

Modelado de Aplicaciones de Almacenamiento de Energía en Tarifas Horarias

Nuestros Objetivos de Sesión

En esta sesión, nos sumergiremos en los aspectos clave para comprender y aplicar los sistemas de almacenamiento de energía en un contexto de tarifas horarias. Buscamos empoderarte con el conocimiento y las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos energéticos actuales.

Fundamentos de Tarifas Horarias en Media Tensión

Comprender la estructura y los periodos de las tarifas eléctricas de media tensión en México, como la GDMTH, es fundamental para identificar oportunidades de ahorro y optimización.

Conceptos Técnicos Clave de Almacenamiento con Baterías

Definiremos la terminología esencial de los BESS, BESS, desde su potencia nominal y energía, hasta su hasta su eficiencia y ciclos de vida, sentando las bases para su correcto dimensionamiento.

Metodología de Modelado Técnico – Económico

Presentaremos un enfoque estructurado para el modelado que considera tanto el rendimiento técnico del BESS como la viabilidad económica de su implementación, permitiendo tomar decisiones informadas.

Taller Práctico en Excel con un Caso Real

Aplicaremos los conceptos aprendidos en un ejercicio práctico en Excel, simulando la operación de un BESS bajo tarifas horarias reales para visualizar el impacto en la factura eléctrica.

Identificar Beneficios y Limitaciones del Uso de BESS

Analizaremos las ventajas competitivas que los BESS ofrecen en la gestión de la demanda, así como los factores a considerar para su implementación exitosa y sus posibles restricciones.

Nuestra Ruta de Aprendizaje

Hemos diseñado una agenda dinámica y completa para garantizar que aproveches al máximo esta sesión y te lleves un conocimiento aplicable y relevante.

01

1. Introducción y Fundamentos (30 min)

Iniciaremos con una descripción general del panorama energético y una explicación detallada de las bases teóricas necesarias para entender los sistemas BESS y las tarifas eléctricas.

02

2. Modelado Técnico–Económico (60 min)

Exploraremos las metodologías y herramientas para simular el comportamiento de un BESS y evaluar su rentabilidad bajo diferentes escenarios de precios y patrones de consumo.

03

3. Taller Práctico en Excel (60 min)

Será el momento de aplicar el conocimiento. Realizaremos un ejercicio paso a paso para construir un modelo de optimización que simule la operación de un BESS.

04

4. Resultados, Checklist y Conclusiones (30 min)

Revisaremos los resultados del taller, proporcionaremos un checklist de consideraciones clave para proyectos BESS y cerraremos con las principales conclusiones de la sesión.

Componentes Principales de un BESS

Un Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS) es una tecnología que permite almacenar energía eléctrica para su uso posterior, funcionando como una "batería gigante" conectada a la red.



Batería (LFP, NMC)

El corazón del sistema, donde se almacena la energía. Las tecnologías más comunes son Litio-Fosfato de Hierro (LFP) por su seguridad y por su seguridad y vida útil, y Níquel-Manganeso-Cobalto (NMC) por su alta densidad energética.



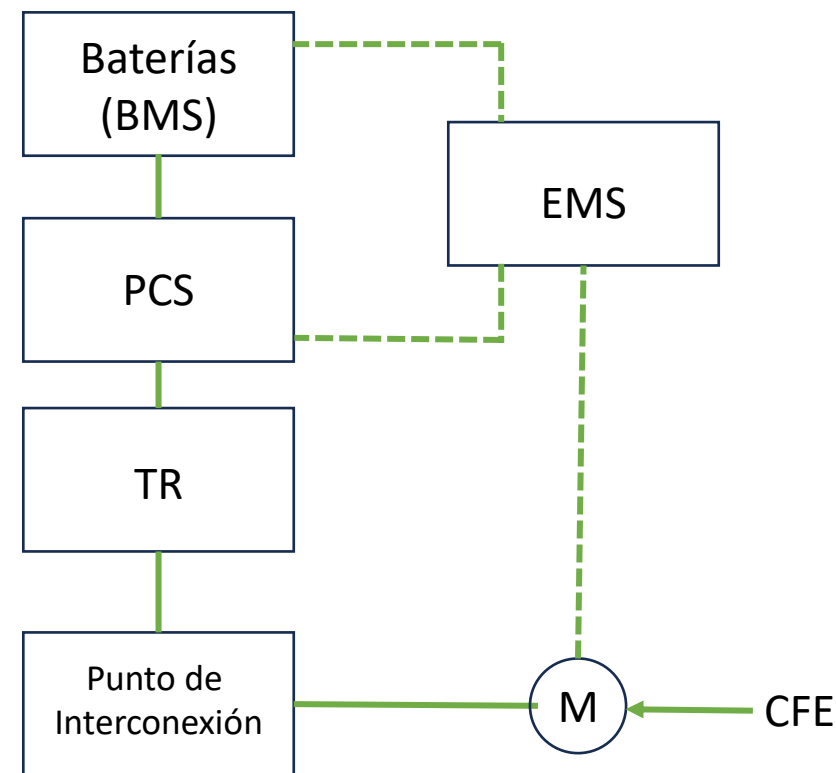
PCS (Power Conversion System)

Encargado de convertir la corriente continua (DC) de la batería a corriente alterna (AC) para la red, y viceversa, controlando el flujo de energía.



EMS (Energy Management System)

El "cerebro" del BESS. Este software inteligente optimiza la carga y descarga de la batería en tiempo real, basándose en tarifas, demanda y otras variables para maximizar el ahorro y la eficiencia.



La función principal de un BESS es dual: almacenar energía en momentos de bajo costo de electricidad (ej. madrugada) y entregarla cuando los precios son altos (ej. horas punta) o durante interrupciones del suministro, asegurando la continuidad operativa y reduciendo costos.

Conceptos Clave del BESS

Para entender y dimensionar correctamente un Sistema de Almacenamiento con Baterías, es fundamental dominar la siguiente terminología técnica:

Potencia (kW)

Capacidad (kWh)

Eficiencia (%)

Ciclos de Vida

Degradación

Comprender estos conceptos es crucial para dimensionar un BESS que se ajuste a las necesidades específicas de cada aplicación y optimice la inversión a lo largo de su vida útil.

Aplicaciones Estratégicas del BESS

Los Sistemas de Almacenamiento con Baterías ofrecen una versatilidad increíble, adaptándose a diversas necesidades para optimizar la gestión energética y la estabilidad de la red.



Peak Shaving

Reducción de la demanda de electricidad durante las horas pico de consumo, minimizando los cargos por demanda máxima en la factura eléctrica. Esto se logra cargando el BESS en horas valle y descargándolo en horas punta.



Servicios Auxiliares

Contribuye a la estabilidad y fiabilidad de la red eléctrica mediante el control de frecuencia, soporte de voltaje y amortiguación de fluctuaciones, mejorando la calidad del suministro.



Respaldo Energético

Proporciona continuidad en el suministro eléctrico ante fallas o interrupciones de la red, asegurando la operación de cargas críticas y evitando pérdidas productivas o de información.



Integración Renovable

Gestiona la intermitencia de fuentes de energía renovable como la solar y la eólica, almacenando el excedente de producción y entregándolo cuando la demanda lo requiere o la fuente no está disponible.



Arbitraje de Energía

Aprovecha las fluctuaciones del precio de la electricidad a lo largo del día: compra energía cuando es barata (horas valle) y la vende o utiliza cuando es cara (horas punta), generando ahorros o ingresos adicionales.

Cada una de estas aplicaciones representa una oportunidad para optimizar el consumo de energía, aumentar la resiliencia operativa y potenciar la transición hacia un sistema energético más sostenible.



La Tarifa GDMTH en México

La Tarifa General de Media Tensión Horaria (GDMTH) es un esquema de precios de electricidad diseñado para clientes con demandas con demandas significativas de energía, principalmente industriales y comerciales en México. Su característica distintiva es la variación distintiva es la variación de precios según el horario de consumo.

Entendiendo los Periodos Tarifarios

Periodo Base

Corresponde a las horas de menor demanda eléctrica, usualmente la madrugada y la noche. Es el horario con la tarifa más económica, ideal para cargar sistemas de almacenamiento o realizar procesos de baja prioridad.

Periodo Intermedio

Son las horas de transición entre los periodos de baja y alta demanda. Su costo es moderado y representa una oportunidad para una gestión eficiente de la energía si no se puede evitar el consumo en horas punta.

Periodo Punta

Se refiere a las horas de mayor demanda en el sistema eléctrico nacional, donde el costo de la energía es significativamente más significativamente más elevado. Coincide con las horas productivas de muchas industrias y el uso residencial intensivo.

