

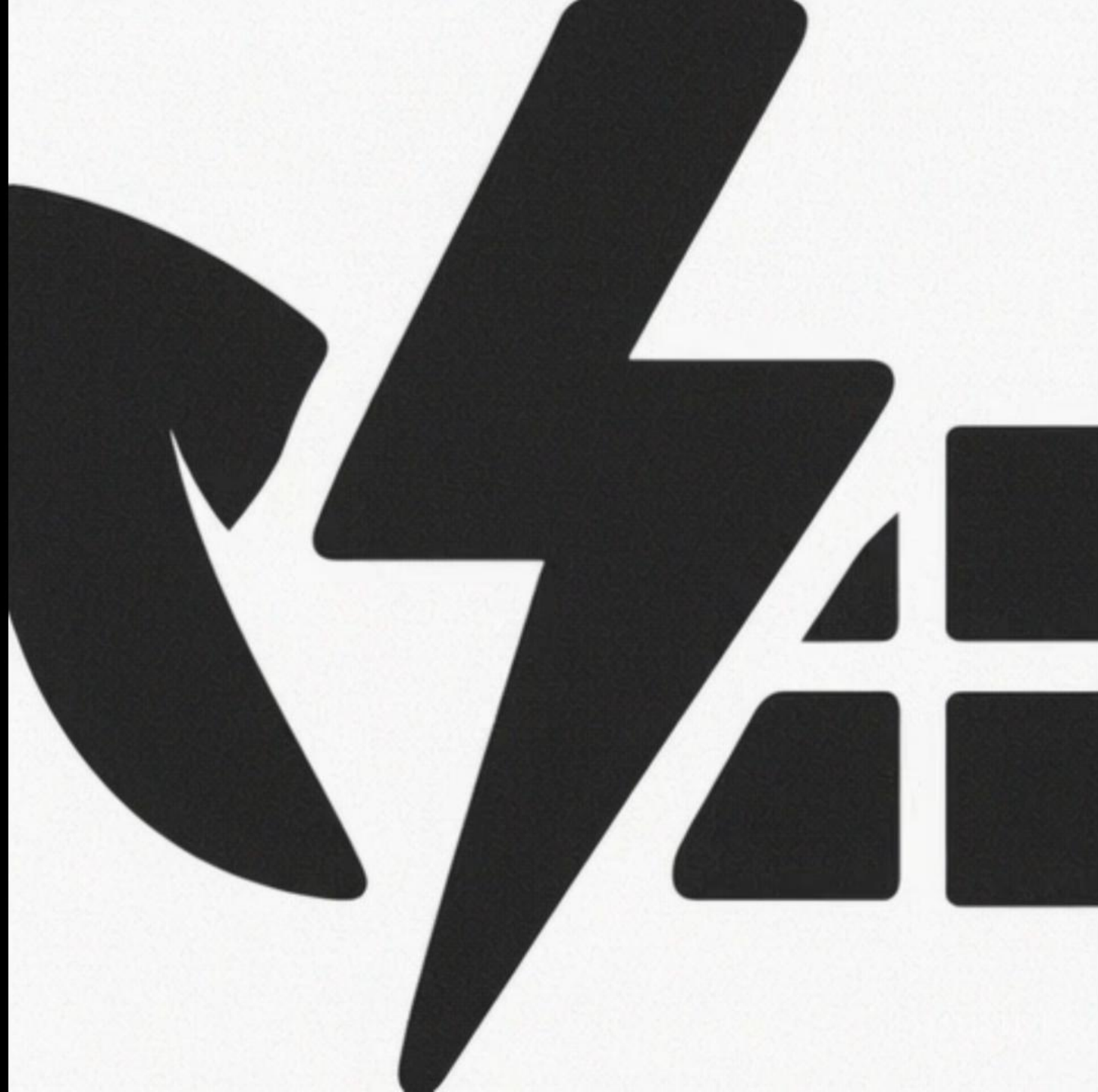
BESS

Battery Energy Storage Systems

Evolución de los estándares de seguridad en BESS



www.thebessacademy.com



Que veremos hoy

1. Por qué fallan las baterías y cómo se produce el thermal runaway

La física, los mecanismos y los incidentes reales que cambiaron la industria.

2. Cómo se diseña la seguridad en un BESS moderno

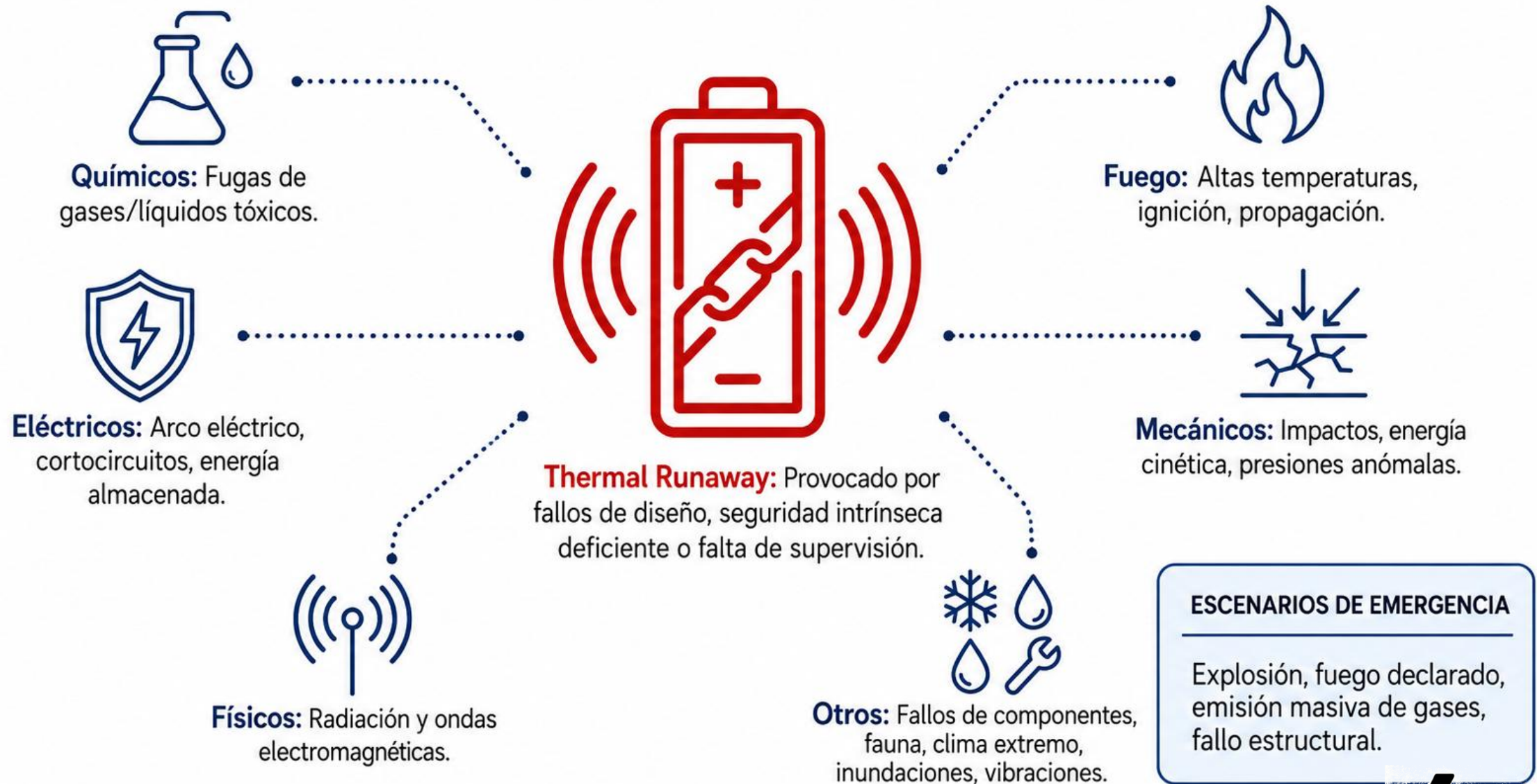
Prevención, detección temprana, contención, supresión y protocolos.

3. Qué exige hoy la normativa (NFPA, UL 9540A, IEC, UNE) y cómo se aprueba un LSFT

Distancias, ensayos, pruebas a escala real y responsabilidades del ecosistema.

Cuando el almacenamiento falla: entender el riesgo antes de mitigarlo

El Panorama de Riesgos: ¿A Qué Nos Enfrentamos?



El Fuego No Da Segundas Oportunidades.

La gestión del *thermal runaway* es la piedra angular de la seguridad, fiabilidad y viabilidad de cualquier proyecto BESS.

“Las baterías de ion-litio no fallan solas: fallan cuando el calor las traiciona. Controlar la temperatura es controlar la seguridad.”



