfacer los mismos requisitos que la construcción pesada tradicional por lo que se refiere a resistencia, rigidez y durabilidad. Esto significa que la durabilidad del diseño tiene que ser la misma que la durabilidad de la obra. Además, cuando se utilizan estructuras de EPS en ingeniería civil, es necesario tener en cuenta las propiedades especiales del material. En el procedimiento de ingeniería civil e hidráulica para el diseño de estructuras que utilizan EPS como material de relleno ligero, se pueden distinguir los pasos siguientes (referencia 18).

Los números corresponden a los párrafos que se incluyen a continuación:

- 5.1 Programa de requisitos: determinación de las hipótesis, condiciones previas y preparación provisional de la estructura.
- 5.2 Estimación del equilibrio: control del equilibrio de la mecánica del suelo, en la cual se hacen estimaciones relativas a asentamiento, estabilidad y vigilancia, en relación con la flotación.
- 5.3 Control de la duración de la construcción.
- 5.4 Diseño definitivo: detalles de la estructura, preparación de las especificaciones y preparación de la ejecución.

En este capítulo se indican directrices específicas dentro del marco del sistema de la RAW (Fundación para la racionalización y automatización de la construcción de carreteras en Holanda) y la mejor manera de construir una estructura de ingeniería civil utilizando EPS.

5.1 PROGRAMA DE REQUISITOS

En la primera fase del procedimiento de diseño, es necesario establecer las hipótesis y condiciones previas para el diseño, que son las que se indican a continuación:

ESTADO DEL SUELO Y GESTIÓN DEL AGUA

- ¿A qué altura se encuentra la superficie existente y qué irregularidades tiene?
- Reunir datos sobre las condiciones del suelo por medio de un estudio de mecánica del suelo: construir el perfil del suelo, peso por unidad de volumen y espesores de las diversas capas, sensibilidad al asentamiento e historia de la mecánica del suelo (¿se han producido asentamientos con anterioridad?)
- Determinar los niveles de los acuíferos que son tolerables en relación con los niveles de agua libre, niveles de agua medio, máximo y mínimo (terreno) y frecuencia con la cual se presentan.

REQUISITOS PARA LA ESTRUCTURA

- Determinar las dimensiones de la estructura en relación con la futura función.
- Especificar los requisitos de resistencia, rigidez y durabilidad para la construcción relacionados con la carga esperada durante la vida del diseño.
- Establecer el asentamiento residual aceptable para la estructura, dependiendo de su ubicación y función.
- Tener en cuenta la congelación y el deshielo durante los períodos de bajas temperaturas, ya que están relacionados con pérdida de resistencia y estabilidad.

CABLES Y TUBERÍAS

- El tendido de líneas de servicio encima o debajo del EPS, requiere un cuidado adicional en relación con la accesibilidad y la posibilidad de observar posibles fugas en el momento oportuno.
- Asegurar una cobertura del suelo suficiente para impedir daños mecánicos y por congelación, si las líneas se tienden sobre el EPS.
- Proteger el EPS contra daños mientras se realizan trabajos en las líneas.

MATERIALES A UTILIZAR

- Determinar la calidad del EPS que se debe utilizar y los materiales adicionales evaluando las propiedades mecánicas de estos distintos materiales.
- Tomar una decisión (provisional) respecto a los materiales a utilizar.
- Elegir una configuración provisional para la estructura

5.2 ESTIMACIÓN DEL EQUILIBRIO

La configuración provisional de la estructura seleccionada es el punto de partida para estimar el equilibrio vertical. Para hacer esto, es necesario considerar el espesor de la capa de EPS y el asentamiento y la flotación de la estructura. También es necesario garantizar la estabilidad de las pendientes. Esto tiene una importancia especial cuando se trata de la construcción de diques y terraplenes de tierra.

