

## Introducción

Styropek ha desarrollado una resina mejorada de poliestireno expandible degradable bajo la marca registrada Biopek®. La nueva espuma Biopek® es un producto que se degrada bajo condiciones de temperatura y humedad que simulan los vertederos biológicamente activos, siguiendo la norma ASTM 5511. Biopek® conserva la performance durante el proceso de moldeo y mantiene todos los atributos del EPS.



**Biopek®, un producto único y sustentable.**

## 1 Propiedades biológicas

### 1.1 Introducción

La fórmula de Biopek®, desarrollada en sus instalaciones de Beaver Valley, Pensilvania, se ha testeado en laboratorios de renombre como Eden Research Laboratories en los EE. UU., e Intertek en la India de conformidad con la norma ASTM D5511 (método de prueba estándar internacional) para determinar el grado y la tasa de biodegradación anaeróbica de materiales plásticos en condiciones anaeróbicas con alto contenido de sólidos.

Nos complace anunciar que los resultados finales de las pruebas de Eden Research Laboratories han mostrado una tasa de degradación de 85% de la muestra de Biopek® durante 3 años y 5 meses (1,293 días).

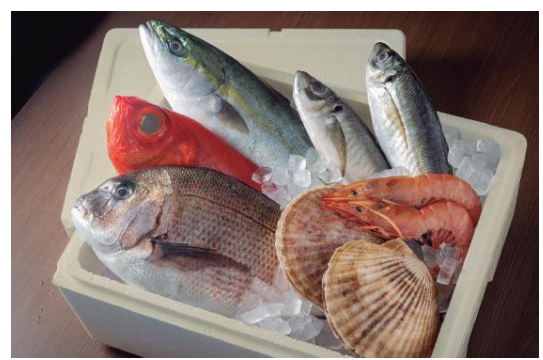
Durante el proceso de biodegradación de la espuma de EPS, la mayor parte de la masa se libera en forma de gases, tanto dióxido de carbono como metano. En el caso de esta prueba, específicamente el 85% de la masa se liberó en gas, y el 15% restante está compuesta por biomasa y agua. Dicha biomasa es materia orgánica y contiene microorganismos muertos, siendo libre de microplásticos según ensayo EPA8015.

Adicionalmente, a modo de comparación, se logró testear que Biopek® biodegrada al mismo nivel que la Celulosa en aproximadamente 900 días siguiendo el método de prueba ASTM D5511.

Para mayor claridad, la norma ASTM D5511 está diseñada para generar un porcentaje de conversión de carbono en una muestra determinada a carbono en su estado gaseoso en las condiciones que se encuentran en los digestores anaeróbicos con alto contenido de sólidos, que tratan residuos sólidos urbanos.

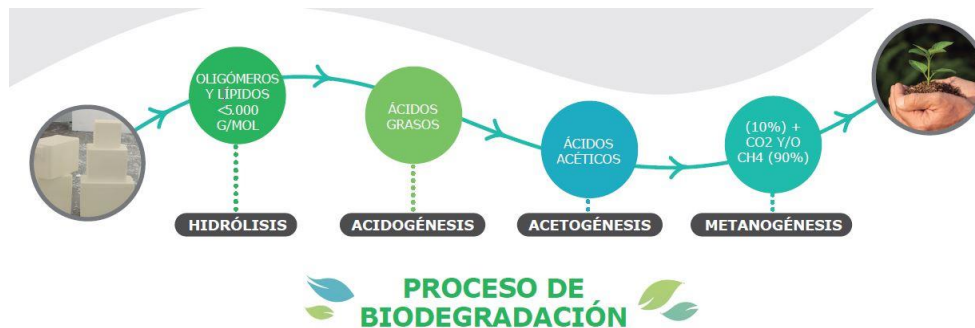
Las condiciones en vertederos sanitarios biológicamente activos donde el gas generado se recupera y la producción de biogás se promueve activamente mediante la inoculación, humedad y la temperatura controlada se asemeja a las condiciones de este estudio. Es importante considerar que las condiciones antes mencionadas pueden no existir en todas las áreas.