Lecciones escritas con fuego: lo que aprendió la industria

De los incidentes se aprende... y TODA la industria toma medidas... cuando digo TODA es TODA



McMicken (abril 2019) EEUU



Victorian Big Battery (julio 2021) Australia

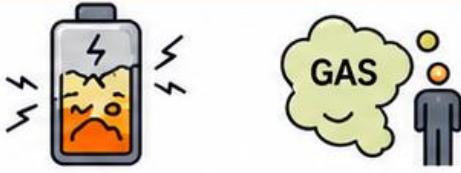
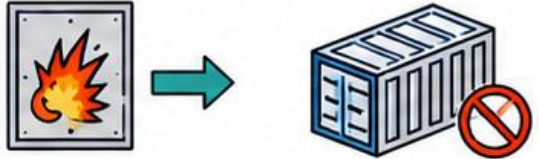
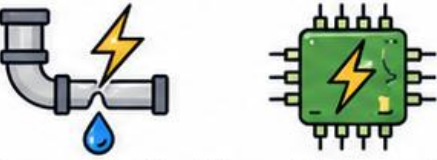


**Moss Landing Fase I y II (sept. 2021 / feb. 2022)
California**



Elkhorn (septiembre 2022) EEUU

Lecciones Escritas con Fuego

Incidente (Pasado)	Causa Raíz (Problema)	Cambio en la Industria (Solución Técnica)
McMicken (EE. UU.) Fallo de sistema de almacenamiento en contenedor transitable. 	 Defecto en celda + Acumulación de gases en sistema walk-in.	 Paneles de alivio de deflagración (NFPA 68) y abandono de contenedores transitables.
Victorian Big Battery (Australia) Incendio en macrobatería por fallo de refrigeración. 	 Fugas de líquido refrigerante causando cortocircuitos.	 Mejoras en estanqueidad (IP67), conectores rápidos seguros y detección de fugas.
Moss Landing (EE. UU.) Activación accidental de sistema de supresión por agua. 	 Fallo en monitorización activó el agua por error, dañando módulos.	 Revisión lógica de supresión. El agua indiscriminada puede ser peor que la enfermedad.

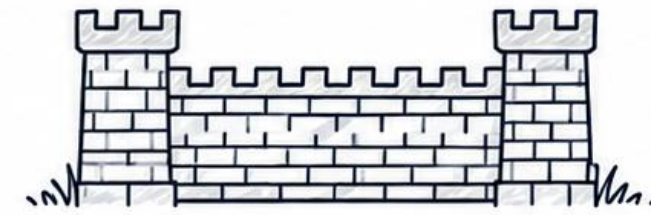
De los incendios a la prevención: cómo se integran las lecciones aprendidas en el ciclo de vida del producto BESS



Defensa multicapa

1. Prevención

Diseño seguro desde el inicio con celdas de alta calidad y BMS avanzado.



2. Detección Temprana

Sensores de gas (CO , H_2) y machine learning para anticipar fallos.



3. Acción Preventiva

Ventilación activa controlada por el BMS para evacuar calor y gases.



4. Supresión

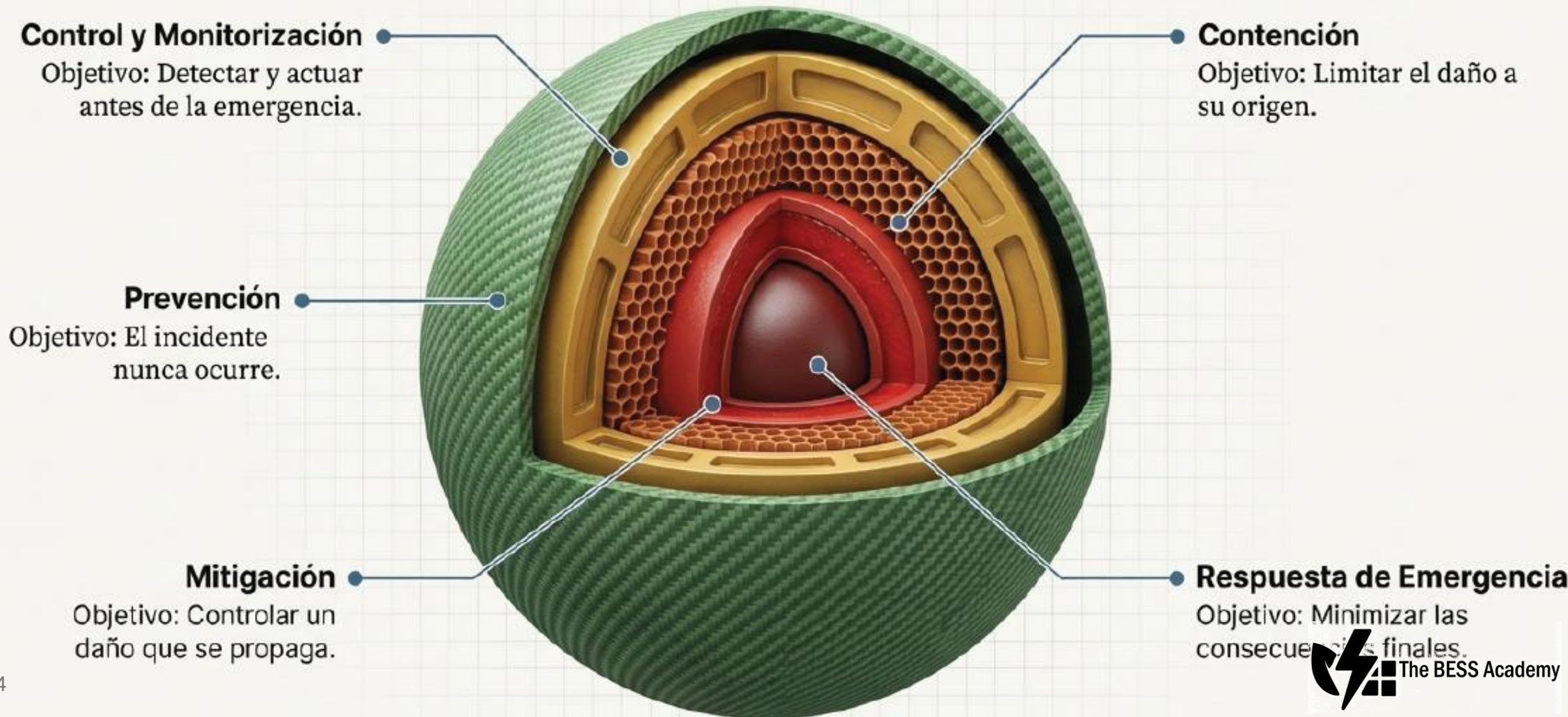
Sistemas automáticos como aerosol para sofocar focos térmicos.



5. Contención

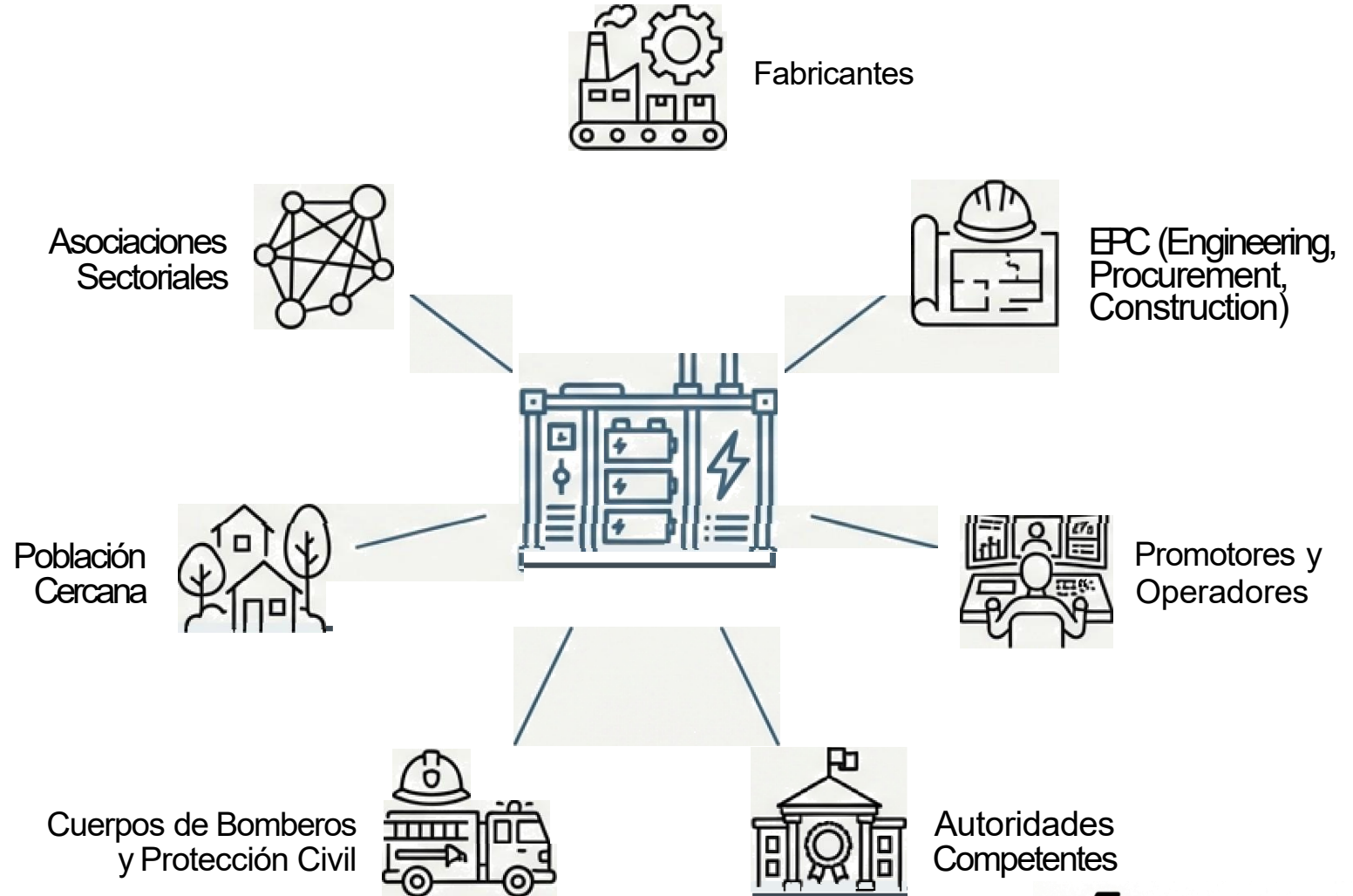
Barreras físicas (aerogel) y recintos ignífugos para aislar el evento.