ESPESOR DE LA CAPA DE EPS

- Calcular los esfuerzos granulares en el subsuelo, por lo que se refiere al asentamiento aceptable, comparando el peso del suelo que se tiene que excavar con el peso de la nueva estructura que se va a instalar; el esfuerzo granular en el subsuelo situado debajo del EPS no puede ser mayor que el esfuerzo granular existente antes de instalar la estructura.

CONTROL DEL ASENTAMIENTO

- Comprobar los esfuerzos: se puede hacer la hipótesis de que los esfuerzos presentes no pueden superar los límites de esfuerzo establecidos; si es admisible un ligero asentamiento, la estructura puede inducir cierta carga adicional.

- Determinar la magnitud de la carga: si el subsuelo se ha sometido a una carga previa, por ejemplo, debido a elevaciones anteriores, puede ser necesario liberar la carga sobre el subsuelo para evitar asentamientos adicionales; la magnitud de la carga tiene que ver, entre otras cosas, con la magnitud de la (pre)carga aplicada, el asentamiento esperado y el asentamiento que ya se ha producido; en los cálculos se utiliza normalmente una densidad aparente de 100 kg/m^3 que es un valor seguro que nunca se superará en la práctica.

LO QUE SE TIENE QUE COMPROBAR RESPECTO A LA FLOTACIÓN

- Comprobar si la construcción podrá flotar, si el EPS estará total o parcialmente sumergido en el acuífero: la estructura no flotará si es más pesada que la máxima fuerza ascensional presente (se debe suponer el nivel más alto concebible del agua subterránea)
- Incluir un factor de seguridad, de manera que la estructura sea, por ejemplo, 1,2 veces más pesada que la fuerza ascensional máxima.
- Tener en cuenta un proceso de construcción por fases: incluso cuando la estructura no esté todavía terminada y no haya alcanzado por tanto el peso final, no puede haber peligro de flotación; en los cálculos pertinentes se debe suponer una densidad mínima del EPS ($15, 20$ o 25 kg/m^3).

ESTABILIDAD

- Aunque la estabilidad de las pendientes se ve influenciada positivamente por el uso de EPS (menores fuerzas de empuje para que se produzca deslizamiento) es necesario prestar atención a la adherencia entre el EPS y otros componentes estructurales, para que la estructura no pueda deslizarse hacia abajo.
- Por ejemplo, comprobar el efecto del deslizamiento de una estructura respecto a la estructura total, la resistencia a los bloques de hielo flotantes y a los choques con barcos.
- Tomar medidas para evitar que el agua subterránea fluya entre el suelo y el EPS, ya que la corriente arrastra partículas de suelo y pone en peligro la estabilidad de toda la estructura.

5.3 DURABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

Debe evaluarse la durabilidad de la construcción cuando se somete la estructura a una carga estática (su propio peso) y a una carga dinámica (por ejemplo, tráfico).

- Es necesario asegurarse de que la durabilidad de la construcción de una estructura en la que se utiliza EPS será, en cualquier caso, igual como mínimo a la de una construcción pesada tradicional.
- Es necesario prestar atención a la vida teórica por lo que se refiere a la fatiga debida a una carga dinámica.
- Es necesario tener en cuenta la influencia del EPS en las vibraciones en la estructura y en el subsuelo; las vibraciones en la estructura se hacen generalmente más severas a medida que disminuye el peso de la estructura.
- Se recomienda normalmente aplicar una cimentación ligeramente ligada al EPS con objeto de obtener una cimentación rígida y capaz de soportar carga.

5.4 DISEÑO DEFINITIVO

Al hacer el diseño definitivo para una estructura de ingeniería civil utilizando EPS, es necesario prestar una atención especial a los puntos en los cuales dicha estructura presenta diferencias con la construcción tradicional.

VARIACIÓN DE TEMPERATURA

- Tener en cuenta las propiedades térmicas del EPS: el intercambio de calor entre el subsuelo y la estructura del pavimento se ve restringido por el EPS aislante, por lo que la superficie del pavimento puede estar algo más caliente que en las estructuras tradicionales durante el verano debido al sol y algo más frío durante una intensa ola de frío; considerando los espesores normales de las estructuras en Holanda, que incluyen como mínimo 50 cm de otro material encima del bloque de EPS, estas ligeras variaciones de temperatura no tienen influencia sobre la durabilidad del diseño.