Styropek se compromete a simplificar la vida de los clientes y usuarios finales de nuestros productos. Biopek® es nuestra propuesta para presentar un producto degradable mejorado con la huella de carbono más baja, un consumo de agua reducido y el desempeño mecánico que hace del EPS el material de empaque preferido.



## 1.2 Proceso de biodegradación

La tecnología permite degradar el plástico más allá de su nivel superficial. Para lograr esto, permite que los microbios consuman los enlaces entre carbonos (C-C) dentro de la estructura del plástico a nivel macromolecular, lo que aumenta el área de superficie de los productos plásticos y permite que los microbios plastófilos se adhieran a las cavidades recién descubiertas del polímero. Entonces, a diferencia del plástico normal que puede permanecer en un vertedero durante cientos de años, la nueva espuma desarrollada por Styropek atrae a más de 600 tipos diferentes de microbios que lo digieren y consumen de manera efectiva.



Etapas del proceso:

La hidrólisis, la acidogénesis, la acetogénesis y la metanogénesis desempeñan funciones clave en el proceso de biodegradación de Biopek.

### Hidrólisis

En la hidrólisis, el primer paso del proceso de biodegradación, se agrega agua para romper el enlace covalente entre los monómeros que forman los polímeros. En la condensación, el agua se elimina para unir los monómeros. Debido a que se necesita energía para unir monómeros en polímeros, las reacciones de condensación almacenan energía, mientras que la hidrólisis la libera. Normalmente, las reacciones toman esta forma:  $R_1 - R_2 + H_2O \longleftrightarrow R_1 - O + R_2 - H$

### Acidogénesis

La acidogénesis es el siguiente paso de la digestión anaeróbica, durante el cual las bacterias fermentativas producen un ambiente ácido mientras crean amoníaco, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, ácidos grasos volátiles más cortos, ácidos carbónicos y alcoholes, así como trazas de otros subproductos. Si bien las bacterias acidogénicas consumen materia orgánica, la biomasa resultante sigue siendo demasiado grande e inutilizable para el objetivo final de la producción de metano.

### Acetogénesis

La acetogénesis es la creación de acetato, un derivado del ácido acético a partir de fuentes de carbono y energía creadas por acetógenos. Estos microorganismos catabolizan muchos de los productos creados en la acidogénesis en ácido acético, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>. Los acetógenos descomponen la biomasa hasta el punto de que los metanógenos pueden intervenir.

### Metanogénesis

La metanogénesis es la etapa final de la digestión anaeróbica en la que los metanógenos utilizan ácido acético y dióxido de carbono, los principales subproductos de los primeros tres pasos de la biodegradación anaeróbica, para crear metano. Esta reacción puede parecerse a  $CO_2 + 4 H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$  o  $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$ , pero la ruta principal del metano involucra al ácido acético.

**2. Propiedades Físicas**

**2.1 Aislación térmica**

La propiedad física más importante del Biopek® es su extraordinaria capacidad de aislación térmica contra el frío y el calor. La materia base del Biopek® la constituye el poliestireno expandido. Las celdillas que lo conforman poseen la forma de poliedros totalmente cerrados, de diámetros entre 0,2 y 0,5 mm y un espesor de pared de 0,001 mm. El material expandido está constituido por un 95%~98% de aire y un 5%~2% de poliestireno. El factor decisivo para su capacidad de aislación es el aire quieto, el que permanece encerrado en las celdillas, dando lugar a que la capacidad aislante permanezca invariable en función del tiempo, en contraposición a otras espumas aislantes que contienen gases diferentes, con tendencia a difundir hacia el exterior del material. La capacidad de aislación térmica de un material aislante se caracteriza mediante el coeficiente de conductividad térmica, el cual se define como la cantidad de calor (kcal o Watt) que pasa en una hora a través de una capa de material de 1 m<sup>2</sup> de superficie y 1 m de espesor, en un régimen de flujo térmico constante, cuando la diferencia de temperatura entre ambas superficies, es de 1 grado centígrado (1°C). Su dimensión es la de kcal/m·h°C o bien Watt/m·°K.