El impacto de esta estructura tarifaria es crucial: el costo de la energía consumida en el periodo punta puede **duplicar o triplicar** el precio del periodo base. La gestión inteligente del consumo en estos horarios es clave para la reducción de costos operativos.

TARIFA:GDMTH	NO. MEDIDOR:MY854M	MULTIPLICADOR:140
		NO HILOS:3
CARGA CONECTADA kW:429	DEMANDA CONTRATADA kW:426	
Concepto		Consumo
		Medida ☒ Estimada ☐
kWh base		38,097
kWh intermedia		84,050
kWh punta		20,228
kW base		341
kW intermedia		415
kW punta		322
KWMax		415
kVArh		13,508

Regiones Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur			
Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre			
Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	
Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril			
Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

Peninsular

Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	Unidades	AGO-25
GDMTH	Gran demanda en media tensión horaria	-	Fijo	\$/mes	421.57
		Base	Variable (Energía)	\$/kWh	1.3593
		Intermedia	Variable (Energía)	\$/kWh	2.3050
		Punta	Variable (Energía)	\$/kWh	2.5749
		-	Distribución	\$/kW	94.61
		-	Capacidad	\$/kW	439.43

Golfo Norte

Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	Unidades	AGO-25
GDMTH	Gran demanda en media tensión horaria	-	Fijo	\$/mes	551.77
		Base	Variable (Energía)	\$/kWh	1.1208
		Intermedia	Variable (Energía)	\$/kWh	1.7533
		Punta	Variable (Energía)	\$/kWh	1.9049
		-	Distribución	\$/kW	60.23
		-	Capacidad	\$/kW	450.17

Valle de México Norte

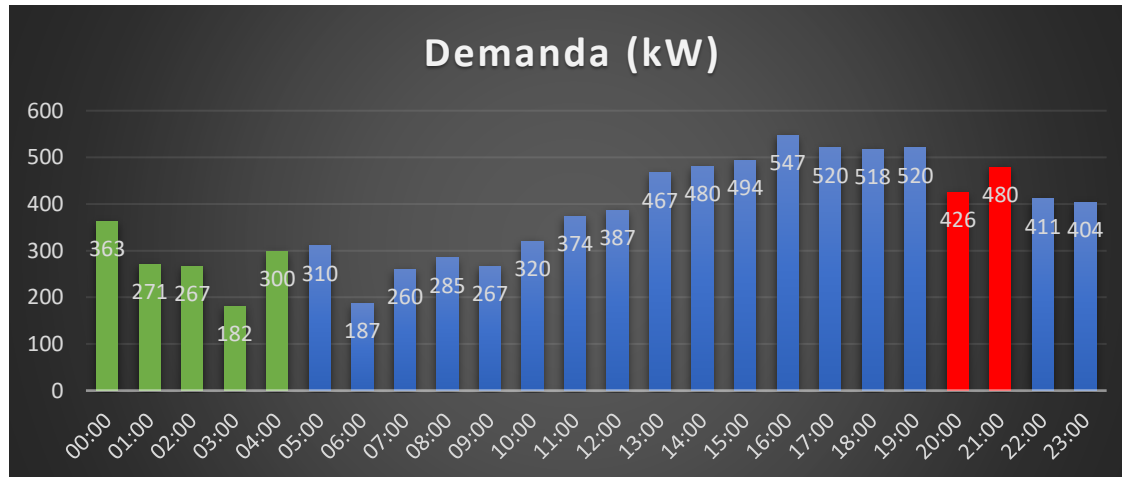
Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	Unidades	AGO-25
GDMTH	Gran demanda en media tensión horaria	-	Fijo	\$/mes	563.57
		Base	Variable (Energía)	\$/kWh	1.2147
		Intermedia	Variable (Energía)	\$/kWh	2.0131
		Punta	Variable (Energía)	\$/kWh	2.3574
		-	Distribución	\$/kW	91.12
		-	Capacidad	\$/kW	450.17

Jalisco

Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	Unidades	AGO-25
GDMTH	Gran demanda en media tensión horaria	-	Fijo	\$/mes	372.38
		Base	Variable (Energía)	\$/kWh	1.1126
		Intermedia	Variable (Energía)	\$/kWh	2.0051
		Punta	Variable (Energía)	\$/kWh	2.2591
		-	Distribución	\$/kW	167.07
		-	Capacidad	\$/kW	439.43

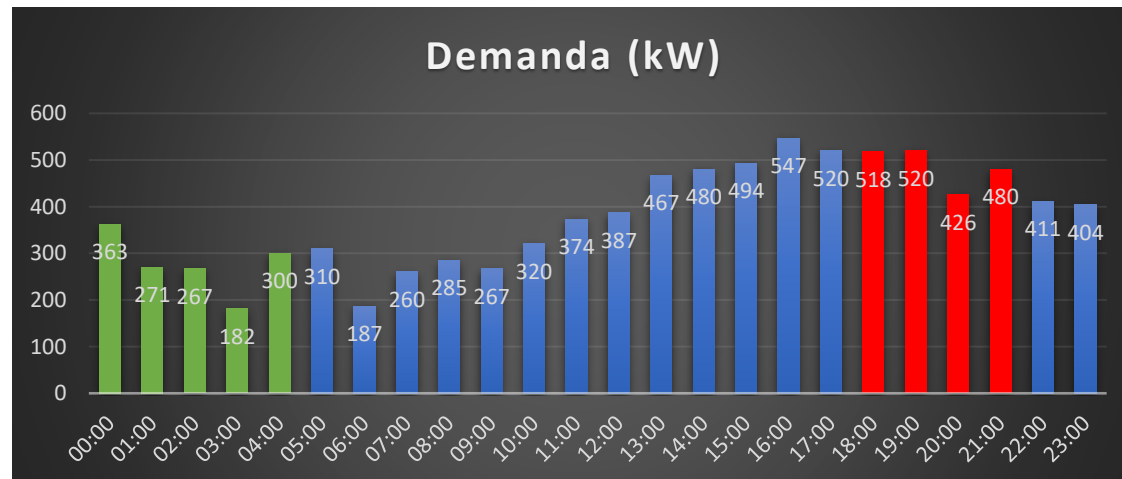
Perfil de Consumo sin BESS

Comprender el patrón de consumo energético es el primer paso para identificar oportunidades de ahorro. Aquí presentamos una curva de carga típica de un cliente industrial sin la intervención de un Sistema de Almacenamiento con Baterías (BESS).



Esta gráfica muestra cómo la demanda eléctrica (kW) varía a lo largo de un día. Podemos observar claramente que el consumo se eleva significativamente en las horas pico de producción.

El alto consumo entre las **18:00 y las 22:00 horas Abril – Octubre, 20:00 y las 22:00 horas – Octubre - Abril** es particularmente problemático. Este periodo coincide directamente con el horario punta de la tarifa GDMTH en México, lo que resulta en un costo energético sustancialmente más elevado para el cliente industrial.



Esta coincidencia horaria es la principal causa de que la factura eléctrica sea elevada, no elevada, no solo por el volumen de energía consumida, sino por el costo unitario de esa energía en el periodo más caro. Sin un BESS, la única alternativa es reducir la producción o aceptar el alto costo.

La Problemática Energética Actual

Los desafíos en la gestión energética de clientes industriales en México son complejos y multifacéticos, generando ineficiencias y costos operativos elevados que demandan soluciones innovadoras.

Facturas Elevadas en Clientes Industriales

La principal preocupación es el impacto de los altos costos de la electricidad, especialmente aquellos derivados del consumo en los periodos de punta y los cargos por demanda máxima.

Baja Flexibilidad para Desplazar Procesos Productivos

Muchas industrias tienen procesos continuos o programados que no pueden ser fácilmente ajustados para evitar las horas pico, limitando su capacidad de reacción ante las tarifas horarias.

Penalizaciones por Demanda Máxima

Además del costo por kWh, las empresas enfrentan cargos significativos por alcanzar picos de demanda, incluso si son demanda, incluso si son momentáneos. Estas penalizaciones impactan fuertemente el presupuesto energético. energético.

Es en este escenario donde los Sistemas de Almacenamiento con Baterías (BESS) emergen como una solución robusta y estratégica, ofreciendo una flexibilidad sin precedentes para mitigar mitigar estos desafíos y transformar el panorama energético de las industrias.