- Tener en cuenta una profundidad de penetración de las heladas modificada: el paquete completo encima de EPS puede congelarse durante una ola de frío (hay que pensar en los cables y en las tuberías), mientras que debajo del EPS, la temperatura permanecerá casi siempre por encima del punto de congelación debido a una alimentación constante de calor geotérmico procedente de abajo y al aislamiento térmico situado encima.

DRENAJE

- Con la excepción de productos especiales con fines de drenaje en campos de deportes, por ejemplo (consulte el capítulo 5), el EPS utilizado en el sector de ingeniería civil no es poroso; por tanto, el agua de lluvia que llega a la estructura tiene que drenarse.
- Debe examinarse el efecto del EPS en el curso de la tabla de agua, especialmente en diques y grandes elevaciones para evitar que la estructura se debilite o se haga inestable a causa de grandes flujos del acuífero.

PROTECCIÓN DEL EPS

- Es necesario proteger el EPS contra daños causados por gasolina y otros derivados del petróleo colocando encima del EPS una lámina resistente a estos productos, especialmente si el EPS se cubre con un pavimento de hormigón y tiene que soportar mucho tráfico lento y vehículos (camiones) parados, si puede penetrar en la estructura de gasolina o gasóleo; en caso necesario, tiene que envolverse por completo el EPS con una lámina protectora de ese tipo.
- Para evitar daños en la lámina protectora debidos a salientes afilados de una cimentación de piedra, lo mejor es colocar debajo de ella una capa geotextil no tejida.

BLOQUES ESTÁNDAR

- Para determinar las dimensiones del paquete de EPS, es necesario tener en cuenta los tamaño estándar de los bloques o planchas de EPS. Esta información la puede facilitar el proveedor del EPS.

5.5 EJECUCIÓN

En la ejecución de obras utilizando EPS, se tendrán también en cuenta las propiedades específicas del EPS.

ALMACENAMIENTO EN LA OBRA (IMPORTANTE)

- El EPS se incorporará lo más rápidamente posible después de haber sido traído a la obra, para evitar problemas y daños durante el almacenamiento.
- Si no es posible incorporar el EPS el mismo día, lo mejor será guardarlo en un espacio cerrado para evitar que lo arrastre el aire o su incendio por un acto de vandalismo.
- El EPS resulta dañado por la luz UV. Aunque este proceso se desarrolla con extrema lentitud, el EPS no debe ser expuesto innecesariamente durante demasiado tiempo a esta influencia, si no se puede almacenar en el interior; como regla general, lo mejor es no mantener el EPS al aire durante más de seis semanas.

PLAN DE LA OBRA

- El contratista preparará un plan de la obra indicando cómo deben colocarse los bloques o planchas de EPS unos respecto a otros; esto evitará pérdidas innecesarias de material y el cliente tendrá seguridad de que el EPS se apilará cuidadosamente prestando atención.
- Es necesario asegurarse de que cada paquete de EPS constará como mínimo de dos capas no teniendo ninguna unión vertical continua a través de todo el espesor, excepto cuando esto sea necesario por determinadas razones.

INSTALACIÓN DE LA LÁMINA GEOTEXTIL

- La lámina geotextil se extenderá sin tensión sobre el EPS para evitar que el tejido se rasgue inmediatamente debido a cualquier deformación pequeña del EPS.
- Se utilizará un diseño flexible cuando se usen EPS y lámina geotextil debajo de una pendiente, para que la pendiente se pueda inclinar alejándose de la carretera sin que la propia carretera adquiera pendiente.