El coeficiente de conductividad térmica se determina según DIN 52612, y es, manteniendo las demás condiciones constantes, función de la densidad (kg/m<sup>3</sup>) del material, como se puede observar en la fig. 1. En el caso del Biopek® de baja densidad, este valor es mayor, disminuye a medida que aumenta la densidad, alcanza un mínimo en la zona de densidades comprendidas entre 30 y 50 kg/m<sup>3</sup>, ascendiendo a continuación de nuevo lentamente.

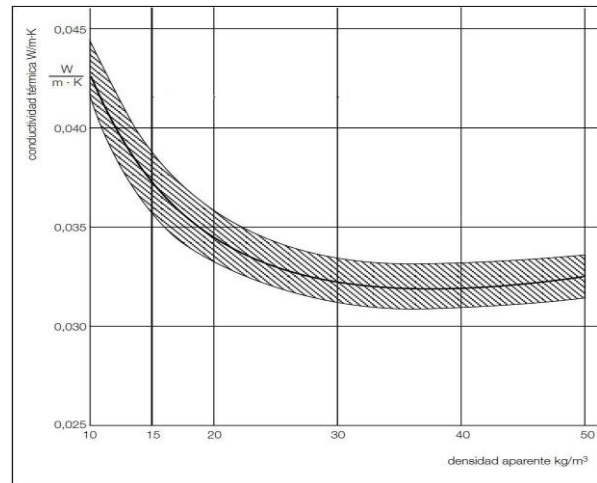


Fig. 1.- Coeficiente de conductividad térmica de Biopek® para distintas densidades a una temperatura media de +10°C (curva de promedio).

**2.2 Resistencia mecánica**

Una propiedad importante del Biopek® es su resistencia mecánica bajo esfuerzos de corta y larga duración y una medida para ello es el llamado esfuerzo de compresión. El Biopek® pertenece a las “espumas rígidas duras” (DIN 7726), que bajo carga presentan un comportamiento viscoelástico diferente a aquel de los materiales frágiles duros. Debido a esto, según DIN EN ISO 844, no se mide la resistencia a la compresión sino la tensión por compresión con un recalado de 10% (tabla 1). Este valor se encuentra en el sector de recalado ya que es irreversible y sólo tiene valor como un factor comparativo, ya que las propiedades mecánicas van ligadas a la densidad aparente del material. La tabla 1 recopila también los valores de la resistencia al corte, a la flexión y a la tracción.

Como se ve, la resistencia del material aumenta a medida que aumenta la densidad, por lo tanto, la valoración de la resistencia mecánica del Biopek® carece de sentido si no se realiza en relación con la densidad. Nuestro material se fabrica con acuerdo a la NCh 1070 "Poliestireno expandido – requisitos", norma en la que se especifican los requisitos de forma, dimensiones, densidad, resistencia mecánica, conductividad térmica, estabilidad dimensional, absorción de agua y permeabilidad al vapor de agua, entre otras características.

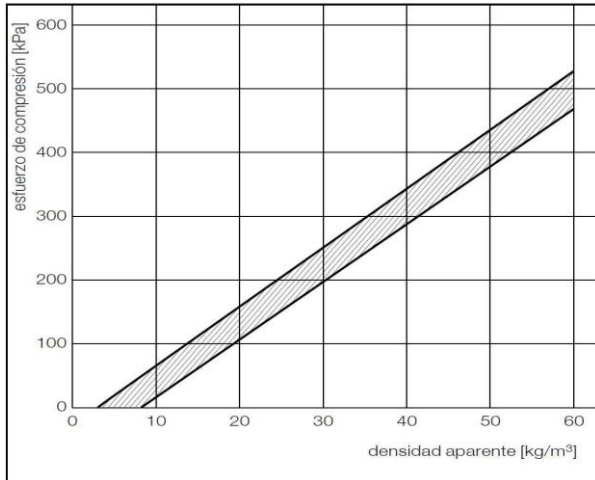


Fig. 2.- Influencia de la densidad aparente sobre el esfuerzo de compresión para un recalado del 10% (zona pronosticable 90% en trazos)