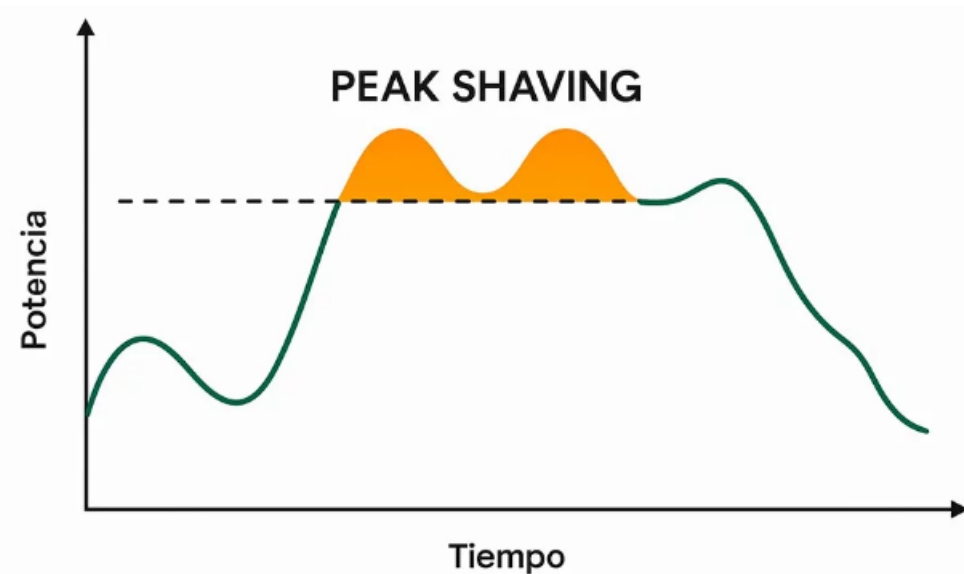
Necesidad de Soluciones Tecnológicas

Existe una clara urgencia por implementar herramientas y sistemas que permitan una gestión energética proactiva, reduciendo la dependencia de horarios fijos y optimizando el costo operativo general.

Estrategia de Peak Shaving: Reducción Inteligente de Costos

El **Peak Shaving** es una estrategia fundamental para optimizar el consumo eléctrico y reducir significativamente los costos operativos en empresas y grandes consumidores. Consiste en cargar la batería durante los horarios de **baja demanda** (horario base), cuando el costo de la electricidad es menor.

Posteriormente, la energía almacenada se descarga en los horarios de **alta demanda** (horario punta), evitando así consumir directamente de la red en los momentos de mayor precio. Esto no solo reduce la factura eléctrica, sino que también contribuye a la estabilidad de la red.



Carga Inteligente

Aprovecha tarifas bajas en horario base.
base.

Descarga Estratégica

Evita costos elevados en horario punta.

Optimización Garantizada

Reduce la demanda máxima y la factura
factura eléctrica.

Dimensionamiento Simplificado del BESS

Para una primera aproximación al tamaño de su sistema BESS, podemos usar un método simplificado que considera la potencia y la energía necesarias para su estrategia de Peak Shaving.

01

Potencia Requerida (kW)

Equivale a la **reducción deseada** de la demanda en horario punta. Es el pico de energía que desea "cortar".

02

Cálculo de Energía (kWh)

Se determina multiplicando la **potencia** por las **horas de descarga** necesarias para cubrir el periodo de pico.

03

Ejemplo Práctico

Si busca reducir 400 kW durante 2 horas, necesitará un BESS de **800** de **800 kWh** ($400 \text{ kW} \times 2 \text{ h}$).

04

Ajuste por Eficiencia

Considere la eficiencia del sistema (usualmente 90%). Para 400 kWh netos, kWh netos, necesitará aproximadamente **444 kWh** de capacidad bruta ($600 \text{ kWh} / 0.90$).

Dimensionamiento Avanzado: Precisión para su Inversión

Un dimensionamiento preciso va más allá de un cálculo simple. Implica un análisis exhaustivo del perfil de consumo anual, la evaluación de la degradación de las baterías y una proyección financiera detallada.



Análisis de Perfil de Carga

Estudio detallado del perfil anual de carga para identificar patrones de consumo y picos recurrentes.



Degradación del Sistema

Consideración de una degradación anual del 2-3% en la capacidad de la batería a lo largo de su vida útil.



Ciclos y Vida Útil

Definición de los ciclos diarios de carga y descarga para proyectar la vida útil esperada del sistema BESS.



Evaluación Financiera Integral

Análisis de CAPEX (inversión inicial), OPEX (costos operativos) y el LCOS (Costo Nivelado de Almacenamiento).



Taller Práctico en Excel: Datos de Entrada

Iniciaremos nuestro taller práctico simulando la operación de un BESS en un entorno real, utilizando datos de consumo.

Curva de Demanda Horaria

Utilizaremos los datos de consumo eléctrico de **un mes completo** para obtener la curva de demanda horaria de su instalación.

Clasificación Horaria

Identificación y segmentación de los horarios según la tarifa eléctrica: **base**, **intermedia** y **punta**, clave para la optimización.

Cálculo del Costo Base

Determinaremos el costo de su factura eléctrica **sin la implementación** del sistema de almacenamiento, sirviendo como línea base para la comparación.

Esta fase es crucial para entender su patrón de consumo y establecer una métrica clara de ahorro.



Taller Práctico en Excel: Simulación de Operación BESS

Una vez que tenemos la línea base, simulamos la intervención del BESS en su perfil de consumo.

→ Aplicación del BESS

Integramos un **BESS de 400 kWh** al modelo, ajustando su capacidad al capacidad al ejemplo anterior para observar su impacto.

→ Nueva Curva de Consumo

Visualizará una **nueva curva de consumo** donde los picos de demanda en horario punta se han "recortado" eficazmente, demostrando el efecto del Peak Shaving.

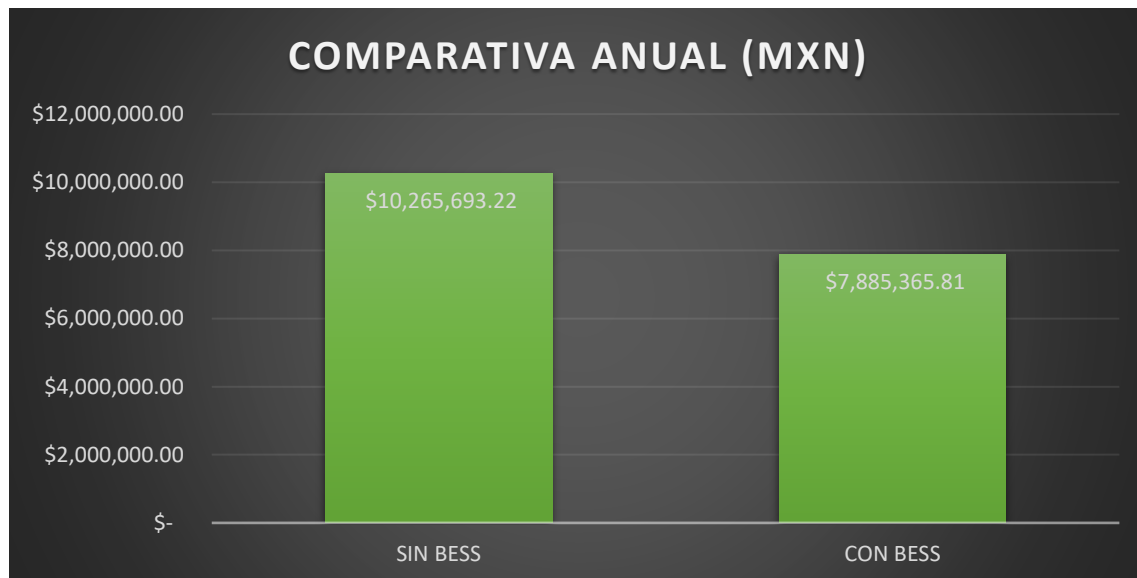
→ Simulación de Descarga

El sistema descarga automáticamente su energía **durante el horario punta, punta**, cubriendo la demanda y reduciendo la necesidad de energía de la red. de la red.

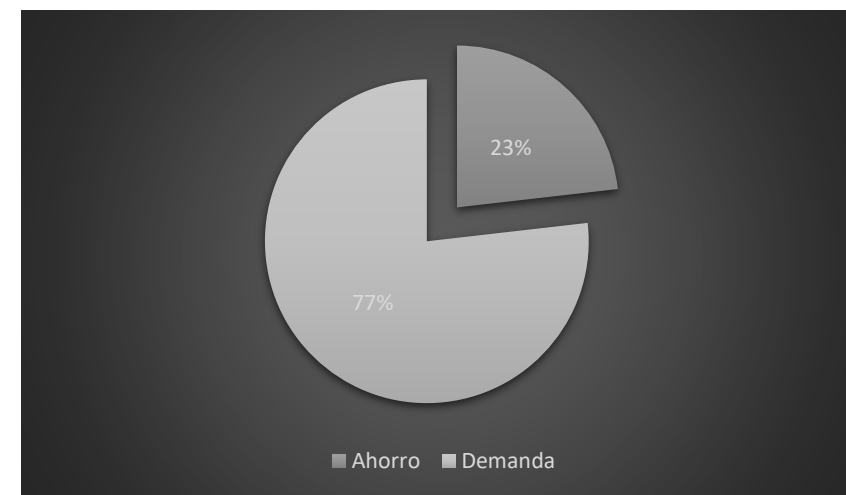
Esta simulación visualiza el impacto directo de la batería en su perfil de carga y los beneficios potenciales.



