



GUÍA ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS · 8 MIN

## Barreras a nivel de celda y de módulo: papel de fibra, laminados microporosos y aerogel en comparación

¿Qué material de barrera impide de forma más fiable la propagación entre celdas y módulos? Una comparación técnica de papel de fibra, laminados microporosos y compuestos de aerogel para sistemas estacionarios de almacenamiento de energía en baterías.

### Por qué la primera línea de defensa empieza en la celda

Una fuga térmica comienza siempre en una sola celda. Que de ella resulte un suceso localizado o un incendio total de todo el contenedor de almacenamiento se decide en los primeros segundos y minutos, y depende de si la celda vecina tiene que absorber o no el calor aportado. Aquí es precisamente donde actúan las barreras térmicas a nivel de celda y de módulo: finas capas separadoras entre las celdas y placas de separación entre módulos que limitan el flujo térmico hasta que la energía liberada se ha disipado o repartido.

Para los proyectistas e instaladores de sistemas estacionarios de almacenamiento en baterías, el tema es doblemente relevante. En primer lugar, métodos de ensayo como UL 9540A evalúan el comportamiento de propagación desde la celda, pasando por el módulo, hasta la unidad: una barrera eficaz a nivel de celda mejora el resultado en todos los niveles superiores. En segundo lugar, el espacio disponible en los racks modernos es extremadamente reducido: cada milímetro de material de barrera compite con la densidad energética. Por ello, la selección del material es siempre un compromiso entre rendimiento térmico, espesor, comportamiento mecánico y coste.

**Nota:** Los requisitos de una barrera entre celdas — Una barrera entre celdas debe hacer algo más que aislar: tiene que resistir durante un breve periodo las partículas y gases calientes de un fallo de celda, aislar eléctricamente, acompañar mecánicamente la «respiración» cíclica de las celdas (swelling) a lo largo de su vida útil y mantener al mismo tiempo su estabilidad dimensional. Ningún material cumple por sí solo todos estos puntos a la perfección; por eso, en la práctica predominan los compromisos y las estructuras multicapa.

### Papel de fibra: el clásico robusto

Los papeles y mantas de fibras de alta temperatura (lana clásica de silicato de aluminio o lana biosoluble de silicato alcalinotérreo) están consolidados desde hace décadas en la construcción de hornos industriales. Sus puntos fuertes: temperaturas de clasificación muy elevadas (según el tipo de fibra, típicamente del orden de 1100 a 1400 °C), buena disponibilidad, confección sencilla mediante troquelado o corte y un precio moderado.

Como capa separadora entre módulos o como revestimiento de carcasas de módulo prestan un servicio fiable.

Sus límites están en la conductividad térmica y en el comportamiento mecánico. Los papeles de fibra aíslan bastante peor que los materiales microporosos o los aerogeles, por lo que necesitan más espesor para el mismo efecto protector. Además, bajo compresión permanente pierden capacidad de recuperación, de modo que, por sí solos, solo son adecuados con reservas para posiciones en las que el swelling de las celdas debe absorberse elásticamente. En las fibras clásicas de silicato de aluminio debe tenerse en cuenta además su clasificación como potencialmente cancerígenas, que conlleva medidas de protección especiales durante la instalación y el desmantelamiento; las fibras biosolubles evitan este problema.

- Uso típico: capas separadoras entre módulos, revestimiento de carcasas de módulo y de rack, respaldo de conductos de evacuación de gases
- Puntos fuertes: alta resistencia a la temperatura, instalación sencilla, económico
- Puntos débiles: mayor conductividad térmica, capacidad de recuperación limitada, problemática del polvo de fibra según el tipo de fibra

## Laminados microporosos: máximo aislamiento por milímetro de protección térmica

Los aislantes microporosos se componen de sílice pirogénica con opacificantes y alcanzan tamaños de poro inferiores al recorrido libre medio de las moléculas de aire. El resultado es una conductividad térmica que, a altas temperaturas, es inferior a la del aire en reposo: ningún otro material de uso habitual aísla mejor por milímetro en contacto con gases calientes. Las temperaturas de clasificación se sitúan, según el producto, generalmente en torno a 1000 °C. Precisamente esta combinación convierte las placas y laminados microporosos en la primera opción cuando hay que mantener un gradiente de temperatura pronunciado en un espacio mínimo.

El precio es su sensibilidad mecánica: el material es sensible a la presión y desprende polvo, por lo que prácticamente siempre se procesa recubierto, termosellado en láminas, envuelto en tejido de vidrio o como laminado con capas de cubrición de mica o lámina metálica. Estos laminados combinan el aislamiento del núcleo microporoso con la rigidez dieléctrica y la resistencia a la erosión por partículas de la capa de cubrición. En cambio, para posiciones con compresión cíclica (directamente entre celdas que «respiran») el material no es adecuado, ya que bajo cargas alternas puede compactarse y perder su estructura.

