



GUÍA ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS · 18 MIN

Compartimentación térmica en sistemas de almacenamiento en baterías: materiales refractarios contra la fuga térmica

Cómo pueden los proyectistas y titulares de sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS) limitar la propagación térmica entre celda, módulo, rack y contenedor: normativa, selección de materiales, montaje, ensayos y mantenimiento desde la perspectiva del montaje refractario.

Qué ocurre en una fuga térmica y por qué el tiempo es el factor decisivo

La fuga térmica (thermal runaway) comienza en una sola celda: debido a un cortocircuito interno, un daño mecánico, una sobrecarga o un defecto de fabricación, la temperatura de la celda sube hasta el punto en que la descomposición del electrolito se acelera por sí misma. En cuestión de segundos se alcanzan varios cientos de grados Celsius, se generan gases inflamables (hidrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos) y se produce un chorro de partículas incandescentes. En este estado, la celda ya no puede extinguirse: la reacción continúa hasta que se consume la energía almacenada.

Lo peligroso para la instalación no es esa única celda, sino la propagación: el calor de la primera celda calienta las celdas contiguas hasta que también en ellas se supera el umbral. Sin compartimentación, la cadena avanza por el módulo, el rack y, finalmente, el contenedor. Cada nivel que retrasa la transmisión unos minutos da tiempo al sistema de gestión de baterías para desconectar, al sistema de evacuación de gases para ventilar y a los bomberos para llegar.

Nota: La función esencial de los materiales refractarios — No extinguir, sino separar: una barrera térmica entre los niveles mantiene la temperatura en la cara no expuesta por debajo del umbral de ignición de las celdas contiguas durante el tiempo suficiente para que la propagación se detenga o se ralentice hasta ser controlable. El criterio es el tiempo hasta el paso de la temperatura, no solo la temperatura de clasificación del material.

- Nivel de celda: temperaturas en la superficie de la celda superiores a 600 °C, chorro de partículas de más de 1000 °C
- Nivel de módulo: liberación de gases de varios cientos de litros por kWh, aumento de presión en la envolvente
- Nivel de rack y contenedor: se suma la carga de fuego de plásticos, cables y electrónica
- Margen de tiempo: sin barrera, la propagación entre celdas contiguas suele producirse en minutos; con una barrera eficaz, se retrasa considerablemente o se interrumpe

Normativa: qué se exige y qué debe demostrarse

Para los sistemas estacionarios de almacenamiento en baterías no existe en Alemania una ley única y exhaustiva: los requisitos se componen de normas de producto, métodos de ensayo, directrices de las aseguradoras y la normativa de construcción. Para la selección de materiales en el contenedor son determinantes, sobre todo, los métodos de ensayo con los que se demuestra la seguridad frente a la propagación.

UL 9540A es el método de ensayo de uso internacional que analiza por etapas la propagación de una fuga térmica a nivel de celda, módulo, unidad e instalación. Hoy en día, muchas licitaciones y aseguradoras exigen un informe UL 9540A; las temperaturas y los tiempos documentados en él son los datos de partida para el diseño de la compartimentación. NFPA 855, como norma de instalación, regula distancias, sectores de incendio y conceptos de extinción y ventilación. En Europa, la IEC 62933-5-2 describe los requisitos de seguridad de los sistemas de almacenamiento electroquímico conectados a la red. La directriz VdS 3103 resume lo que esperan las aseguradoras alemanas de daños materiales de los sistemas de almacenamiento de iones de litio.

Para los propios materiales refractarios se aplican las clasificaciones según DIN EN 13501-1 (reacción al fuego, clase A1 para productos no combustibles) y los ensayos de resistencia al fuego según DIN EN 1363 y DIN EN 1364. En los materiales de fibra se suma la seguridad laboral: la lana de silicato de aluminio (ASW) está sujeta a la TRGS 558 (regla técnica alemana para sustancias peligrosas), mientras que la lana AES biosoluble no lo está, un aspecto que en los sistemas de almacenamiento en baterías casi siempre resulta decisivo.

Nota: Consejo práctico — Antes de hablar de materiales, pida al proveedor del sistema el informe UL 9540A a nivel de módulo y de unidad. Las temperaturas superficiales medidas en él y la duración del evento determinan qué efecto barrera necesita: todo lo demás es diseñar a ciegas.

El concepto de compartimentación: cuatro niveles, cuatro funciones

Una compartimentación eficaz sigue la estructura del sistema de almacenamiento de dentro hacia fuera. Cada nivel tiene su propia función, su propia carga térmica y, por tanto, su propio material adecuado. Quien coloca el mismo material en todos los niveles o paga de más o protege demasiado poco en el punto crítico.