El Modelo de Defensa en Profundidad: Las 5 Capas de Seguridad



El Principio Fundamental: La Seguridad como Ecosistema

La seguridad en BESS no es un componente aislado, sino un compromiso continuo a lo largo de todo el ciclo de vida del activo. El objetivo final es asegurar que el sistema mantenga un **nivel de riesgo tolerable** para las personas, los bienes y el medio ambiente.



Seguridad de planta: diseñar para que nada salga mal

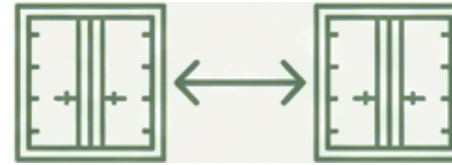
Capa 1: Prevención - Diseñar para que el Incidente No Ocurra

La seguridad más efectiva es la que se integra desde el diseño inicial (Nivel 1: Diseño seguro).



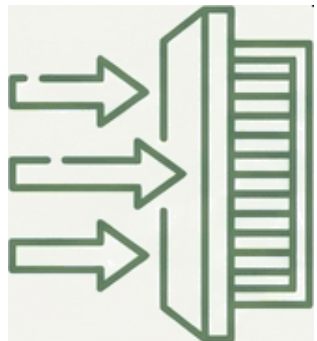
Diseño Robusto

Cumplimiento de estándares y uso de componentes certificados.



Distancias de Seguridad

Espaciado adecuado entre unidades y con los límites de la propiedad.



Ventilación Adecuada

Diseño de sistemas de ventilación (natural/forzada) para operación normal.



Manuales y Procedimientos

Documentación clara para operación y mantenimiento.

Capa 2: Control y Monitorización - Detectar la Anomalía a Tiempo

Actuar sobre las desviaciones antes de que se conviertan en fallos críticos (Nivel 2: Protecciones del sistema).



Detección Precoz de Gases

Sensores para detectar emisiones en fases incipientes de fallo.



Monitorización de Hardware

Sensores de temperatura, voltaje y corriente a nivel de célula/módulo.



Supervisión por Software (BMS/SCADA)

Algoritmos para identificar patrones anómalos y activar alarmas.

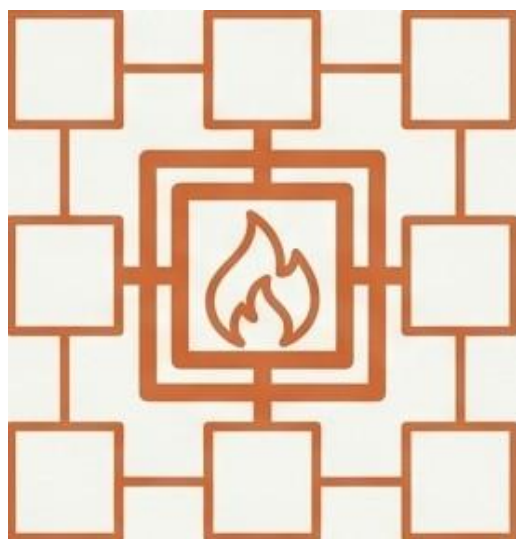


Gestión de Mal Uso

Sistemas que impiden operar fuera de los parámetros de seguridad.

Capa 3: Contención - Aislar el Fallo para Evitar la Propagación

Si un fallo ocurre, debe quedar confinado en el menor espacio posible (Nivel 3: Medidas paliativas).



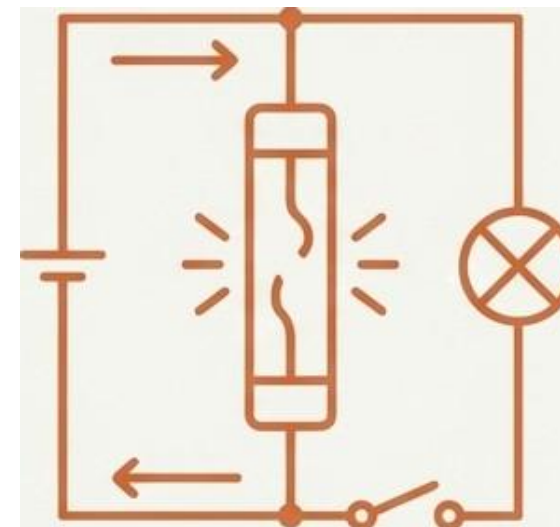
Compartimentación Pasiva

Divisiones internas con clasificación de resistencia al fuego.



Aislamiento Térmico

Materiales que impiden la transferencia de calor entre módulos o racks.

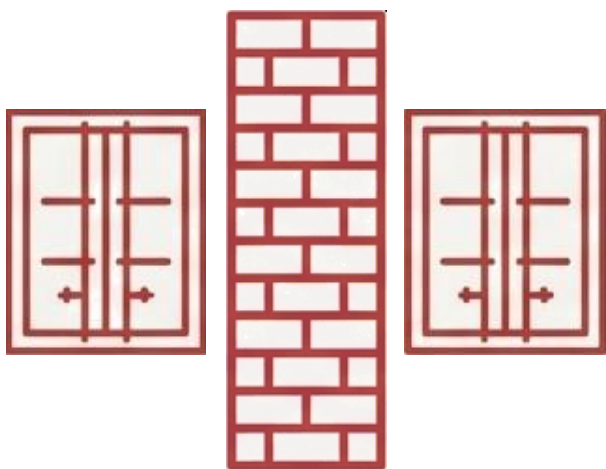


Fusibles y Seccionadores

Dispositivos que aíslan eléctricamente las secciones defectuosas.

Capa 4: Mitigación - Controlar el Impacto de una Emergencia Establecida

Cuando la propagación es inminente, se activan sistemas robustos para limitar el daño a nivel de planta (Nivel 3: Medidas paliativas).



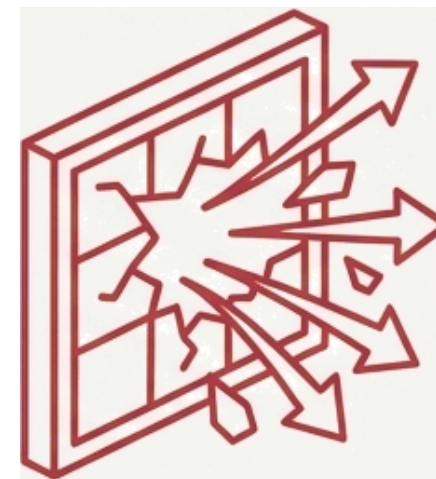
Firewalls

Muros cortafuegos entre contenedores o unidades BESS.



Deflectores de Gases

Estructuras que dirigen los gases de una explosión o deflagración en una dirección segura.