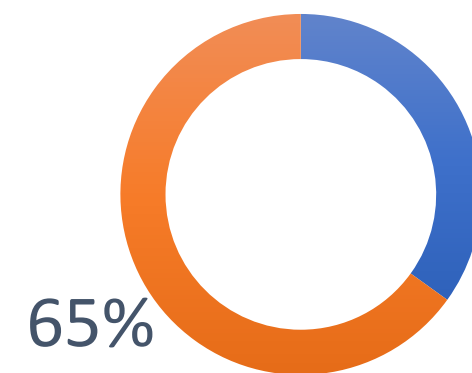
Taller Práctico en Excel: Análisis de Ahorros



Reducción Económica anual



Reducción Económica de Capacidad



Variaciones en el Modelado: Robustez de la Simulación

Un modelo robusto permite explorar diversos escenarios y optimizar la configuración de su BESS para maximizar los beneficios.



Ajuste de Capacidad

Cambiar la potencia y energía del BESS para encontrar la configuración óptima para sus necesidades.



Perfiles de Carga Alternos

Simular con diferentes perfiles de carga (estacionales, futuros) para escenarios más complejos.



Evaluación de Eficiencia

Simular con rangos de eficiencia del sistema (85-95%) para entender su impacto en el ahorro.



Escenarios de Sensibilidad

Análisis de sensibilidad económica a cambios en tarifas o costos de operación para decisiones informadas.

Resultados Clave del Caso Práctico

Tras el modelado y la simulación, obtenemos resultados tangibles que justifican la inversión en un BESS.

Métrica	Valor (Ejemplo)	Unidad	Observación
Ahorro Mensual	\$ 198,361	MXN	Beneficio directo en la factura.
Ahorro Anual	\$ 2,380,327	MXN	Impacto financiero acumulado.
Reducción Demanda Punta	65	%	Eficiencia en el Peak Shaving.
Periodo de Recuperación	3.10	Años	Estimación del Payback simple.
Periodo de Recuperación (BF)	2.17	Años	Estimación del Payback Beneficio

Estas cifras demuestran no solo la viabilidad técnica de la aplicación de Peak Shaving con BESS, sino también una sólida **viabilidad financiera** con un periodo de recuperación atractivo.

Conclusiones Clave y Recursos Adicionales

La implementación de sistemas BESS ofrece una vía clara hacia la eficiencia y la autonomía energética.

Reducción de Costos

El almacenamiento con baterías **reduce significativamente** los costos operativos bajo tarifas eléctricas horarias.

Peak Shaving, Aplicación Inmediata Inmediata

Es la aplicación más rentable y de **impacto directo** en los sistemas de Gran Demanda en Media Tensión y Horaria (GDMTH).

Modelado Esencial

Un modelado y simulación **rigurosos** son cruciales antes de cualquier inversión en BESS.

Bibliografía y Recursos

- CFE – Tarifas de Suministro: Información oficial sobre estructuras tarifarias en México.
- DOE – Energy Storage 101: Guía fundamental sobre sistemas de almacenamiento de energía.
- NREL – The Value of Energy Storage: Estudios sobre el valor económico de las baterías.
- IEC 62933 – Normas Internacionales: Estándares para sistemas de almacenamiento de energía.

REVISIÓN DE LA NOM-001-SEDE-2012 Y NEC PARA LA SELECCIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA SFV.

Imparte: Ing. Manuel Chávez Campos

SEPTIEMBRE 2025

www.cpef.org.mx

OBJETIVO DEL CURSO

**AL FINALIZAR EL CURSO, EL PARTICIPANTE TENDRÁ
LOS CONOCIMIENTOS NECESARIOS PARA
SELECCIONAR CORRECTAMENTE LAS
PROTECCIONES EN CC Y CA PARA SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**

TEMARIO

- 1.- MARCO REGULATORIO ELÉCTRICO APLICABLE.**
- 2.- SELECCIÓN DE PROTECCIONES EN CORRIENTE CONTINUA.**
- 3.- SELECCIÓN DE PROTECCIONES EN CORRIENTE ALTERNA.**
- 4.- CONCLUSIÓN.**

1.- MARCO REGULATORIO.

1.1 LEY DEL SECTOR ELÉCTRICO (18/03/25) (LEY DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA DEROGADA)

Artículo 55.- Corresponde a la Usuaría Final realizar a su costa y bajo su responsabilidad, las obras e instalaciones destinadas al uso de la energía eléctrica, mismas que deben satisfacer los requisitos técnicos y de seguridad que fijen las Normas Oficiales Mexicanas. Los productos, dispositivos, equipos, maquinaria, instrumentos o sistemas que utilicen para su funcionamiento y operación de la energía eléctrica, quedan sujetos al cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas.

1.3 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012 INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN)

Objetivo

Establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan **condiciones adecuadas de seguridad para las personas** y sus propiedades, en lo referente a la protección contra:

- Las descargas eléctricas,
- Los efectos térmicos,
- Las sobrecorrientes,
- Las corrientes de falla y
- Las sobretensiones.

CAMPO DE APLICACIÓN

Esta NOM cubre a las instalaciones destinadas para la utilización de la energía eléctrica en:

a) Propiedades industriales, comerciales, de vivienda, cualquiera que sea su uso, públicas y privadas, y en cualquiera de los niveles de tensión de operación, incluyendo las utilizadas para el equipo eléctrico conectado por los usuarios. Instalaciones en edificios utilizados por las empresas suministradoras, tales como edificios de oficinas, almacenes, estacionamientos, talleres mecánicos y edificios para fines de recreación.

1.3.1 NOM-TITULO 4 – PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

NOM - 4.4.1.1 La construcción de instalaciones eléctricas debe ejecutarse por personas calificadas y con productos aprobados. El equipo eléctrico debe instalarse de acuerdo con sus instrucciones de instalación.

NOM - 4.4.1.8 Si una instalación es construida utilizando nuevos materiales, tecnologías o métodos que se desvíen de la NOM, el grado de seguridad resultante no podrá ser inferior al obtenido cumpliendo la NOM.

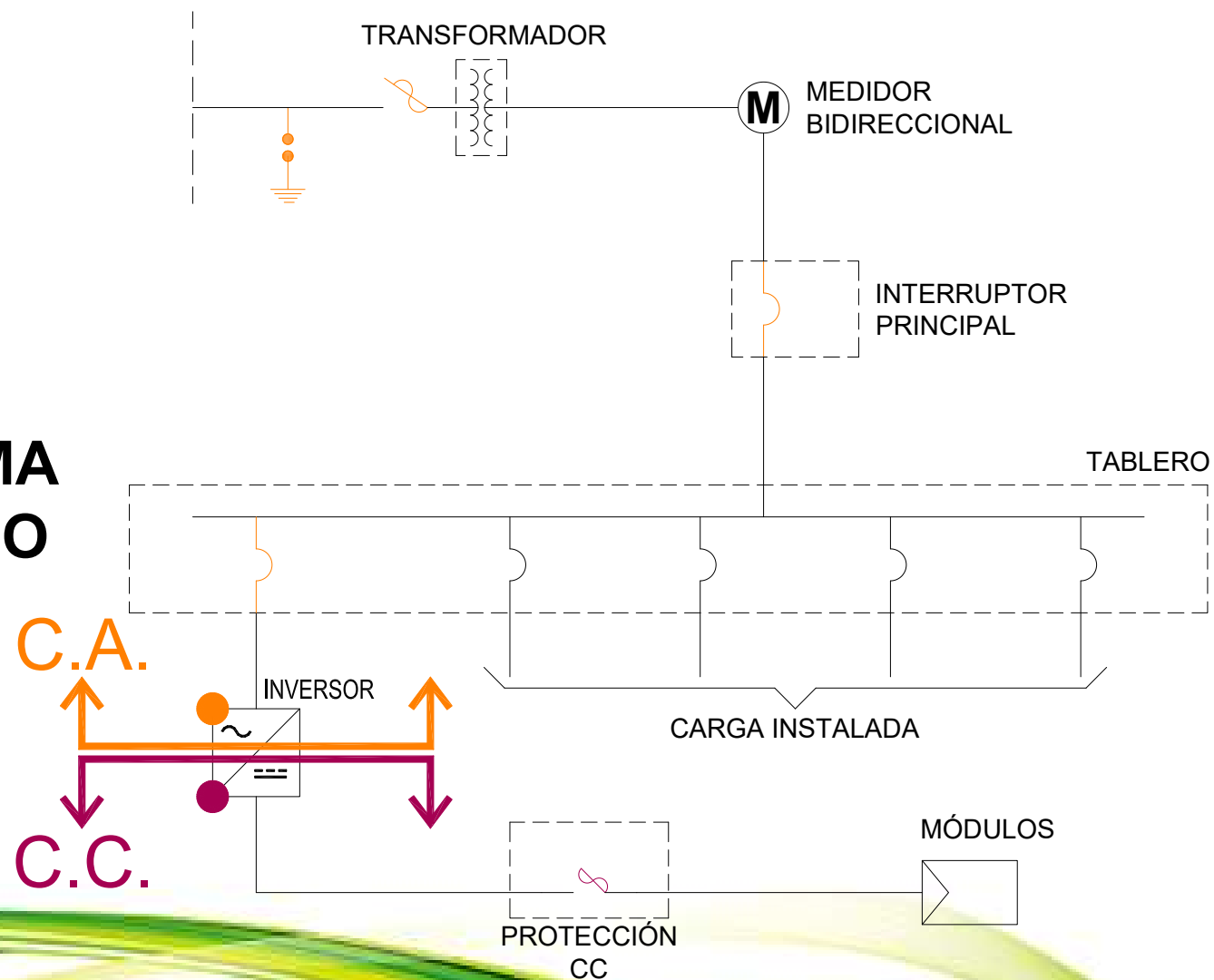
1.4 DIFERENCIAS ENTRE NOM-001-SEDE-2012 Y NEC 2017