- Celda–celda: capas intermedias delgadas de 1 a 3 mm que retrasan la transferencia de calor a la celda contigua, de papel de fibra cerámica de calidad biosoluble o laminados de lámina microporosa; lo decisivo es un espesor reducido y una baja conductividad térmica a alta temperatura
- Módulo–módulo: placas de 5 a 25 mm entre los módulos del rack; placas microporosas, con el mayor efecto aislante por milímetro, donde el espacio es escaso; placas de silicato cálcico donde además se requiere resistencia a la compresión
- Rack–rack y rack–pared: tabiques y revestimientos con resistencia al fuego, de placas de silicato cálcico o de fibra en varias capas, con juntas desplazadas y encuentros sellados con cordón de fibra
- Revestimiento interior del contenedor: revestimiento de paredes y techo con manta o placa de fibra biosoluble, que mantiene la carcasa de acero por debajo de la temperatura crítica e impide la transmisión del fuego a contenedores contiguos

A ello se suman los pasos de instalaciones: cables, conductos de refrigeración, busbars y aberturas de ventilación atraviesan cada nivel. Un tabique solo es tan bueno como su paso más débil: aquí los cordones de fibra, las juntas de papel y los collarines cortafuegos pasan a formar parte del concepto, no son meros accesorios.

Selección de materiales: biosolubles, microporosos, sin fibras, y por qué la ASW rara vez es la respuesta adecuada en un sistema de almacenamiento

En un horno industrial, la temperatura determina el material. En un sistema de almacenamiento en baterías se añaden tres requisitos que condicionan más la selección: el espacio disponible, la seguridad laboral y la lista de materiales del cliente.

La lana AES biosoluble (SOLUT BW Blanket, BW Board, BW Paper) está exenta de la clasificación como cancerígena en virtud de la nota Q del Reglamento CLP y no entra en el ámbito de la TRGS 558. Para los fabricantes de sistemas de almacenamiento esto significa: sin categorías de exposición durante el montaje, sin obligación de etiquetado en el producto y sin notificación de SVHC según el art. 33 del Reglamento REACH. Con una temperatura de clasificación de 1200 °C, cubre las temperaturas que se producen en paredes y techo durante una fuga térmica. Su límite práctico de servicio continuo, por debajo de unos 900 °C, no tiene importancia aquí: el caso de carga es un evento de minutos, no un funcionamiento continuo.

Las placas microporosas (SOLUT MP Board) ofrecen la conductividad térmica más baja de todos los aislantes, de 0,02 a 0,03 W/mK a 200–400 °C, y con ello el mayor efecto barrera por milímetro. Son el material preferente entre módulos, donde cada milímetro de espacio cuesta densidad energética. No contienen fibras, no son combustibles (A1) y se suministran revestidas con lámina de aluminio, tejido de vidrio o lámina de PE para que no desprendan polvo al manipularlas.

Las placas de silicato cálcico (SOLUT CAL Board) se emplean donde la barrera debe soportar cargas: bajo los racks, como tabique con fijaciones, como base para componentes. Resistencias a la compresión de 13 a 27 N/mm² con una temperatura de clasificación de 1000 °C, sin fibras y mecanizables con herramientas para madera.

Nota: ¿Por qué no ASW? — La lana de silicato de aluminio soporta de 1260 a 1430 °C, pero está clasificada como cancerígena de categoría 1B. En un producto que los fabricantes suministran a muchos países y que abren los técnicos de servicio, esto conlleva obligaciones de etiquetado, información y seguridad laboral que casi ningún fabricante de sistemas de almacenamiento quiere asumir. La reserva de temperatura de la ASW no se necesita en un sistema de almacenamiento: la alternativa biosoluble es suficiente para el caso de carga.

- Capas intermedias entre celdas: SOLUT BW Paper de 1–3 mm o laminado microporoso
- Separación entre módulos: SOLUT MP Board de 5–25 mm, revestida
- Tabiques portantes y bases: SOLUT CAL Board de 12,7–50 mm
- Revestimiento de paredes y techo del contenedor: SOLUT BW Blanket de 25–50 mm o BW Board
- Pasos de instalaciones y juntas: cordón de fibra y BW Paper, combinados con sistemas de sellado homologados en los sectores de incendio

Comparativa de materiales: los cuatro materiales de barrera de un vistazo

La siguiente tabla compara los cuatro principales materiales de barrera con los valores que realmente importan en un sistema de almacenamiento: conductividad térmica en caso de evento, espacio necesario, resistencia mecánica y situación normativa.