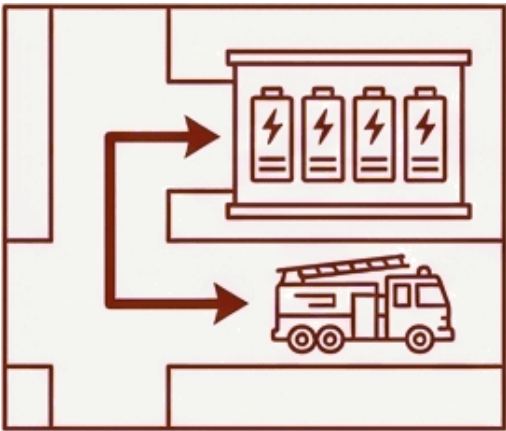


Paneles de Alivio de Explosión

Ventilaciones diseñadas para abrirse a una presión predeterminada y evitar fallos estructurales.

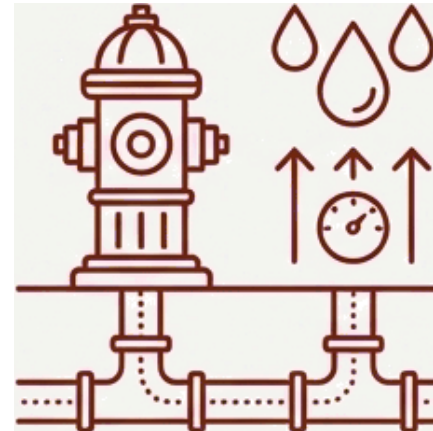
Capa 5: Respuesta de Emergencia - Facilitar la Intervención Externa

La planificación culmina con la coordinación con los servicios de emergencia, regida por el Plan de Gestión de Incendios (PGI).



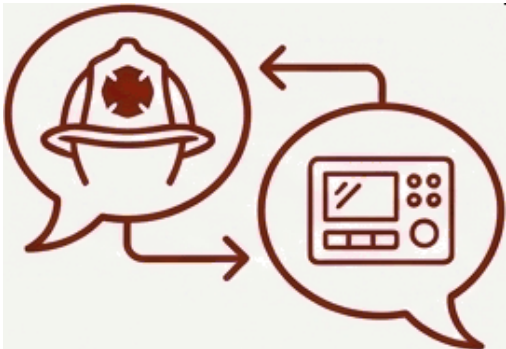
Accesos Claros

Rutas de acceso diseñadas para vehículos pesados de bomberos.



Red de Hidrantes

Suministro de agua con caudal y presión adecuados según el análisis de riesgos.



Protocolos de Comunicación

Procedimientos claros para la activación de bomberos y protección civil.



Formación y Simulacros

Entrenamiento conjunto entre operadores de planta y servicios de emergencia.

La Decisión Crítica: ¿Apagar o Dejar Arder?



Fuego Auxiliar

(Equipos, cables, inversores sin Thermal Runaway)



Táctica: Extinción activa.



Herramientas: Agua pulverizada para enfriar, mantas ignífugas.



Peligro: No usar polvos/espumas que dejen residuos conductivos sin enfriar.



Thermal Runaway Declarado

(El núcleo de la batería arde)



Táctica: Let it burn / Burn-out controlado.



Acción: Dejar consumir el combustible químico. Usar agua SOLO para rociar y proteger contenedores adyacentes.



Por qué: Protege a bomberos de explosiones, consume gases tóxicos in situ, evita contaminación masiva por agua residual.



Normativa de seguridad: el lenguaje universal

Normativa de Seguridad

Objetivo: no incendiar nada (ni física ni políticamente).

Lecciones:

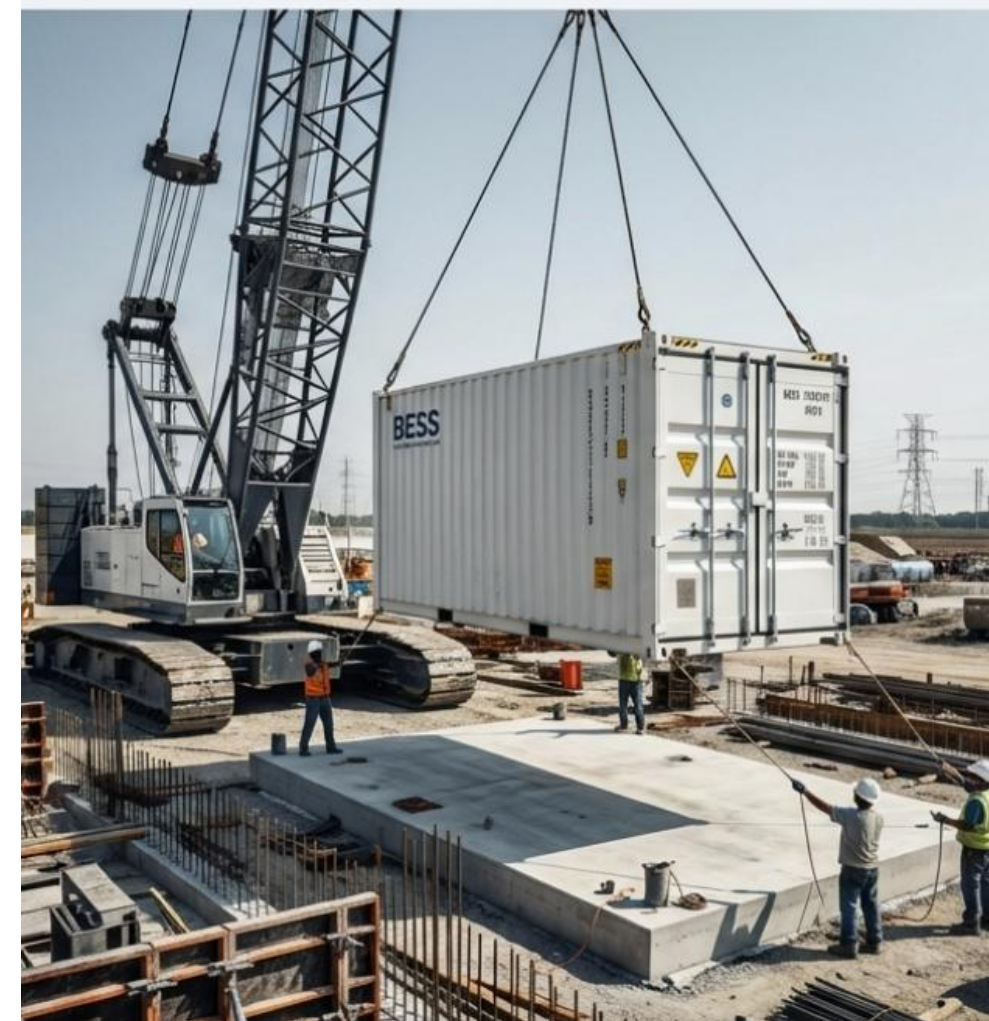
Riesgos principales (térmicos, eléctricos, químicos)