NOM	NEC
690 Sistemas fotovoltaicos.	IGUAL
690-10 Sistemas autónomos.	710 (NUEVO)
690-7 Tensión máxima.	490 Parte II y III.
705 Fuentes de generación de energía eléctricas interconectadas	IGUAL
	706 Sistemas de almacenaje de energía
480 Baterías de acumuladores	IGUAL

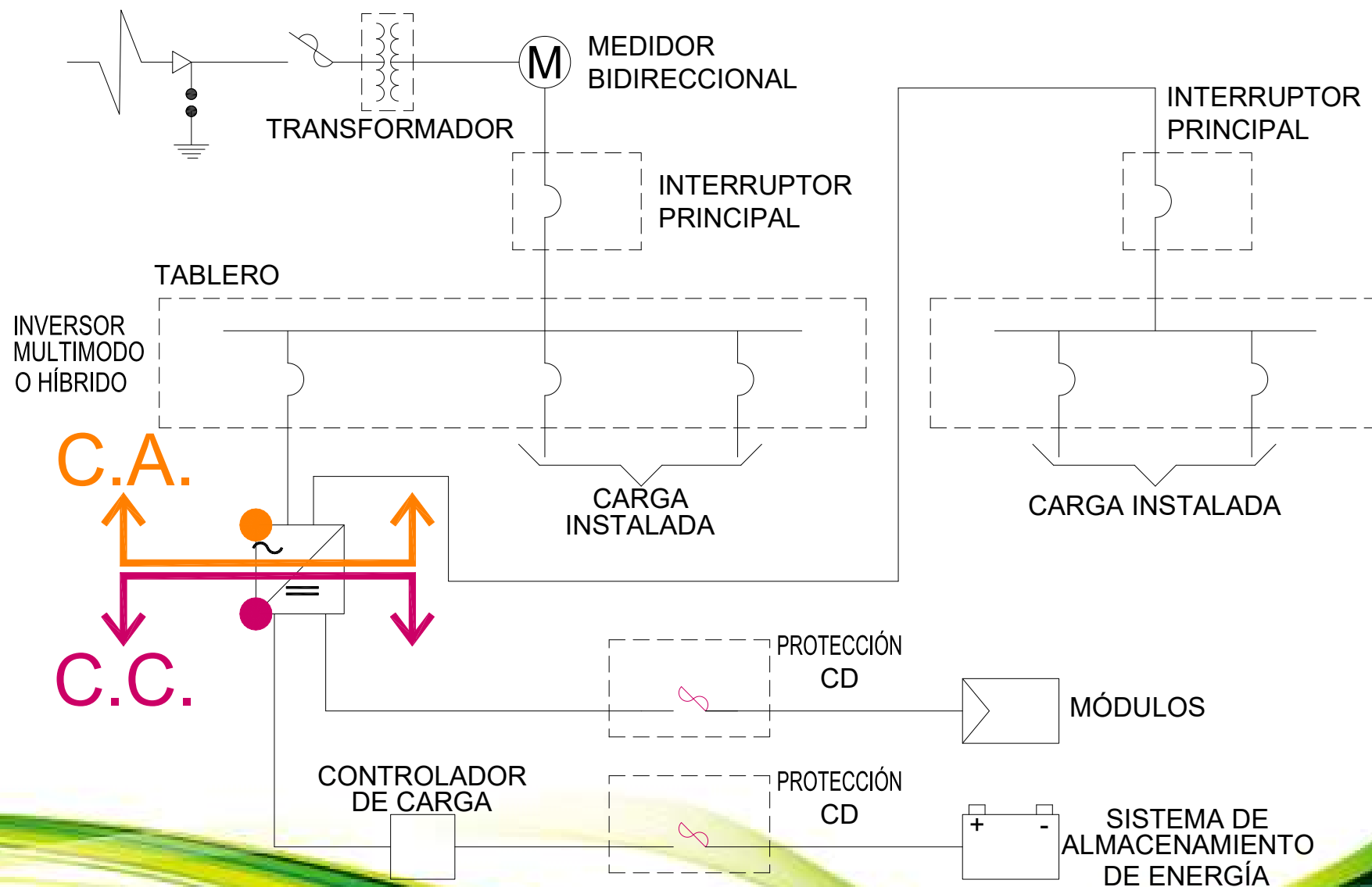
2. PROTECCIONES EN CORRIENTE CONTINUA

2.1 UBICACIÓN DE PROTECCIONES TIPOS COMUNES DE ESQUEMAS

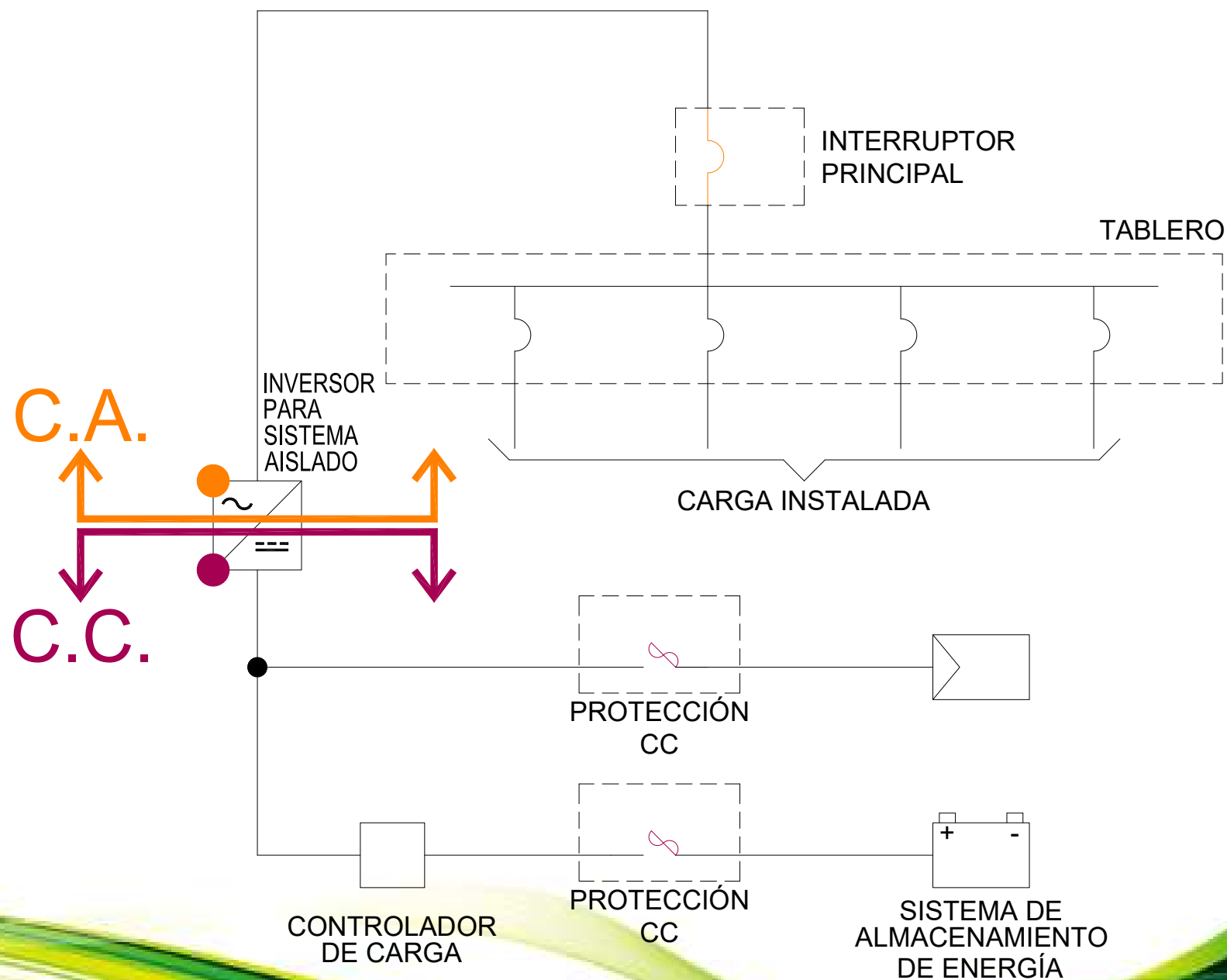
ESQUEMA SISTEMA INTERCONECTADO



ESQUEMA SISTEMA INTERCONECTADO CON SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA



ESQUEMA SISTEMA AISLADO CON SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA



2.2 CARACTERÍSTICAS DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO Y UN INVERSOR.

Maximum Power	(Pmax)	450 W±3%*
Maximum Power Voltage	(Vmp)	41.0 V
Maximum Power Current	(Imp)	10.98 A
Open Circuit Voltage	(Voc)	49.6 V±3%*
Short Circuit Current	(Isc)	11.53 A ±4%*
Maximum Series Fuse		20A
Power Selection		0 ~ 5W
Maximum System Voltage		IEC1500V
*(Considering LID, the power range of the certification authority)		
Electrical Rating At STC AM=1.5 IRRADIANCE=1000W/m ² Temp.=25°C		
For field connections, use minimum 4mm ² (No. 12AWG)copper wires insulated for a minimum 90°C		
WARNING-ELECTRICAL HAZARD		
This module produces electricity when exposed to light. Follow all applicable electrical safety precautions.		
   		
EU-28 WEEE COMPLIANT		

Vmax PV (Absolute Max.)	600V
Isc PV (Absolute Max.)	17.2A * 2
Operating voltage Range (dc)	90-600V
Starting Voltage	120V
MPPT voltage range (dc)	90-520V
Max input current/ MPPT	11A * 2
Num. Input Strings/each MPPT	1/1
Nominal voltage (ac)	1/φ/PE 220V
Frequency/range (Hz)	60Hz (59.5-60.5)
Max cont. output current (ac)	27.3A
Max cont. output power (ac)	6kW
Max apparent output power (ac)	6kVA
Power Factor/rated	1
Temperature	-25°C~+60°C (Derate 45°C)
Ingress protection(IP)	NEMA 4X
Overvoltage category	OVC III (AC Main) OVC II (PV)

2.3 TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA.

 Parámetros climáticos promedio de Guadalajara (1951-2017)  [ocultar]													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	29.4	33.0	34.2	36.5	38.7	38.1	32.8	32.5	31.7	32.3	30.0	29.1	38.7