COMPACTACIÓN

- Un subsuelo normal (las capas superficiales de una estructura de ingeniería civil utilizando EPS), deberá compactarse preferiblemente de forma dinámica, por ejemplo, con un compactador vibratorio o con una viga de compactación, teniendo cuidado de que el EPS situado debajo de las capas no sea sometido a sobrecarga.
- Las capas situadas directamente encima del EPS deberán compactarse estáticamente con objeto de no dañar el EPS; en relación con la ligera acción profunda de la compactación estática, deberán instalarse o compactarse las capas situadas encima del EPS en capas más delgadas.

OTROS MATERIALES

- Es necesario asegurarse de que los materiales que se vayan a instalar encima del EPS no sean más pesados, pero tampoco más ligeros, que lo especificado en el diseño; el uso de materiales más pesados puede provocar un asentamiento de la estructura superior al esperado y el uso de materiales más ligeros puede hacer que la estructura flote.

6. APLICACIONES ESPECIALES

En el sector de ingeniería civil no sólo se está utilizando el EPS en cantidades cada vez mayores, sino que además se están desarrollando nuevas aplicaciones para este material tan "flexible".

6.1 PLANCHAS DE DRENAJE

Las planchas de drenaje de EPS son planchas claramente porosas de un espesor comprendido entre 5 y 25 cm, que se obtienen con una densidad muy pequeña (12 kgm^3) y que tienen una permeabilidad al agua de 10 a 12 litros por m^3 por segundo. Es un material especialmente desarrollado por el sector del EPS para elevaciones de la construcción o renovación de una obra sobre suelo débil, como por ejemplo campos de deportes, pistas de tenis, aparcamientos, campos parcialmente pavimentados, pisos de establos y pistas de equitación interiores, campos de hierba artificial y otras aplicaciones comparables (referencia 19).

Las planchas de drenaje ofrecen ventajas que muy pocas estructuras distintas pueden ofrecer:

- El emplazamiento se puede elevar sin aumentar la presión sobre el subsuelo.
- La presión sobre el subsuelo también se puede reducir extrayendo parte del suelo; de esta manera disminuye el riesgo de que se produzca un asentamiento desigual.
- Por otra parte, las planchas de drenaje funcionan como una capa de distribución de presión por lo que también se impide que se produzcan asentamientos diferenciales.
- Si el nivel de las aguas subterráneas aumenta durante un período especialmente húmedo, la capacidad de flotación de las planchas asegura una reducción de la presión ejercida sobre el subsuelo.
- El drenaje del agua de lluvia tiene lugar en toda la superficie, por lo cual, por ejemplo, es posible jugar antes en un campo de deportes, sin que resulte dañado por jugar demasiado pronto como ocurre con los campos de deportes tradicionales sin EPS.
- Durante un largo período de sequía, el riego de un campo de deportes desde abajo por medio de las planchas de drenaje ofrece resultados mucho mejores utilizando menor cantidad de agua que el riego por aspersión.
- Los emplazamientos se hacen más resistentes y ganan capacidad por lo cual, por ejemplo, un complejo deportivo puede estar constituido por un número menor de campos.
- El mantenimiento de los emplazamientos utilizando planchas de drenaje de EPS es bastante limitado; de hecho, la renovación deja de ser necesaria.

Es preferible instalar las planchas sobre una cimentación plana y uniforme. Para conseguir esto, se recomienda aplicar primero una capa de arena de 5 cm. A continuación se colocan las planchas de drenaje contiguamente y también se instala un drenaje. Lo antes posible después de esto, y para evitar que el EPS sea arrastrado por el viento, se vierte encima una capa de suelo y posiblemente de arena.

6.2 PANTALANES, ISLETAS Y JARDINES FLOTANTES

El EPS se aplica en numerosas variaciones en el sector de la ingeniería hidráulica. Verdaderamente, en los últimos años el uso del EPS no ha conocido límites.