Estrategias de mitigación y respuesta

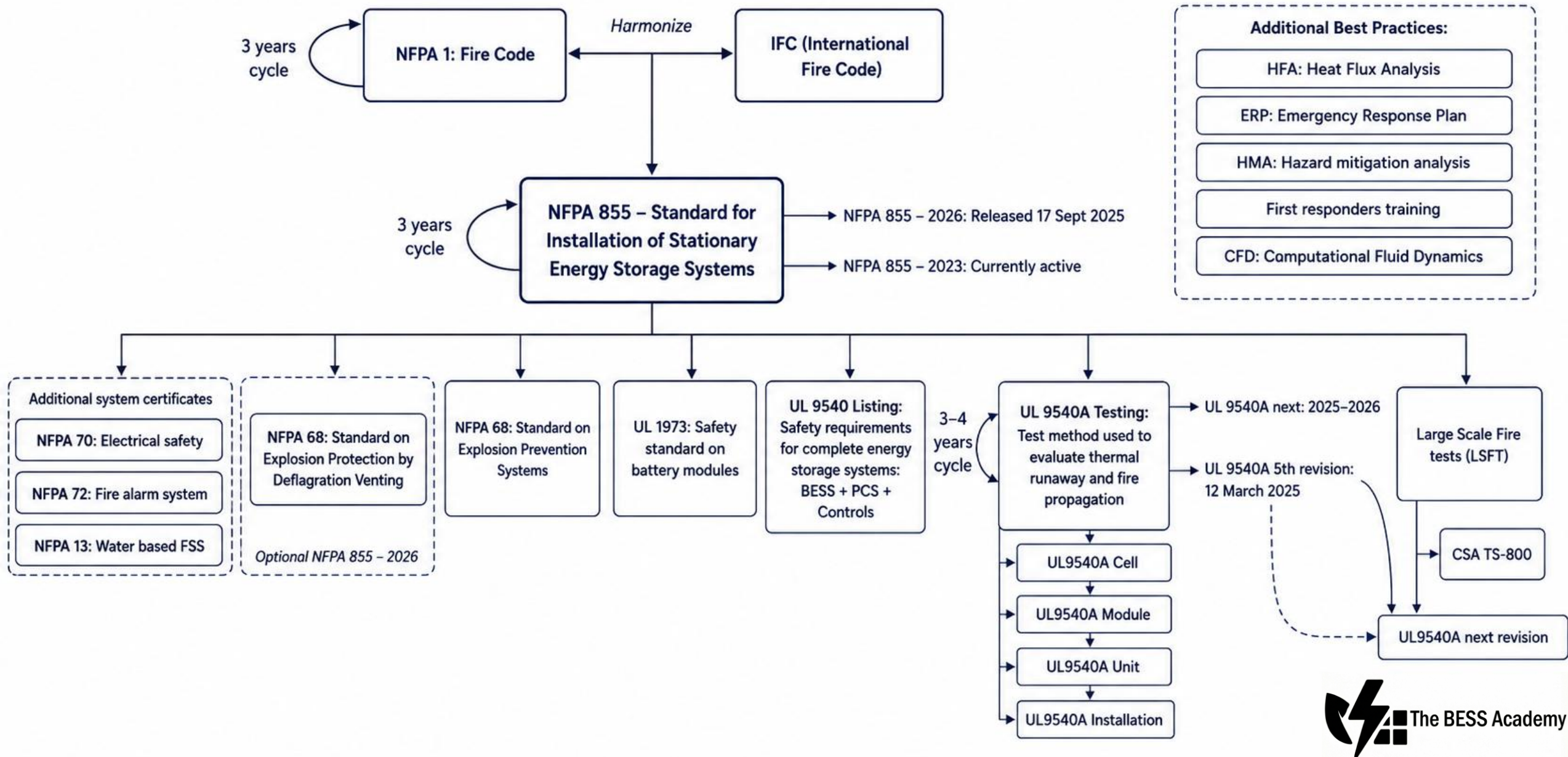
Códigos y normas NFPA, UL, IEC

Emergencias y coordinación con bomberos

Impactos ambientales y sociales



SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS: PANORAMA REGULATORIO



SEGURIDAD BESS: MARCO REGULATORIO CLAVE



Qué nos quedamos del marco americano y cómo lo traducimos a IEC



Nota: la equivalencia entre marcos es funcional, no literal. En Europa la conformidad suele construirse con la suma de normas IEC, ensayos, análisis de riesgos y requisitos de autoridades competentes.

BESS EN ESPAÑA: MARCO REGULATORIO EXIGIDO EN SUBVENCIONES

Qué están pidiendo IDAE, FEDER y PERTE para proyectos de almacenamiento



España no pide solo permisos: pide seguridad BESS, ciberseguridad y evidencia documental.



La convocatoria IDAE / FEDER 2025 es la que concreta de forma más explícita los requisitos técnicos BESS.



PRTR



PERTE ERHA



FEDER 2021-2027 / IDAE



1. Cumplimiento sectorial y de red

- Ley 24/2013
- RD 1183/2020
- RD 647/2020
- Orden TED/749/2020
- NTS 2.1

Acceso y conexión, integración en red y requisitos técnicos del sistema



2. Regulación específica de baterías

- Reglamento (UE) 2023/1542
- Conformidad UE para celdas, módulos y racks, cuando aplique

Marco europeo de baterías y residuos de baterías



3. Seguridad BESS / Protección contra incendios

- UNE-EN IEC 62933-5-1 / -5-2 o NFPA 855:2023
- UNE-EN IEC 63056 o UL 9540A
- UNE-EN IEC 62619 o UL 1973

- ✓ Aplicable a sistemas stand-alone e híbridos
- ✓ Vía alternativa admitida si se demuestra equivalencia técnica



4. Ciberseguridad

- NIS2
- ENS (RD 311/2022)
- ISO 27001
- Servidores y control de datos en la UE

Resiliencia digital y control seguro de la solución



5. Condiciones ambientales y de financiación

- DNSH
- Evaluación ambiental
- Climate proofing
- Cadena de valor y resiliencia

Condiciones transversales del expediente de ayuda



Fase de resolución

- Declaraciones responsables
- Memoria justificativa
- Procedimientos de cumplimiento

Evidencias que pide la ayuda



Fase de justificación

- Certificados y declaraciones UE
- Auditorías y trazabilidad
- Memoria firmada por técnico cualificado
- Evidencias de cadena de valor



Si me tengo que quedar con lo esencial



IDAE / FEDER 2025 es la referencia más explícita en normas BESS



España admite un enfoque híbrido: IEC + UL / NFPA



PERTE / PRTR añaden DNSH, acceso y conexión y obligaciones documentales



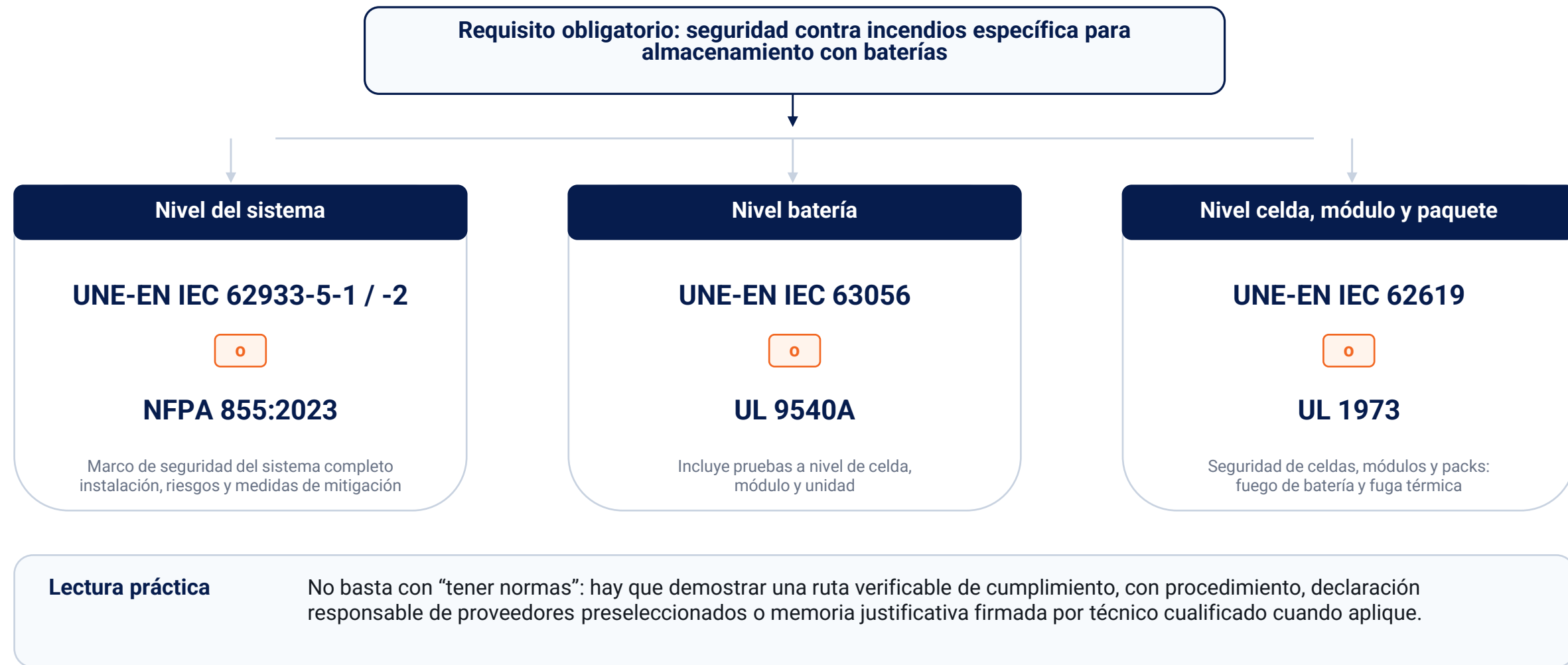
Marco orientado a subvenciones. No sustituye la revisión del expediente, la normativa sectorial aplicable ni el criterio de la autoridad competente.