Temp. máx. media (°C)	22.5	24.8	27.6	29.5	31.6	29.8	26.5	26.5	25.8	25.0	24.0	22.7	26.5
Temp. media (°C)	13.5	16.7	18.1	20.5	22.5	23.0	21.7	21.7	20.5	18.9	16.0	14.0	19.0
Temp. mín. media (°C)	4.5	7.0	8.5	11.5	13.0	17.4	16.0	16.0	15.4	12.4	7.3	4.3	11.8
Temp. mín. abs. (°C)	-5.0	-3.0	1.0	0.0	1.0	10.0	9.0	11.0	7.0	2.5	-2.5	-7.0	-7.0
Precipitación total (mm)	15.6	14.6	6.7	3.2	24.9	191.2	302.5	249.1	189.5	84.4	13.7	10.0	1084.4
Días de precipitaciones (≥ 0.1 mm)	3.1	2.2	2.7	1.1	4.5	15.2	24.6	20.0	15.5	9.4	3.8	1.8	101.9
Horas de sol	204.6	226.0	263.5	261.0	279.0	213.0	195.3	210.8	186.0	220.1	195.3	189.1	2643.4
Humedad relativa (%)	60	57	50	46	48	63	71	72	71	68	63	64	61
Fuente n.º 1: Servicio Meteorológico Nacional ^{25 26}													
Fuente n.º 2: Colegio de Postgraduados (humedad y sol) ²⁷													

2.4 FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA TENSIÓN.

**Tabla 690-7.- Factores de corrección de la tensión para
módulos de silicio cristalino y multicristalino**

**Factores de corrección para temperaturas ambiente menores
a 25 °C (Se multiplica el tensión nominal de circuito abierto
por el factor de corrección aplicable que se muestra a
continuación)**

Temperatura ambiente (°C)	Factor
24 a 20	1.02
19 a 15	1.04
14 a 10	1.06
9 a 5	1.08
4 a 0	1.10
-1 a -5	1.12
-6 a -10	1.14
24 a 20	1.16
-11 a -15	1.18
-16 a -20	1.20
-21 a -25	1.21
-26 a -30	1.23
-31 a -35	1.25

2.5 Tensión Máxima.

Se tiene que determinar la tensión máxima del sistema en corriente continua.

REGLA 1:

- Usar los coeficientes de temperatura para la tensión de circuito abierto que indique el fabricante del módulo fotovoltaico.

REGLA 2:

- En caso de ausencia de coeficientes de fabricante, usar la Tabla 690-7 de la NOM-001-SEDE-2012.

2.5.1 EJEMPLO 1.

Módulos de 450W cada uno, cuyo $V_{oc} = 49.6V \pm 3\%$

Cantidad de módulos en una cadena conectada en serie: **10**

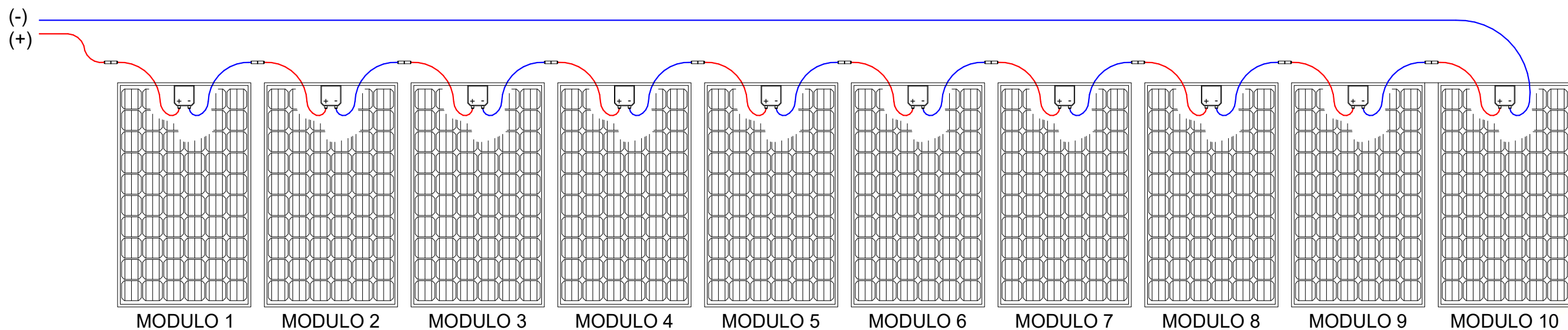
Temperatura mínima promedio en Guadalajara = $4^{\circ}C$

Factor de corrección de la temperatura de Tabla 690-7 = 1.10

CALCULO DE LA TENSION:

TENSIÓN MÁXIMA 10 módulos x 49.6 x 1.03 x 1.10 = **561.75V**

TENSIÓN NOMINAL SELECCIONADA = **600 V_{cc}**



2.5.2 EJEMPLO 2.

Módulos de 450W cada uno, cuyo $V_{oc} = 49.6V \pm 3\%$

Cantidad de módulos en una cadena conectada en serie: **12**

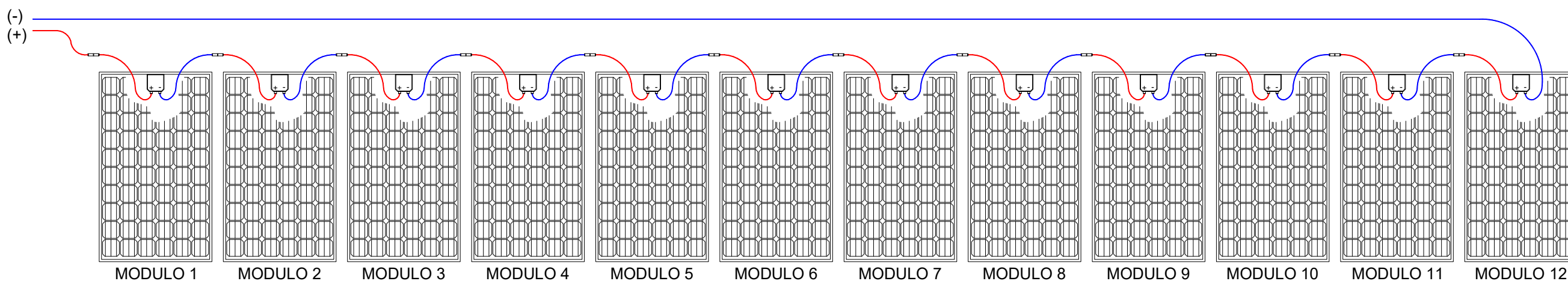
Temperatura mínima promedio en Guadalajara = $4^{\circ}C$

Factor de corrección de la temperatura de Tabla 690-7 = 1.10

CALCULO DE TENSION:

TENSIÓN MÁXIMA 12 módulos x 49.6 x 1.03 x 1.10 = **674.36V**

TENSIÓN NOMINAL SELECCIONADA = **1000 V_{cc}**



2.5.3 CONCLUSIÓN DE LO EJEMPLOS.

Si son 10 módulos, la tensión nominal seleccionada es 600Vcc, si es permitida para vivienda.

- Si son 12 módulos, la tensión nominal seleccionada es 1000Vcc, no es permitida para vivienda.
- En caso de que la tensión máxima sea mayor a 600Vcc, en un edificio que no sea vivienda, se deben aplicar todas las condicionantes normativas para instalaciones mayores a 600Vcc.
- La tensión nominal a la que operarán todos los materiales y equipos que se utilizarán, debe ser igual o mayor a la tensión máxima calculada, y se debe corroborar que dicha tensión esté indicada en los manuales y certificados de producto.
- Sin excepción, todos los productos deben estar aprobados para el uso que se les dará.

2.6 DIMENSIONAMIENTO DEL CIRCUITO Y CORRIENTE

2.6.1 CÁLCULO DE LA MÁXIMA CORRIENTE DEL CIRCUITO

a) Corriente en el circuito de la fuente fotovoltaica.

La suma de las corrientes de corto circuito de los módulos conectados en paralelo multiplicado por 125%.

b) Corriente de salida de los circuitos fotovoltaicos.

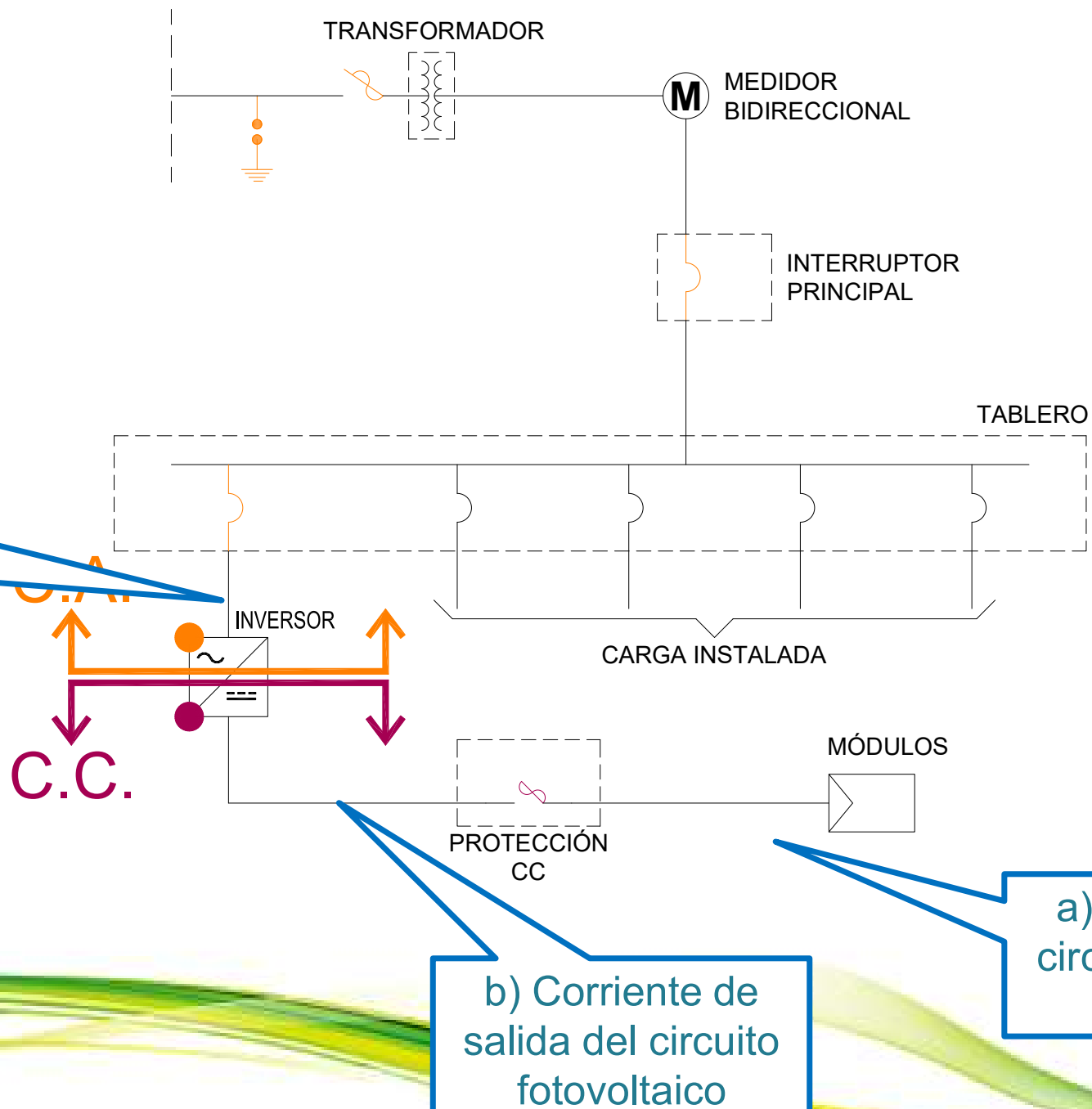
Igual que a).

c) Corriente de salida del inversor.

La máxima corriente es la máxima corriente nominal de salida del inversor.

d) Corriente de entrada a inversor para sistema aislado.

La corriente máxima será la corriente nominal de entrada del inversor cuando el inversor esté produciendo la potencia nominal con el voltaje de entrada más bajo.



2.6.2 AMPACIDAD DEL CONDUCTOR.

a) Antes de la aplicación de factores de ajuste y corrección.

125% de la corriente calculada máxima de acuerdo con a.1) antes de la aplicación de los factores.

b) Después de la aplicación de los factores de ajuste y corrección.

La máxima corriente calculada de acuerdo con a) después de la aplicación de factores de ajuste y corrección.

2.6.3 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES EN LA INTERCONEXIÓN DE MÓDULOS.