PANTALANES (referencia 19)

Los muelles de los puertos para yates, por ejemplo, se hacen normalmente de madera. El problema aquí no son solamente las estructuras soportadas en los extremos, por lo que la madera de los muelles y los pilotes necesarios tienen que ser pesados, sino además que la madera en estos casos también está sujeta a putrefacción, especialmente en la línea de la superficie del agua.

Sin embargo, utilizando bloques de EPS para una cimentación flotante e insensible a la humedad, se puede trabajar con una proporción de madera muy pequeña. Al fin y al cabo, el EPS flota en el agua y soporta el muelle en todos los puntos de la construcción. También es posible construir un muelle con EPS capaz de desplazarse hacia arriba y hacia abajo al cambiar el nivel del agua. Además, el cambio de la disposición de los pilotes es un trabajo sencillo y su acortamiento o alargamiento se puede hacer de manera fácil y barata. El espesor del EPS a utilizar depende del número máximo de personas que se espere que tenga que soportar el muelle.

ISLETAS DE RECREO (referencia 19)

Una isleta de recreo de varios miles de metros cuadrados se puede instalar con bastante facilidad sobre EPS. Normalmente, es suficiente una capa de varias decenas de centímetros de EPS para soportar la totalidad del peso de la isleta incluidos vegetación, personas y edificios. Unas planchas de drenaje de EPS adicionales pueden asegurar también el drenaje correcto del agua de lluvia durante el tiempo lluvioso y un buen suministro de agua durante el tiempo seco.

Los bloques y planchas se encolan "en tierra", se refuerzan y se colocan perpendicularmente unos encima de otros. Después de un tratamiento final con espuma de PUR y después de su endurecimiento, la isleta desnuda se empuja hacia el agua mediante una pala excavadora.

A continuación se instala la capa vista y la capa de retención de tierra de acuerdo con las diversas estructuras posibles.

El anclaje de la isleta se realiza con la ayuda de tubos de madera a través de los cuales se clavan, mediante martillos, pilotes de madera u hormigón o se sitúan los pilotes a la profundidad debida mediante un tubo de propulsión. Por tanto, el movimiento vertical de la isleta debido a cambios del nivel de agua se puede absorber sin ningún problema.

A continuación, se instala en la isleta el suelo y la vegetación. Una isleta de recreo sobre EPS no sólo se puede construir con gran rapidez (una semana con un equipo de cuatro personas), sino que además cuesta mucho menos que la construcción de una isleta de la manera tradicional. Por otra parte, la estructura no tiene nada de definitiva y la isleta se puede mover sencillamente.

JARDINES (referencia 20)

En Holanda, se están construyendo actualmente sobre EPS hasta jardines, aunque (todavía) los motivos son un cierto idealismo poético.

Jasper Grootveld, el "reformador del mundo", ha estado construyendo durante cierto tiempo jardines y pequeñas estructuras sobre conjuntos rellenos con EPS. En su opinión, "la contaminación del aire, la contaminación ambiental y la falta de espacio hacen que la tierra sea cada vez menos atractiva para vivir en ella; ha llegado la hora de explorar el agua". Incluso ve, quizás con un exceso de confianza, el agua de los océanos del mundo como el espacio para vivir del futuro - sobre EPS.

Las imágenes del futuro de Grootveld parecen estar bastante lejos de la realidad diaria, pero gobiernos de naciones de todo el mundo están prestando cada vez más atención a las posibilidades que ofrece el EPS. Vivir en el océano sobre EPS es quizá demasiado ambicioso, pero el ejemplo de Grootveld ilustra perfectamente que casi todo es posible con el EPS.

6.3 PEQUEÑOS PUENTES DE EPS

Otra aplicación especial del EPS en ingeniería civil es la construcción de pequeños puentes utilizando EPS como soporte.