www.thebessacademy.com



IDAE/FEDER | Seguridad contra incendios en BESS

Ruta documental de cumplimiento para sistemas stand-alone o híbridos

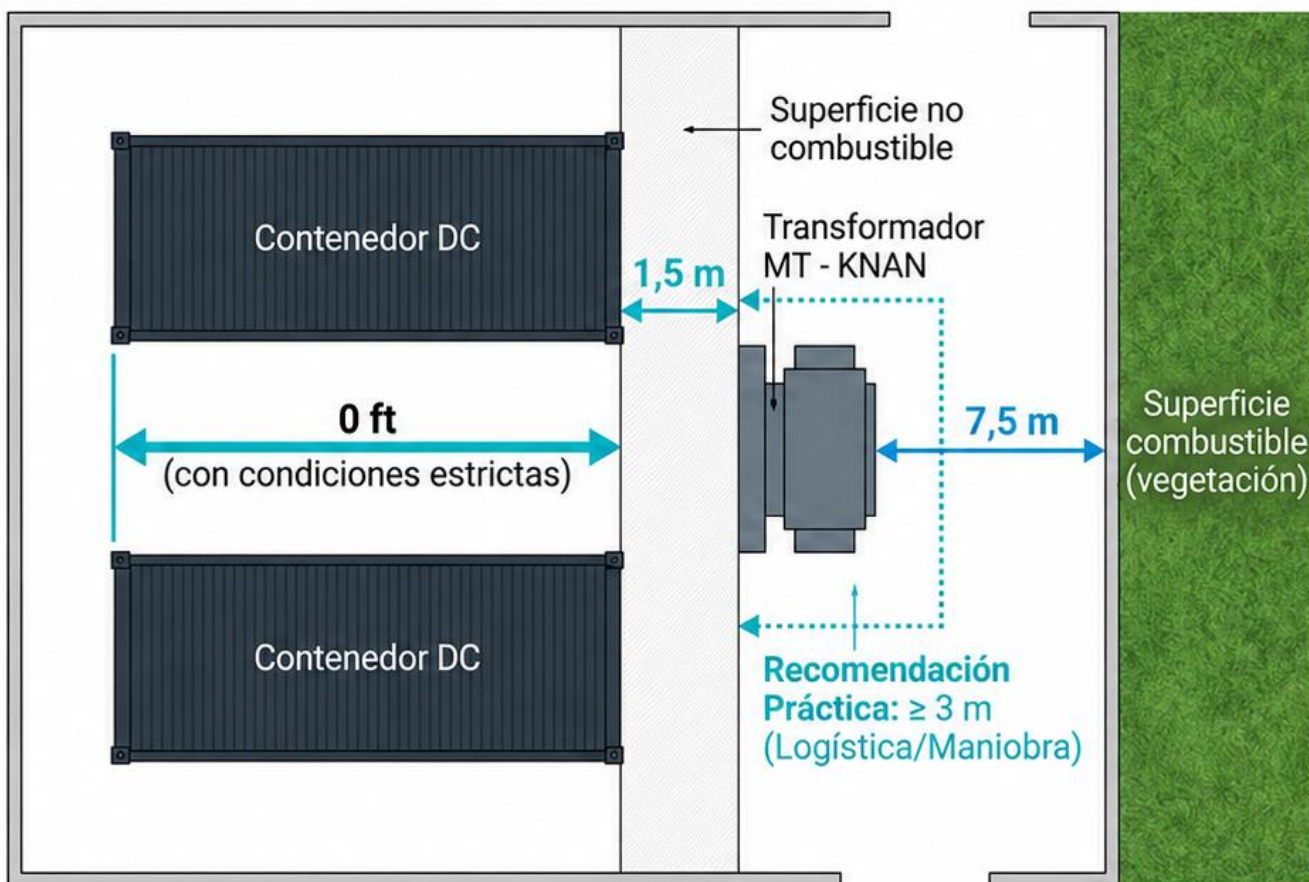


Codificando la Seguridad: El Lenguaje de los Estándares

Las mejores prácticas y las lecciones aprendidas solo son efectivas cuando se convierten en un estándar medible y exigible. Las normativas son la diferencia entre la prevención y el accidente.



El Espacio entre el Riesgo y la Seguridad: Distancias Mínimas.



1. Separación entre Contenedores BESS (NFPA 855:2023)

- **Requisito General:** Evitar propagación de fuego, riesgos de explosión y bloqueo de acceso.
- **Excepción (0 ft separación):** Se puede colocar adyacente SOLO si se cumplen condiciones estrictas (resistencia al fuego de 2h, pruebas UL 9540A demuestran no propagación, etc.).

2. Separación con Transformadores MT (IEC 61936-1)

- **Tipo de Transformador:** Se basa en el tipo de fluido (e.g., KNAN).
- **Distancias Mínimas (KNAN):**
 - 1,5 m a superficies no combustibles (contenedores DC).
 - 7,5 m a superficies combustibles (vegetación).
- **Recomendación Práctica:** Mantener al menos 3 m por motivos logísticos (maniobra, puertas).

NFPA 855:2023 – Separación mínima entre contenedores BESS

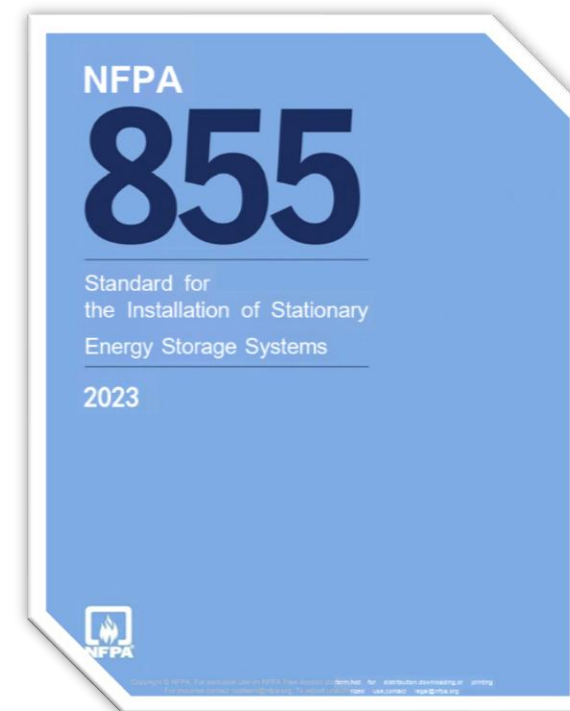
Requisito general (Sección 9.5.2.6)

Las instalaciones ESS exteriores deben mantener **una separación mínima** para evitar:

- Propagación del fuego
- Riesgos de explosión
- Bloqueo del acceso

Los **contenedores pueden colocarse adyacentes (0 ft de separación)** únicamente si se cumplen **todas** las siguientes condiciones:

Condición
Los sistemas están dentro de una estructura común tipo walk-in con resistencia al fuego de 2 horas
Ensayos a escala completa (UL 9540A) demuestran ausencia de propagación del fuego incluso con contenedores adyacentes
El conjunto se considera una única zona de incendio , con muros o elementos cortafuego que lo aíslan de otras exposiciones
La instalación está diseñada como un edificio ESS de uso exclusivo , con sistemas internos de supresión y ventilación



Distancias de seguridad en transformadores de media tensión (IEC 61936-1). Define y diferencia KNAN de ONAN.



En los sistemas BESS, los transformadores de media tensión (MV-TX) deben cumplir con la norma **IEC 61936-1**, que define las **distancias mínimas de separación para transformadores** según el tipo de fluido y nivel de protección del equipo.



Tipo de transformador: KNAN vs ONAN que es esto?



Distancias mínimas (IEC 61936-1:2021) para transformador KNAN



G1 = 1,5 m → para superficies **no combustibles** (contenedores DC)



G2 = 7,5 m → para superficies **combustibles** (madera, vegetación, etc.).