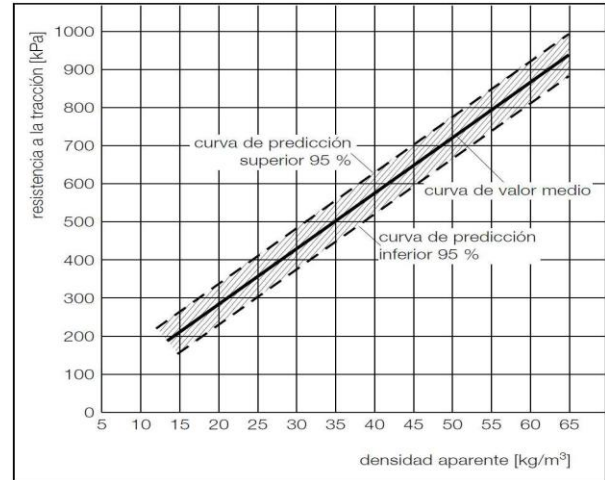


Fig. 3.- Influencia de la densidad aparente sobre la resistencia a la tracción (zona de dispersión indicada)

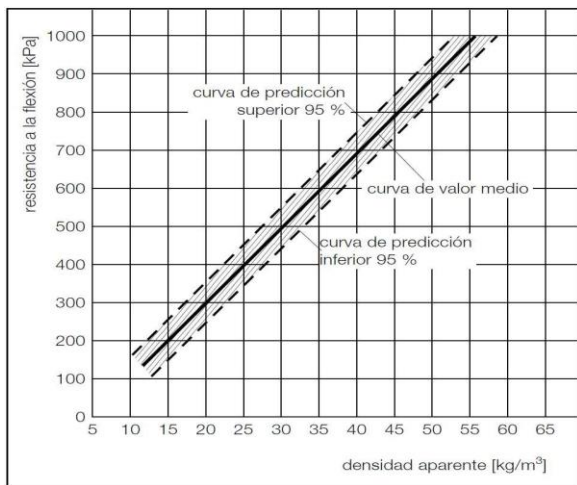


Fig. 4.- Influencia de la densidad aparente sobre la resistencia a la flexión (zona de dispersión indicada)

### 2.3 Agua y vapor de agua

Es importante distinguir entre la absorción de agua y la permeabilidad al vapor de agua.

#### Absorción de agua

Al contrario de muchos otros materiales, el Biopek® no es higroscópico; aún sumergido en agua, absorbe solamente una pequeña cantidad de humedad. Debido a que las paredes de las células son impermeables para el agua, ésta sólo puede penetrar en los canales entre las perlas soldadas entre sí. Esto significa que la cantidad de agua absorbida depende tanto del comportamiento en la elaboración de la materia prima del Biopek®, como de las condiciones de elaboración, especialmente de la expansión. La absorción de agua se mide según DIN-EN 12087. Las probetas de ensayo preferentemente son paralelepípedos con una base de 200 x 200 mm y el grosor de suministro correspondiente.