La base está formada por uno o más bloques de EPS de 52 cm de espesor, 1,25 m de anchura y 6,05 m de longitud. Cada uno pesa 80 kg aproximadamente. La superficie tiene 7,8 m². Por cada centímetro de altura, cada bloque tiene una fuerza ascensional de 75 kg. Un bloque admite una carga de 3.750 kg y flota con su superficie superior ligeramente por encima del nivel del agua. Con capas para distribución de la presión de madera contrachapada, por ejemplo, se asegura la distribución uniforme de la carga sobre el EPS. El puente está dotado de barandillas, rampas de entrada y salida (para bicicletas) y se ancla por medio de maromas de amarre. Incluso puede pasar un vehículo por encima de un puente de EPS. Sin embargo, con este fin, es necesario colocar chapas de acero en las rampas de entrada y salida, reforzadas por debajo con vigas de acero. La unión giratoria de las chapas de acero tiene que tener la resistencia suficiente.

Un puente de EPS tiene varias ventajas evidentes:

- La ejecución es especialmente rápida.
- El coste es normalmente sólo una fracción del coste de otras soluciones.
- La retirada de los puentes temporales de EPS es muy sencilla y no deja rastros.
- La reutilización en otros lugares, así como otras adaptaciones, resulta extremadamente sencilla y barata.
- No es necesario el uso de materiales pesados para construir un puente de EPS: el componente más pesado sólo pesa 80 kg y puede ser manipulado fácilmente por dos personas.
- Si es necesario, el puente se puede girar fácilmente para permitir el paso.

6.4 HORMIGÓN LIGERO DE EPS

Como se ha indicado en el párrafo 3.3, mediante su reciclaje, el EPS usado se convierte en una materia prima conveniente para la producción de hormigón aislante ligero (referencia 21).

Añadiendo residuos de EPS molidos durante el proceso de mezcla del hormigón, no sólo se asegura que el hormigón adquirirá excelentes propiedades aislantes, sino que además su peso será especialmente ligero. El hormigón de EPS se está utilizando actualmente en Alemania para la construcción de carreteras (referencia 22).

7. CONCLUSIONES

Las posibilidades que ofrece el uso de EPS en ingeniería civil e hidráulica son casi ilimitadas. Al principio, las ventajas que este material podía ofrecer a los proyectos de ingeniería civil sólo se apreciaron en Escandinavia.

A lo largo de los últimos años, se ha tomado conciencia en Holanda y en los países limítrofes de que debido a la combinación de funcionalidad, rapidez, certidumbre y ventajas económicas, el EPS es uno de los materiales de construcción más atractivos para el sector de la ingeniería civil.

Es un material de construcción y relleno fantásticamente ligero y sólo es necesario tener en cuenta los requisitos de la aplicación, un plan adecuado y una ejecución correcta. Cualquiera que adopte las especificaciones y las ejecute de acuerdo con las normas, pisará terreno firme utilizando el EPS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Conferencia de Regtult-ten Cate, (doc. N° 1112/220.01)
2. "Frost Action in Soils", Norwegian Road Research Laboratory, publicación n° 68, Oslo, agosto de 1993 (doc. n° 1258/220.01)
3. "Litteratuurstudie naar lichte ophoogmateriale" (Estudio de la documentación sobre materiales de relleno ligeros), Ministerio holandés de transportes y comunicaciones o Dirección general de obras públicas, Departamento de ingeniería civil, informe n° W-DWW-93-507 (doc. N°717/220.01)
4. "Polystyrenschuln erkende wegfundering in Norwegen" (Styrofoam: cimentación de carreteras reconocida en Noruega", Wegen, n° 11, noviembre 1985 (doc. N° 353/220.01)
5. "Materials Reseach on EPS", Duskov, M.; TU-Delft 02/94
6. "Deduurzaamheld van EPS in de grond" (La duración del subsuelo de EPS), Tauw, 12/1985 (doc. n° 532/231.05)
7. "Piepschuim tegen bulldozers" (Styrofoam contra excavadoras), De Volkskrant (periódico), 1984, (doc. n° 797/220.01)
8. "Wegen op PS-Hardschuim, een verkervinde studie" (Carreteras sobre espuma dura de PS: un estudio exploratorio). SBR Construction Research Foundation, Rotterdam 1988
9. "Evaringen met PS-Hardschuim in overgangconstructies" (Experiencia con espuma dura de PS en construcciones de transición), PT Civiele Techniek, n° 4 noviembre 1989
10. Información de Stybenex
11. Archivo de Stybenex, número 700/220.01
12. Información de Stybenex
13. "Rapport over de duurzaamheld van PS-Hardschuim in de grond" (Informe sobre la duración del EPS enterrado), proyecto n° 88119.19, Tauw, Deventer, diciembre 1985
14. Información de Stybenex
15. "Toepassingsmogelijkheden van lichte funderingmaterialen (Posibles aplicaciones de materiales de cimentación ligeros), PT Civiele Techniek, n° 2, mayo 1989