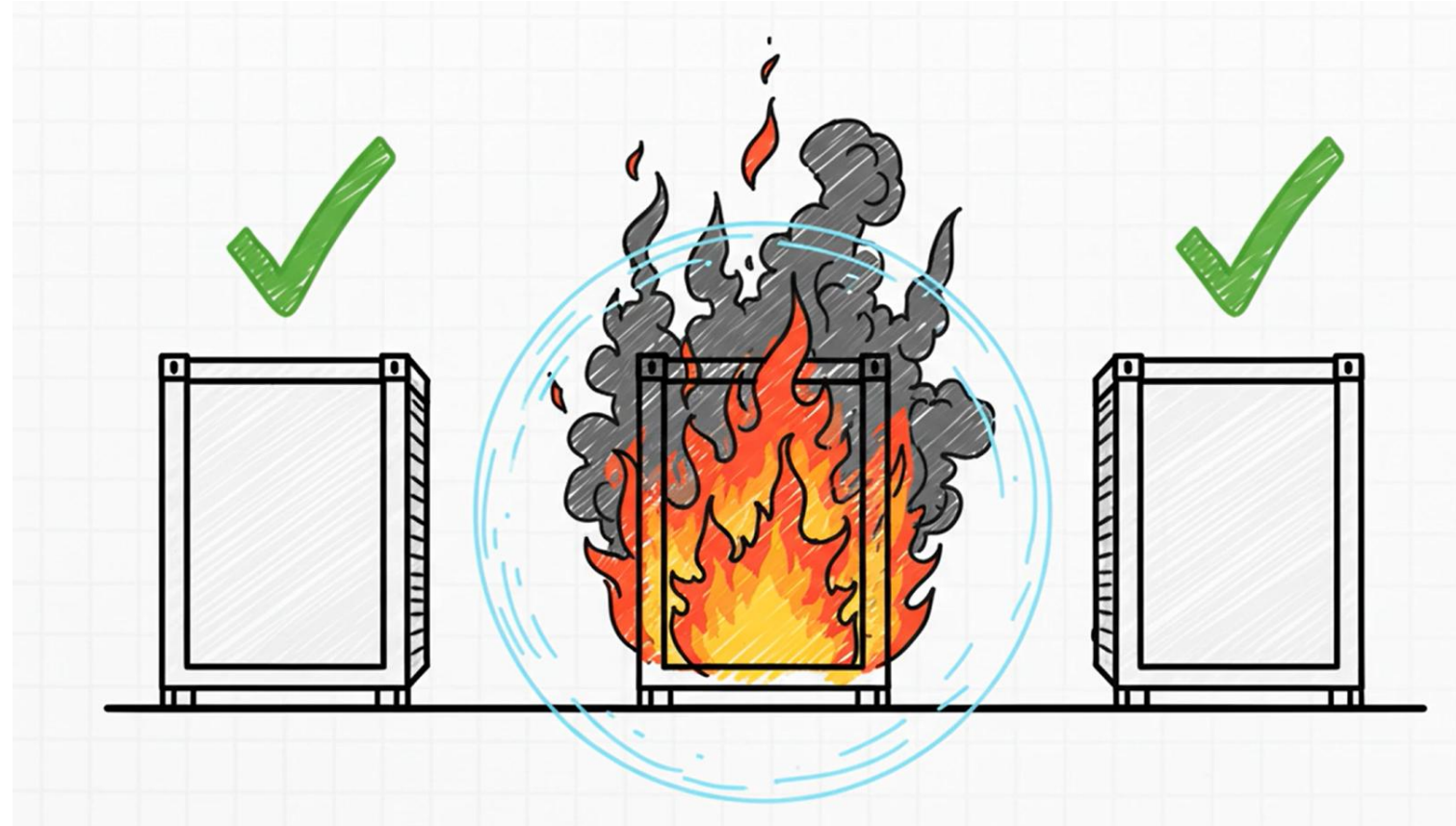


En la práctica.. por motivos logísticos (maniobra, puertas, carretillas, etc.) se recomienda **mantener al menos 3 m del contenedor de media tensión y subir a 7.5m**

**La prueba definitiva:
quemar el sistema entero**

🔥 Large Scale Fire Testing (LSFT)

Para aprobar el LSFT hay que hacer algo tan simple (y tan caro) como esto:
Quemar contenedores de baterías completos y demostrar que el fuego no se propaga de un módulo a otro ni de un contenedor a otro.
No se trata de una simulación: son pruebas reales a escala completa.



🔥 Large Scale Fire Testing (LSFT)

Pasar el LSFT no es un requisito menor:

- Garantiza la seguridad en campo real.
- Acredita cumplimiento con NFPA 855 / CSA 800 / UL 9540A.
- Y sobre todo, abre las puertas a proyectos utility-scale internacionales.

Para aprobar el LSFT hay que hacer algo tan simple (y tan caro) como esto:

quemar contenedores de baterías completos y demostrar que el fuego no se propaga de un módulo a otro ni de un contenedor a otro.

No se trata de una simulación: son pruebas reales a escala completa.

¿Por qué importa?

Las normativas internacionales —sobre todo en EE. UU. y Europa— exigen certificar que un sistema BESS pueda confinar un evento térmico sin afectar a unidades vecinas.

Esto es clave para cumplir con los códigos de seguridad y poder instalar en proyectos utility-scale.



Source: IA generated

Ejemplo de ensayo de fuego a gran escala. ENVISION LARGE SCALE FIRE TESTING. LSFT. Dentro video....



Actualizaciones Normativas importantes

NFPA, CSA, UL

UL 9540A vs CSA C800:25

¿Competencia o transición en los ensayos de thermal runaway para BESS?

UL 9540A

Ensayo de referencia más extendido

-  Evalúa thermal runaway y propagación de fuego en ESS.
-  Muy implantado en utility-scale y due diligence.
-  Base técnica frecuente en ensayos históricos y documentación de proyectos.
-  Sigue siendo la referencia más reconocida a nivel internacional.



CSA C800:25

Nueva alternativa con sello CSA

-  Marco canadiense para ensayos de thermal runaway fire propagation.
-  Gana peso regulatorio, especialmente en Canadá.
-  Entra en la conversación como alternativa válida frente a UL 9540A.
-  Puede convivir con UL durante una fase de transición.

Qué conviene decir hoy

1



Los ensayos históricos no desaparecen por arte de magia.

2



En proyectos nuevos, revisar qué exige el código, la AHJ, el cliente y la aseguradora.

3



Lectura de mercado: probable convivencia y transición de 1-2 años.

4



Más que un ganador único, estamos entrando en una fase de convergencia.



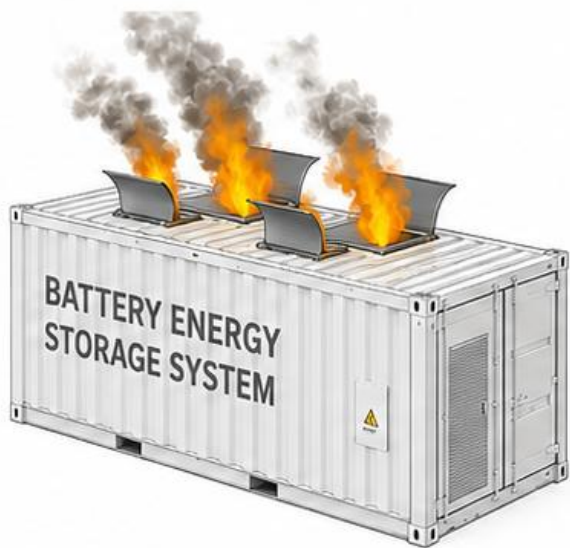
Mensaje clave: hoy no se trata de elegir bando, sino de entender qué estándar acepta cada mercado y cada autoridad competente.



Nota: el periodo de transición mostrado es una lectura de mercado orientativa. La aceptación final depende del código aplicable, la autoridad competente (AHJ), los requisitos contractuales y la aseguradora.

NFPA 68: Protección frente a explosiones mediante venteo de deflagración

- La NFPA 68 permite ventear los gases de combustión y las sobrepresiones generadas por una deflagración dentro de un recinto, de forma que se minimicen los daños estructurales y mecánicos.
- Enfoque pasivo: reduce los efectos de una explosión, pero no la evita.



NFPA 69: Sistemas de prevención de explosiones

- La NFPA 69 contempla sistemas para la detección y prevención de explosiones en recintos con concentraciones de gases inflamables, manteniéndolas por debajo del 25 % del LFL (Límite Inferior de Inflamabilidad).
- Enfoque activo: orientado a prevenir la explosión.



Gas liberado en el venteo	Química de celdas LIB				
	LFP	LTO	Na-ion	NCA	NMC
H ₂	43.9%	15.2%	35.7%	30.4%	22.2%
CO	8.9%	10.4%	26.3%	27.9%	20.7%
UHC	8.1%	1.9%	4.4%	8.7%	4.0%
CO ₂	39.1%	72.5%	33.6%	33.0%	53.1%
Volumen total	1.2 L/Ah	0.9 L/Ah	16.8 L/Ah	2.0 L/Ah	1.7 L/Ah