Nota: Regla práctica — Donde el espacio es el recurso más escaso: microporoso. Donde hay que soportar cargas o atornillar: silicato cálcico. Donde se revisten superficies: fibra biosoluble. Donde se necesita poco espesor: papel de fibra. ASW solo si se aísla de forma permanente por encima de 900 °C, lo que en un sistema de almacenamiento prácticamente nunca ocurre.

Montaje y ensayos: dónde falla la barrera en la práctica

La mejor selección de materiales no sirve de nada si la barrera tiene huecos. Por nuestros montajes conocemos cuatro puntos débiles recurrentes: juntas a tope abiertas entre placas, pasos de instalaciones sin sellar, fijaciones de acero que atraviesan el aislamiento como puente térmico y capas aislantes que se aplastan durante el ensamblaje y pierden así espesor y efecto aislante.

- Desplazar las juntas de placas en dos capas o ejecutarlas machihembradas; en juntas a tope de una sola capa, colocar cordón de fibra por detrás
- Dibujar cada paso de instalaciones como un detalle propio: cordón, papel o collarín, con una longitud de sellado al menos igual al espesor de la placa
- Separar térmicamente las fijaciones: anclajes cerámicos o de acero inoxidable con arandela de apoyo en lugar de tornillos de acero pasantes
- Comprobar el espesor del aislamiento una vez montado, no en estado de suministro; documentar el apriete y la compresión
- Evaluar los revestimientos y láminas en la cara expuesta al evento: protegen durante la manipulación, pero no aportan nada en caso de incendio

La justificación se realiza en dos niveles: los valores característicos de los materiales proceden de las fichas técnicas y de las clasificaciones de reacción al fuego; el efecto barrera del sistema, de un ensayo de propagación a nivel de módulo o de unidad, preferiblemente según UL 9540A, porque así los resultados también son aprovechables para aseguradoras y autoridades competentes. Nosotros suministramos los datos de los materiales y acompañamos la fabricación de las probetas, para que el sistema ensayado se corresponda con lo que se montará después.

Lista de comprobación para la planificación: qué debe aclararse antes de la licitación y el presupuesto

La mayoría de los retrasos en los proyectos de almacenamiento no se producen durante el montaje, sino antes, porque faltan datos básicos cuando hay que comparar presupuestos. Estos doce puntos deben estar aclarados antes de enviar la primera solicitud:

- ¿Se dispone de informes UL 9540A del proveedor de celdas o módulos a nivel de módulo y de unidad?
¿Qué temperaturas y tiempos se midieron?
- ¿Está definido el objetivo de protección: impedir la propagación celda–celda, retrasar la propagación módulo–módulo o solo separar contenedor–contenedor?
- ¿Está fijado el espacio disponible por nivel (mm entre celdas, módulos y racks)?
- ¿Se han recabado los requisitos de la aseguradora (VdS 3103 y, en su caso, condiciones propias)?
- ¿Se exige para los materiales una reacción al fuego de clase A1 según DIN EN 13501-1?
- ¿Se exige una lista de materiales sin fibras, o se admite fibra biosoluble (nota Q)?
- ¿Se han contado los pasos de instalaciones y definido un detalle de sellado por tipo (cable, conducto de refrigeración, busbar, ventilación)?
- ¿Se ha planificado un concepto de fijación sin puentes térmicos pasantes?
- ¿Se ha calculado la compresión de las capas aislantes en el ensamblaje y el espesor una vez montado?
- ¿Se han previsto probetas para el ensayo de propagación (material, fecha, laboratorio de ensayo)?
- Fabricación en serie: ¿corte como kit o piezas sueltas? ¿Están definidas las tolerancias?
- Concepto de desmontaje y repuestos: ¿cómo se restablece una barrera tras una intervención de mantenimiento?

Nota: Nuestra oferta para proyectistas — Envíenos los datos UL 9540A y el espacio disponible: le proponemos

la composición de capas para cada nivel, le suministramos los valores característicos de los materiales para la justificación de seguridad y, si lo desea, fabricamos probetas y kits de serie.