16. Información de Stybenex

17. Información de Stybenex

18. "PS-Hardschuim in de CE (Espuma dura de PS en ingeniería civil), Grontmij NV, Ballast Nedam Road Construction BV, T&A 91/005/4/r, Amstelveen, 30 de noviembre de 1991

19. "PS-Hardschuim en drainplaten in de grond en op het water (Espuma dura de PS y planchas de drenaje enterradas y en el agua), Regtult-ten Cate, Oldenzaal 1982

20. "De opkomst van piepchuim als drijvend huls (El aumento del styrofoam como una casa flotante, Het Parool (periódico), 2 de mayo de 1992

21. "Leichtbeton aus EPS Recyclat, eine wiertschafillche Alternative?" (Hormigón ligero de EPS reciclado, ¿una alternativa económica?), BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen, septiembre/octubre 1992

22. "EPS-Beton im Aufwand (Hormigón de EPS y costes), Zement und Beton 3/90

DIRECCIONES DE INTERÉS

- www.engineering.manhattan.edu/civi/faculty/horvath/horvath.html
- Infrastructural Engineering DELFT bu Dr. Ing. Milan Duskov
milan.duskov@iedelft.nl
www.iedelft.nl

LISTA DE ABREVIATURAS

EPS	Poliestireno expandido
CE	Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW), ingeniería civil
RAW	Stichting Rationalisatie en Automatisering in de Wegenbouw (Cimentación para la racionalización y automatización en la construcción de carreteras)
NEN	Nederlandsche Norm (normas holandesas)
KOMO	Sello holandés de aprobación de la construcción
CEN	Commission Européenne de Normalisation, Comisión europea de normalización
KWS	Koolwaterstoffen (programma) (hidrocarburos (programa))
CFK	Gechloreerde Fluorkoolstoff (fluorohidrocarburos clorados)
PS	Poliestireno, styrofoam (plástico duro)
ARBO	Arbeidsomstandigheden (condiciones de trabajo)
UAV	Uniforme Aarbestedingsvoorwaarden (condiciones uniformes de licitación de contratos)

UNA PUBLICACIÓN DE STYBENEX
Vereining van Fabrikanten van EPS® bouwproducten
Asociación de fabricantes de materiales de construcción de EPS®

P.O. Box 2108
5300 CC Zaltbommel
Tel.: 0031 418 513450
Fax: 0031 418 513883
Correo electrónico: info@stybenex.nl

MIEMBROS DE STIBENEX:

Bouwstoffenindustrie Weurt B.V
Weurt Construction Materials Industry Inc.
P.O. Box 31
6850 AA Huissen

IsoBouw Systems bv
P.O. Box 1
5710 AA Someren

Polycel B.V.
Indeling van Kunststoffen/Plastics Division
Nijverheidstraat 16
2802 AL Gouda

Schuipen Schulm/Schulpen Foam
Nijmegen B.V.
Koopvaardijweg 8
6541 BS Nijmegen

Unidek Bouwelementen B.V./
Unidek Construction Elements Inc.
P.O. Box 101
5420 AC Gemert

Nnauf Isol B.V.
P.O. Box 374
4900 AJ Oosterhout



CONSTRUCCIÓN CON EPS