Actualización 2025:
En NFPA 855 - 2026:
Solo NFPA 69 es obligatorio para BESS



Certificaciones típicas del fabricante

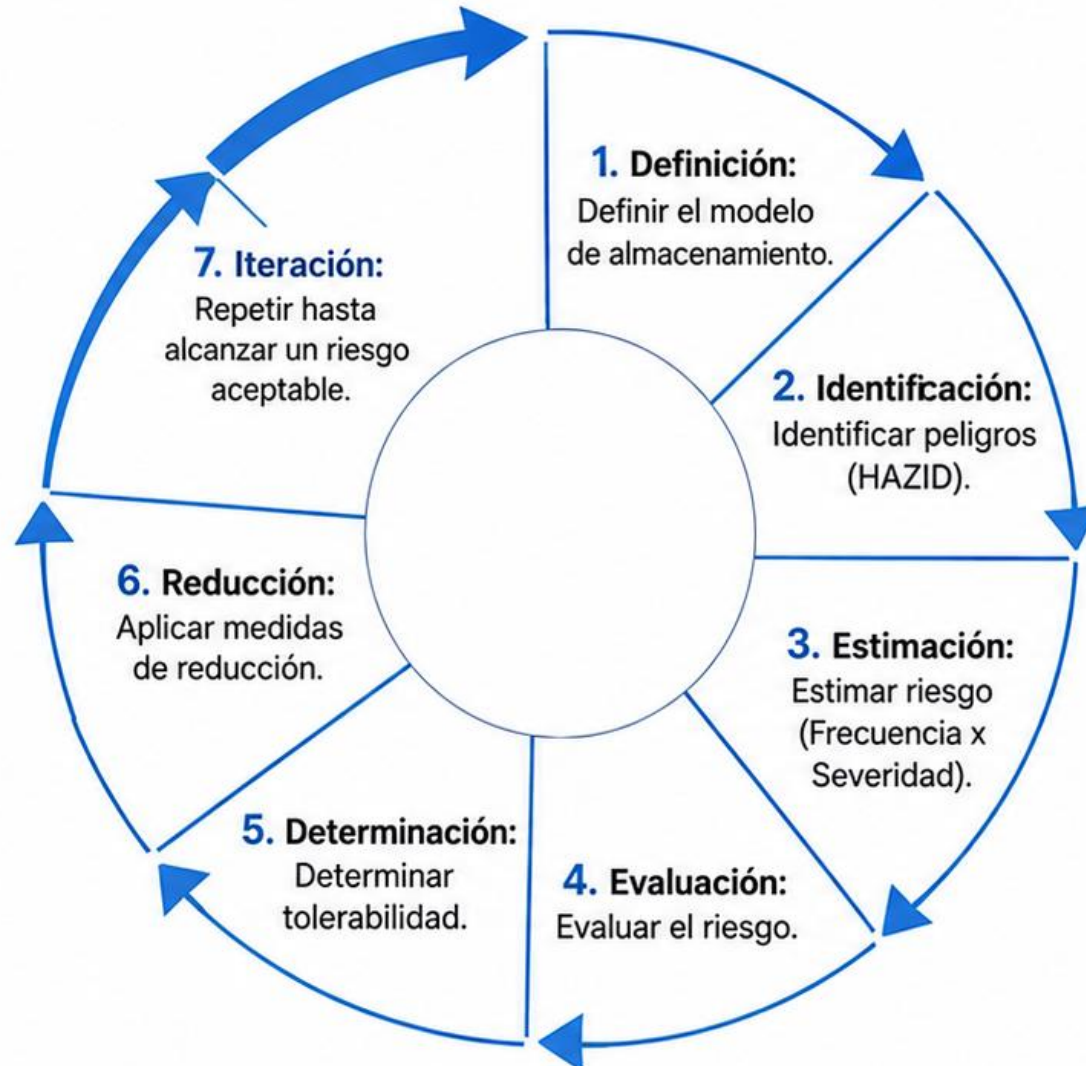
Ámbito documental habitual para AC System y DC Battery System

Ámbito	Normas / evidencias típicas
Celda (LFP)	UL 1642 · UN38.3
Pack / Rack	UL 9540A · UN38.3 · IEC 60529 · IEC 62619 · IEC 63056 · UL 1973 · EN/IEC 62477-1
Container / System	IEC 63056 · UL 1973 · IEC 62619 · IEC 62933-5-2 · IEC 61000-6-2 / -4 · EN/IEC 62477-1 · IEC 60730-1 · UN3536 · UN38.3 · UL 9540A
AC / Media tensión	IEC 62909-1 · IEC 62109-1 / -2 · IEC 62271-202 (AC Skid) · IEC 62271-100 (RMU) · IEC 61439-1 / -2 (LV Cabinet)
Soporte complementario habitual	UL 9540A test reports (cell / rack / pack) · NFPA 68 · NFPA 69 · HMA · CSA 800:2025 y desde 2026 UL9540A a nivel de Large Scale Fire testing.

Nota: slide orientativa basada en el alcance típico de certificaciones y ensayos de fabricante.
El alcance exacto puede variar según configuración, mercado y revisión documental.

El Plan Estratégico: Análisis de Riesgos (PER) según IEC 62933

La mitigación de riesgos no es reactiva, es un proceso iterativo y documentado.



Elementos clave del PER

- Descripción del sitio y entorno.
- Evaluación de riesgos (cuantitativa/cualitativa).
- Diseño de planta adaptado y medidas de mitigación.
- Integración con el Plan de Gestión de Incendios (PGI).

Checklist de seguridad

Checklist de Seguridad BESS: Del Diseño a la Operación (Parte 1/2).



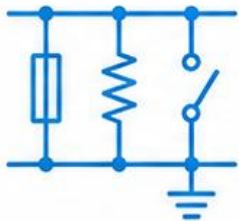
Selección de Celdas y Proveedores

- ☐ Confirmar certificación IEC 62619 / UL 1973.
- ☐ Asegurar trazabilidad de lotes y auditorías de fabricación.



Arquitectura Térmica y Refrigeración

- ☐ Dimensionar según C-rate y clima.
- ☐ Validar distribución uniforme del flujo térmico.



Diseño Eléctrico Seguro

- ☐ Incorporar fusibles, contactores inteligentes y relés redundantes.
- ☐ Verificar protección contra cortocircuitos y sobretensiones.



Detección Temprana (Gases y Temperatura)

- ☐ Sensores de CO, H₂, HF calibrados y monitorizados.
- ☐ Alarmas jerarquizadas (alerta → advertencia → crítica).



Arquitectura Térmica y Refrigeración

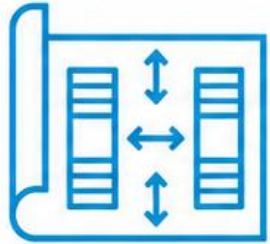
- ☐ Dimensionar según C-rate y clima.
- ☐ Validar distribución uniforme del flujo térmico.



Estrategia de Supresión y Contención

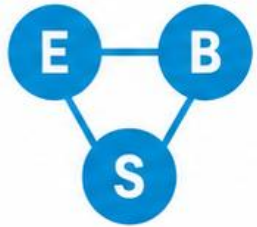
- ☐ Confirmar tipo de agente (aerosol, CO₂, etc.).
- ☐ Validar cumplimiento UL 9540A / NFPA 855.

Checklist de Seguridad BESS: Del Diseño a la Operación (Parte 2/2).



6. Diseño Físico y Segregación

- ☐ Mantener distancias mínimas y barreras cortafuegos.
- ☐ Comprobar ventilación cruzada y rutas de evacuación.



7. Integración EMS / BMS / SCADA

- ☐ Revisar gestión automática de alarmas y ventilación por el BMS.
- ☐ Confirmar integración de datos sin retrasos.



8. Protocolos de Emergencia y Coordinación

- ☐ Manual de emergencia actualizado y accesible in situ.
- ☐ Formación al personal y bomberos en desconexión DC/AC.



9. Mantenimiento Preventivo Periódico

- ☐ Inspecciones térmicas trimestrales.
- ☐ Revisión semestral de sensores y sistemas de supresión.
- ☐ Simulacros anuales.



10. Cumplimiento Normativo y Documentación

- ☐ Archivo técnico con resultados de pruebas (UL 9540A, CSA C800-2025, etc.)



Aviso Legal y Descargo de Responsabilidad

La información contenida en esta formación ha sido elaborada a partir de fuentes públicas consideradas de buena fe y de acceso libre, incluyendo, entre otras, publicaciones en LinkedIn, vídeos de YouTube, páginas web del sector energético, noticias especializadas y documentación técnica disponible públicamente.

En la medida de lo posible, se han citado las fuentes originales. No obstante, el autor **no garantiza la exactitud, integridad o actualización de los datos y no asume responsabilidad alguna** por posibles errores, omisiones o interpretaciones incorrectas.

- Este material se ofrece con fines **exclusivamente formativos y divulgativos**. No constituye asesoramiento técnico, financiero, jurídico ni contractual, y **no debe ser utilizado como base única para la toma de decisiones profesionales o empresariales**. El autor no se hace responsable de las consecuencias derivadas del uso o aplicación práctica de la información aquí expuesta.
- Si alguna persona o entidad considera que parte del contenido infringe derechos de propiedad intelectual o de otro tipo, se ruega comunicarlo al autor para proceder, si procede, a su corrección o retirada en el menor plazo posible.
- Asimismo, **toda la información, opiniones y valoraciones expresadas en esta formación son a título estrictamente personal** de su autor, Juan Álvarez, y **no representan ni vinculan a ninguna empresa u organización con la que este colabore o haya colaborado**. Es posible que, por razones de análisis o aprendizaje, se incluyan comentarios o planteamientos técnicos que difieran de las posiciones oficiales de dichas entidades.
- En definitiva, este contenido se comparte **con la única intención de fomentar el conocimiento colectivo en torno al almacenamiento energético y su industria**, con el máximo rigor y respeto, pero sin garantía de infalibilidad.

Nota adicional: A lo largo del curso se emplean con frecuencia expresiones, términos y **acrónimos en inglés**, dado que la actividad profesional del autor se desarrolla principalmente en dicho idioma. Se ha procurado traducirlos y explicarlos en la medida de lo posible, aunque en algunos casos se mantienen en su forma original por ser el lenguaje habitual del sector del almacenamiento energético.