Tabla 1 - Propiedades físicas del Biopek®

Propiedades físicas	Ensayo según	Unidad	EPS 15	EPS 20	EPS 30
Tipo de material					
Conductividad térmica	ASTM C 518 NCH 850	Watt/m·°C Watt/m·°C	0,036 0,041	0,035 0,038	0,033 0,036
Resistencia a la compresión con 10% de recalado	DIN-EN 826	kPa	65 - 100	110 - 140	200 - 250
Resistencia a la presión permanente con recalado < 2%	ISO 7850	kPa	20 - 30	35 - 50	70 - 90
Resistencia a la flexión	DIN-EN 12089	kPa	150 - 230	250 - 310	430 - 490
Resistencia a la cizallamiento	DIN 53427	kPa	80 - 130	120 - 170	210 - 260
Resistencia a la tracción	DIN-EN 1608	kPa	160 - 260	230 - 330	380 - 480
Módulo E (Ensayo de compresión)	DIN-EN 826	Mpa	1,0 - 4,0	3,5 - 4,5	7,5 - 11,0
Estabilidad dimensional al calor a corto plazo		°C	100	100	100
Estabilidad dimensional al calor a largo plazo, con 20 kPa		°C	75	80	80
Coefficiente de dilatación térmica lineal		1/K	5-7 · 10 <sup>5</sup>	5-7 · 10 <sup>5</sup>	5-7 · 10 <sup>5</sup>
Capacidad térmica específica	DIN 53765	J/(kg·K)	1210	1210	1210
Absorción de agua por inmersión (en volumen)					
después de 7 días	DIN-EN 12087	Vol. %	0,5 - 1,5	0,5 - 1,5	0,5 - 1,5
después de 28 días	DIN-EN 12087	Vol. %	1,0 - 3,0	1,0 - 3,0	1,0 - 3,0
Índice de resistencia a la difusión de vapor de agua	DIN-EN 12086	1	20 / 50	30 / 70	40 / 100

1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup> = 1000 kPa = 10,2 kg/cm<sup>2</sup>

Tal como se puede apreciar en la tabla 1, la absorción de agua es prácticamente independiente de la densidad aparente. Después de 28 días asciende a hasta aprox. 3% (relativo al volumen).

### Difusión de vapor de agua

En contraposición al agua, el vapor de agua que se encuentra en el aire en forma de humedad atmosférica, puede difundir lentamente a través del material aislante, siempre que exista el correspondiente gradiente de temperatura y, en caso de enfriamiento, puede depositarse en forma de agua (condensación).

Biopek® posee un factor de resistencia a la difusión del vapor que varía según la densidad y oscila entre  $\mu=20$  hasta  $\mu=100$  (ver tabla 1); a modo de comparación el fieltro asfáltico tiene un coeficiente entre 10.000 y 50.000.

### 2.4 Comportamiento de Biopek® frente a las temperaturas.

Para las diferentes aplicaciones del Biopek®, no existe prácticamente ninguna limitación con respecto a la temperatura mínima.

En cuanto a permanecer expuesto a la acción de temperaturas más elevadas, entonces la temperatura máxima admisible dependerá de la duración de esta acción y de la sollicitación mecánica a la que sea sometido el material (ver tabla 1). En el caso de una acción térmica de corta duración, el Biopek® puede ser sometido a temperaturas incluso superiores a 100°C, pero si se mantiene la temperatura de más de 100°C por un período largo, la estructura del material se ablanda y funde.

La estabilidad dimensional de Biopek® se determina a temperaturas de hasta 70°C en ensayos con arreglo a DIN 18164, y este es el valor límite recomendado.

### 2.5 Estabilidad dimensional

Todos los materiales están sometidos a determinadas variaciones dimensionales, ya sea materias primas, elementos prefabricados, o bien, elementos de construcción. En el Biopek® se diferencia entre variaciones dimensionales originadas por la acción del calor o por contracción posterior del material.

#### 2.5.1 Variaciones dimensionales por la acción del calor.

El coeficiente de dilatación lineal del Biopek® es de 0,05 - 0,07 mm por metro de longitud y grado Celsius, es decir, un cambio de temperatura de aproximadamente 17°C origina una variación dimensional reversible de 0,1% = 1 mm/m. En muchos campos de aplicación, donde no son de esperar cambios sustanciales entre la temperatura de instalación del

producto y la posterior temperatura de uso, la variación dimensional del material se puede despreciar.

**2.5.2 Variación dimensional por contracción posterior (recalcado).**

La contracción posterior es la que se produce durante algún tiempo después de la fabricación del material. Esta contracción tiene un desarrollo inicial relativamente rápido, disminuyendo a continuación paulatinamente hasta aproximarse a un valor límite, de manera que, a partir de ese valor, la contracción posterior no exige medidas adicionales.