**Nota:** La mica como complemento — Las placas de mica aportan lo que les falta a los núcleos microporosos: alta rigidez mecánica, excelente aislamiento eléctrico y resistencia a flujos de partículas calientes. En las barreras multicapa, la mica suele asumir la cara caliente expuesta a partículas, mientras que el núcleo microporoso mantiene el gradiente de temperatura.

## Compuestos de aerogel: finos, flexibles y estables a la compresión

Los aerogeles de sílice figuran entre los sólidos de menor conductividad térmica que existen; los compuestos de aerogel reforzados con fibra alcanzan a temperatura ambiente conductividades térmicas del orden de 0,015 a 0,02 W/(m·K). Sin embargo, para el nivel de celda interesa sobre todo la combinación de capacidad aislante, poco espesor y flexibilidad mecánica: las almohadillas de aerogel de pocos milímetros de espesor pueden resistir durante un breve periodo temperaturas de llama muy elevadas y, al mismo tiempo, absorber elásticamente la respiración y el hinchamiento de las celdas durante miles de ciclos sin acumular una deformación remanente por compresión significativa.

Así, los compuestos de aerogel ocupan la posición que no cubren ni el papel de fibra ni los laminados microporosos: la barrera directa entre celdas en módulos prismáticos y entre celdas pouch, donde barrera y almohadilla de compresión coinciden en un mismo componente. Sus inconvenientes son el mayor precio, una temperatura de uso continuo limitada según el producto en comparación con la fibra cerámica y la posible emisión de polvo, que también se controla mediante recubrimientos. Para separaciones de módulos de gran

superficie o revestimientos de carcasas, a menudo no son la primera opción desde el punto de vista económico.

- Papel de fibra: mucha reserva de temperatura, necesita espesor; adecuado para separación de módulos y carcasas
- Laminado microporoso: el mejor aislamiento por milímetro, sensible a la presión; adecuado para barreras estáticas con poco espacio
- Compuesto de aerogel: aísla muy bien y amortigua el swelling; adecuado para la posición entre celdas
- Mica: robusta mecánica y eléctricamente, apenas aísla; adecuada como capa de cubrición en un sistema multicapa

## Selección en el proyecto: del caso de carga a la verificación

La selección del material no empieza en la ficha técnica, sino en el caso de carga: ¿qué cantidad de energía libera la celda, cuánto dura el venteo, qué temperaturas y flujos de partículas se producen en la barrera y qué temperatura máxima puede alcanzar la cara fría para que la celda vecina no entre en la zona crítica? De estas condiciones de contorno se derivan el espesor y la estructura, a menudo como sistema multicapa que combina núcleo aislante, protección contra partículas y aislamiento eléctrico.

La eficacia se verifica en último término mediante ensayos: las pruebas de propagación a nivel de celda y de módulo, normalizadas en Norteamérica mediante UL 9540A, muestran si la barrera detiene realmente la propagación o solo la retrasa. Importante para los titulares: un cambio de material durante la vida del producto (por ejemplo, por motivos de coste o de suministro) puede poner en entredicho la validez de los ensayos existentes. Por ello, los materiales de barrera deben estar sujetos al control de cambios del concepto de seguridad y no a la libre adquisición.

## Preguntas frecuentes

### ¿Basta una barrera a nivel de celda para prescindir de medidas a nivel de contenedor?

No. Las barreras entre celdas reducen la probabilidad de propagación, pero no sustituyen la compartimentación contra incendios del contenedor ni la detección de gases, el alivio de presión o los sistemas de extinción. Una protección eficaz solo surge de la interacción de todos los niveles: celda, módulo, rack y sala.

### ¿Por qué no se utiliza aerogel en todas partes si es el que mejor aísla?

Los compuestos de aerogel son considerablemente más caros que el papel de fibra y despliegan sus ventajas sobre todo donde se exigen a la vez poco espesor y buen comportamiento a compresión, es decir, directamente entre las celdas. Para separaciones estáticas de gran superficie, los productos de fibra o los laminados microporosos suelen ser la solución más económica e igual de eficaz.

### ¿Qué implica la respiración de las celdas para la selección de la barrera?

Las celdas de iones de litio se dilatan durante la carga y con el envejecimiento. Una barrera entre celdas debe absorber elásticamente esta variación de espesor sin compactarse de forma permanente; de lo contrario, pierde capacidad aislante y el conjunto de celdas pierde su precarga definida. Los materiales con baja deformación remanente por compresión tienen aquí una clara ventaja.

### Hablemos de su proyecto

Respuesta en 24 horas en días laborables.

[info@sbs-rs.de](mailto:info@sbs-rs.de)

**+49 89 541 960 200**

Leer en línea: [www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/barriere-zelle-modul](http://www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/barriere-zelle-modul)