Operación, mantenimiento y desmontaje

En funcionamiento normal, una barrera térmica no trabaja: espera. Precisamente por eso se daña con facilidad durante el mantenimiento y las modificaciones: se desmontan placas para acceder y se vuelven a colocar de forma incompleta, las juntas de los pasos de instalaciones se pierden al cambiar cables, las capas aislantes quedan aplastadas por componentes añadidos posteriormente. Por ello, la documentación de mantenimiento debe incluir un plano de compartimentación que identifique cada barrera, cada paso de instalaciones y cada junta.

- Tras cada intervención: inspección visual de la barrera afectada con respecto al plano de compartimentación, con foto al expediente
- Anualmente: muestreo de las juntas de los pasos de instalaciones y de la compresión de las capas aislantes
- Tras un evento térmico: sustituir por completo las barreras afectadas; también la lana biosoluble y las placas microporosas pierden sus propiedades tras el paso de la temperatura
- En el desmontaje: separar los materiales según su identificación; los materiales biosolubles y sin fibras no son residuos peligrosos, mientras que el material de ASW usado corresponde al código LER 170603*

Nota: De un único proveedor — Suministramos los materiales con fichas técnicas en siete idiomas, cortamos placas y mantas según plano, las montamos con nuestros propios montadores y, en caso de modificación o puesta fuera de servicio, nos encargamos del desmontaje, incluido el certificado de gestión de residuos. Para los fabricantes que producen sistemas de almacenamiento en serie, prefabricamos kits de compartimentación.

Normas y reglamentos

UL 9540A

Método de ensayo para evaluar la propagación de la fuga térmica a nivel de celda, módulo, unidad e instalación (Proporciona temperaturas y tiempos para el diseño de las barreras; cada vez más exigido por aseguradoras y licitaciones)

NFPA 855

Norma de instalación para sistemas estacionarios de almacenamiento de energía: distancias, sectores de incendio, conceptos de extinción y ventilación (Marco para la disposición de tabiques y distancias entre unidades)

IEC 62933-5-2

Requisitos de seguridad para sistemas de almacenamiento de energía electroquímica conectados a la red (Base europea para las justificaciones de seguridad del sistema completo)

VdS 3103

Directriz de las aseguradoras alemanas de daños materiales para baterías y sistemas de almacenamiento de iones de litio (Expectativas de las aseguradoras en cuanto a instalación, compartimentación y protección contra incendios)

DIN EN 13501-1

Clasificación de la reacción al fuego de productos de construcción (clase A1: no combustible) (Justificación de la no combustibilidad de los materiales aislantes y separadores empleados)

DIN EN 1363-1 / EN 1364

Ensayos de resistencia al fuego en general y para elementos no portantes (Justificación de la resistencia al fuego de tabiques y revestimientos)

TRGS 558

Regla técnica alemana para trabajos con lanas de alta temperatura: categorías de exposición y medidas de protección (Se aplica a la ASW, no a la lana AES biosoluble; decisiva para la selección de materiales)

Reglamento CLP, nota Q

Exención de las lanas minerales biosolubles de la clasificación como cancerígenas (Base para materiales de fibra sin

obligación de etiquetado en sistemas de almacenamiento)

Preguntas frecuentes

¿Es suficiente una lana biosoluble de 1200 °C si en una fuga térmica se superan los 1000 °C?

Para este caso de carga, sí: la temperatura de clasificación describe la contracción tras 24 horas de carga continua. Una fuga térmica es un evento de minutos en el que la barrera debe retrasar el paso del calor, no soportarlo de forma permanente. Lo decisivo es el espesor y la conductividad térmica, y la justificación en el sistema ensayado.

¿Por qué microporoso en lugar de simplemente una manta de fibra más gruesa?

Porque en un sistema de almacenamiento el espacio es densidad energética. Una placa microporosa consigue con 10 mm lo que una manta de fibra necesita con el doble o el triple de espesor. Entre módulos, esa es la diferencia entre tener un rack más o menos en el contenedor.

¿Necesitan los propios materiales una homologación?

Los materiales necesitan clasificaciones (reacción al fuego A1, valores de la ficha técnica). La homologación afecta al sistema: la seguridad frente a la propagación se ensaya en el módulo o en la unidad, no solo en el material. Nosotros suministramos los datos de los materiales para esa justificación.

¿Qué ocurre con la compartimentación después de un evento?

Las barreras afectadas se sustituyen por completo. Los aislantes que han sufrido el paso de la temperatura se han vuelto frágiles o se han compactado y ya no alcanzan sus valores característicos, aunque externamente parezcan intactos.

Hablemos de su proyecto

Respuesta en 24 horas en días laborables.

info@sbs-rs.de

Leer en línea: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/thermische-abschottung-batteriespeicher