La contracción posterior que se puede producir en el Biopek® depende del tiempo de reposo y principalmente de la densidad del material. En efecto, en productos con Biopek® de densidad tipo 15 kg/m³ o inferior, la contracción posterior puede despreciarse por insignificante. En el caso que se utilicen densidades tipo 20 kg/m³ o 30 kg/m³, estas deben quedar sometidas a un tiempo suficiente de reposo. Para determinar el tiempo de reposo de Biopek® basta con considerar solamente una parte del recalcado, dado que una contracción residual de aproximadamente un 0,2% es tolerada en casi todos los campos de aplicación.

**2.6 Influencias atmosféricas y de radiaciones**

La acción prolongada de las radiaciones ricas en energía, como por ejemplo los rayos ultravioletas UV, de onda corta, los rayos X y rayos gamma vuelven quebradiza la estructura del Biopek®. Este proceso es función del tipo de radiación, de la dosis y del período de tiempo durante el cual actúa sobre el material. La radiación ultravioleta es prácticamente la única que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz ultravioleta, la superficie del Biopek® se torna más amarillenta y se vuelve quebradiza, de manera que el viento y la lluvia logran erosionarla. En los recintos cerrados, la proporción de rayos ultravioletas en la luz es tan escasa que no llega a perjudicar al Biopek®.

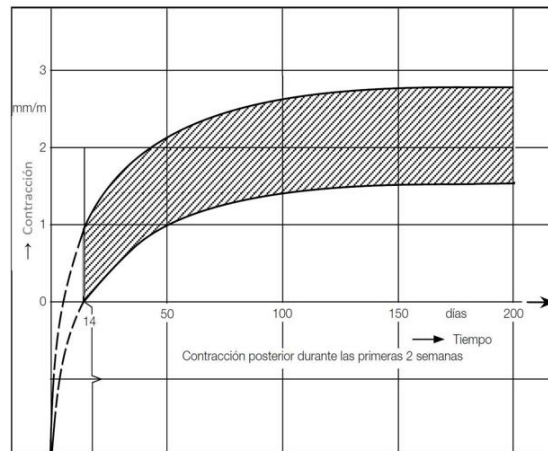


Fig. 5.- Evolución de la contracción posterior residual de Biopek® 15 días después de la producción.

### 3 Propiedades químicas

El Biopek® es resistente a la mayoría de los materiales usuales en las plantas de transformación. No obstante, hay que tener en cuenta, que el material es atacado por los solventes aromáticos, cuando se trata de la aplicación de adhesivos, pinturas, solventes y desmoldantes a base de aceites, de productos derivados del alquitrán, de agentes fluidificantes así como de vapores concentrados de estas sustancias (ver listado 1).

#### Listado 1. Resistencia química del Biopek®

Resistente	Limitadamente resistente	Inestable
Agua, agua de mar soluciones salinas	Aceite de parafina, vaselina, aceite diésel	Bitumen frío y masillas de bitumen con disolventes
"Alcalis". Como hidróxido sódico, hidróxido potásico, agua amoniacal, agua de cal, estírcol líquido		Derivados de alquitrán
Jabones, soluciones de humectantes		Disolventes, como acetona, éter, éster acético, nitrocelulosa diluida, benceno, xileno
Ácido clorhídrico al 35%, ácido nítrico hasta el 50%, ácido sulfúrico hasta 95%		Diluyentes para barnices, tricloroetileno, tetracloruro de carbono, esencia de trementina
ácidos diluidos y ácidos débiles, como ácido láctico, ácido carbónico, ácido húmico (agua de lodo)		Hidrocarburos alifáticos saturados, como por ejemplo ciclohexano, bencinas ligeras, gasolina diluyente
Sales, abonos (nitrato cálcico, eflorescencias)		Carburantes (gasolina normal y super)
Bitumen		
Bitumen frío y masillas de bitumen con base acuosa		
Aceite de silicona		
Alcoholes, por ejemplo alcohol Metílico, alcohol etílico		

Resistente: Biopek® no se destruye aún después de una acción prolongada.

Limitadamente resistente: bajo una acción prolongada el material se puede encoger o su superficie puede ser atacada.

Inestable: el material se encoge en forma más o menos rápida o se disuelve.