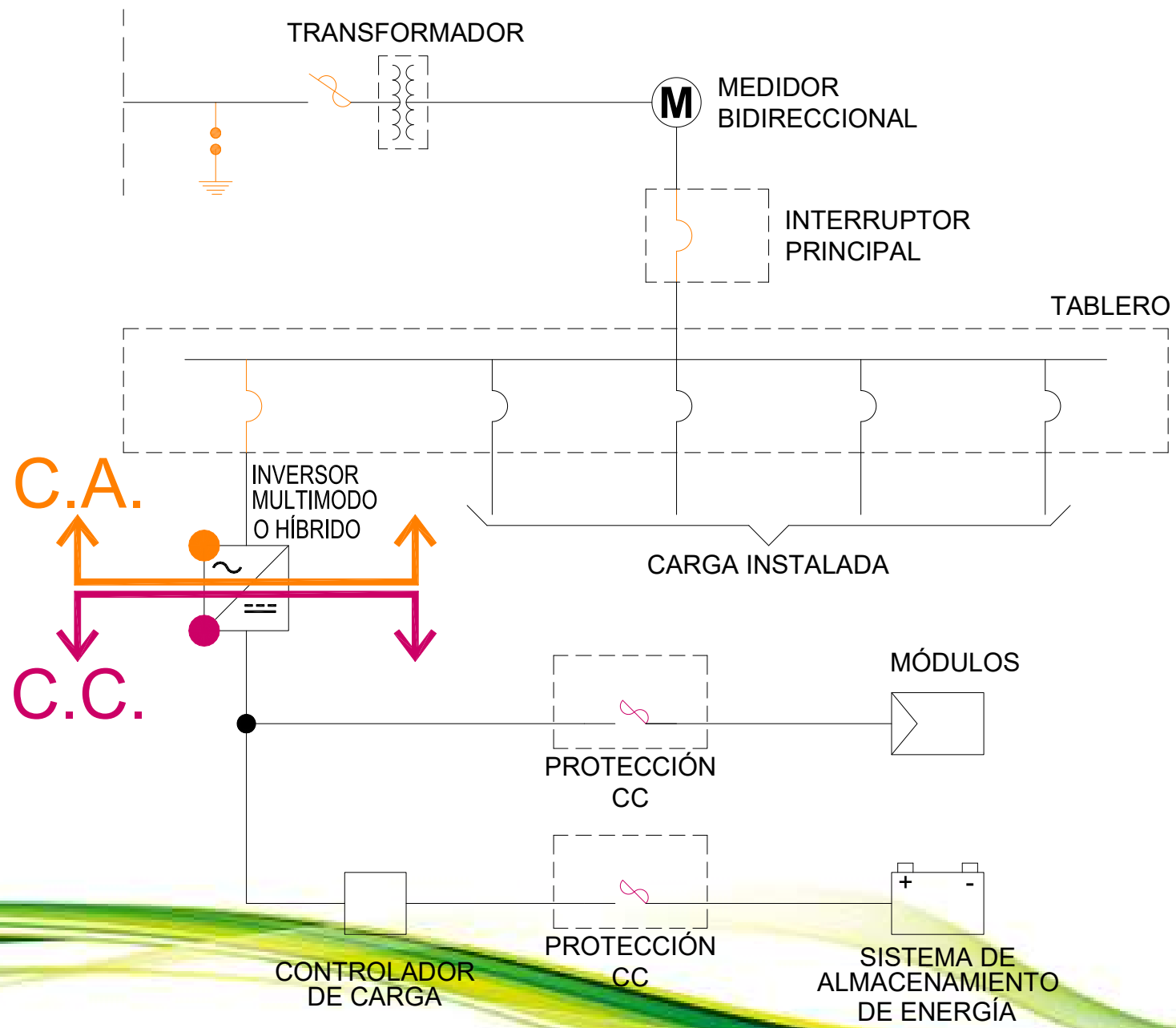
Cuando se utilice un único dispositivo contra sobrecorriente para proteger un conjunto de dos o más circuitos de módulos conectados en paralelo, la ampacidad de cada uno de los conductores en la interconexión del módulo no debe ser inferior a la suma de la capacidad nominal del único dispositivo contra sobrecorriente más el 125 por ciento de la corriente de cortocircuito de los otros módulos conectados en paralelo.

2.7 PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE

2.7.1 CIRCUITOS Y EQUIPOS

Los circuitos en corriente continua del sistema fotovoltaico y los conductores de la salida del inversor y equipos del sistema deben protegerse contra sobrecorriente.

Los circuitos conectados a fuentes de suministro limitadas (como módulos fotovoltaicos), y también conectados a fuentes de mayor disponibilidad de corriente (como la fuente de suministro normal), deben estar protegidos en donde se conecten con la fuente de mayor corriente.



2.7.2 CAPACIDAD DE LOS DISPOSITIVOS DE SOBRECORRIENTE

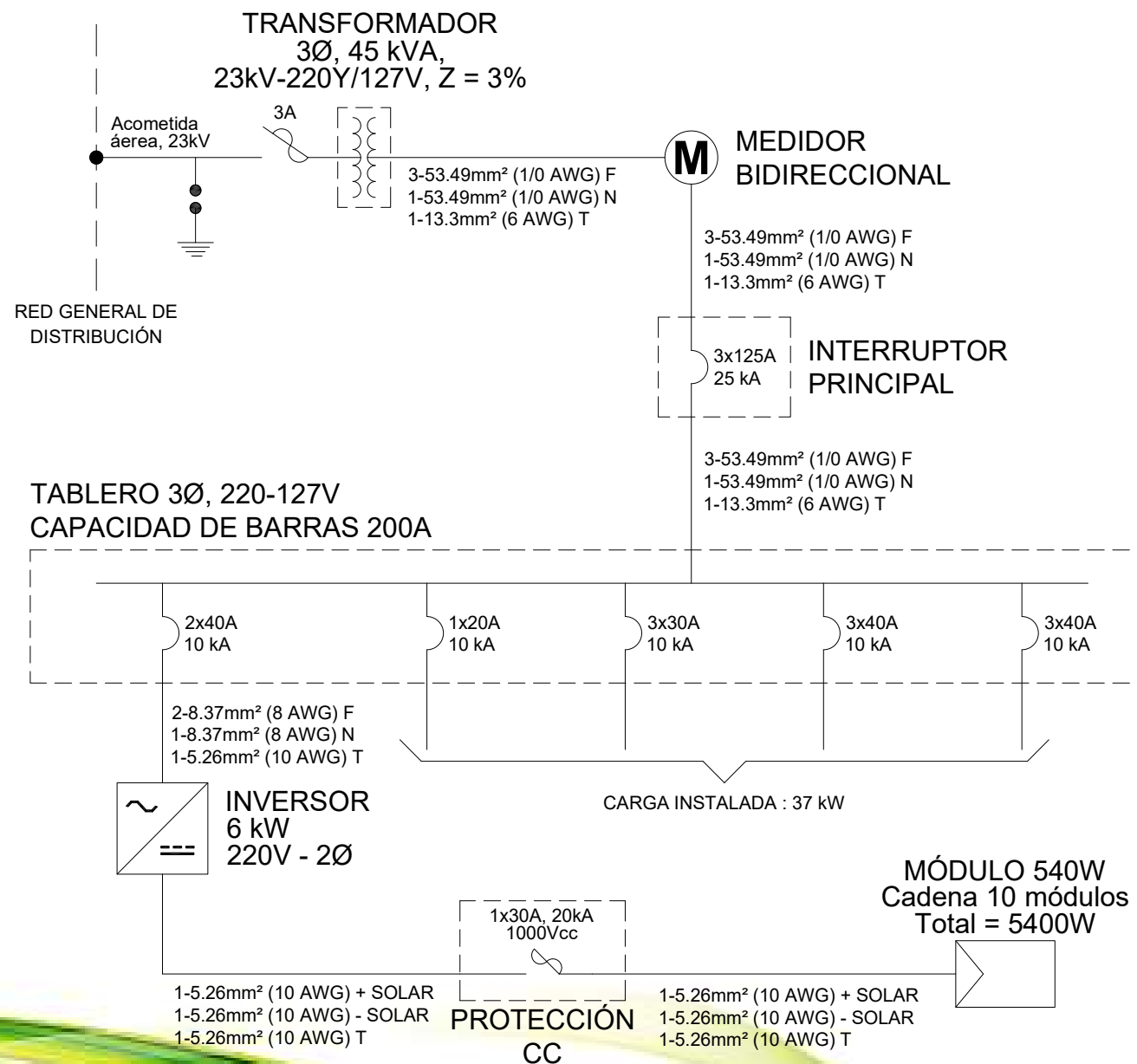
La capacidad no debe ser menor al 125% de la máxima corriente calculada en **2.6.1**.

Los dispositivos de sobrecorriente para circuitos de sistemas fotovoltaicos deben estar aprobados para uso en sistemas fotovoltaicos.

2.7.3 TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Cuando se tiene un transformador que puede recibir energía por el primario y por el secundario, es decir, que está conectado a dos fuentes de energía, debe tener protección contra sobrecorriente en ambos lados.

2.8 EJEMPLOS



• EJEMPLO 1

Corriente de corto circuito de una cadena en donde se tiene 10 módulos conectados en serie uno con otro, es igual a la corriente de corto circuito de un solo módulo por lo tanto, $I_{sc} = 11.54A \pm 4\% = 12A$

$$12A \times 1.25 = 15A$$

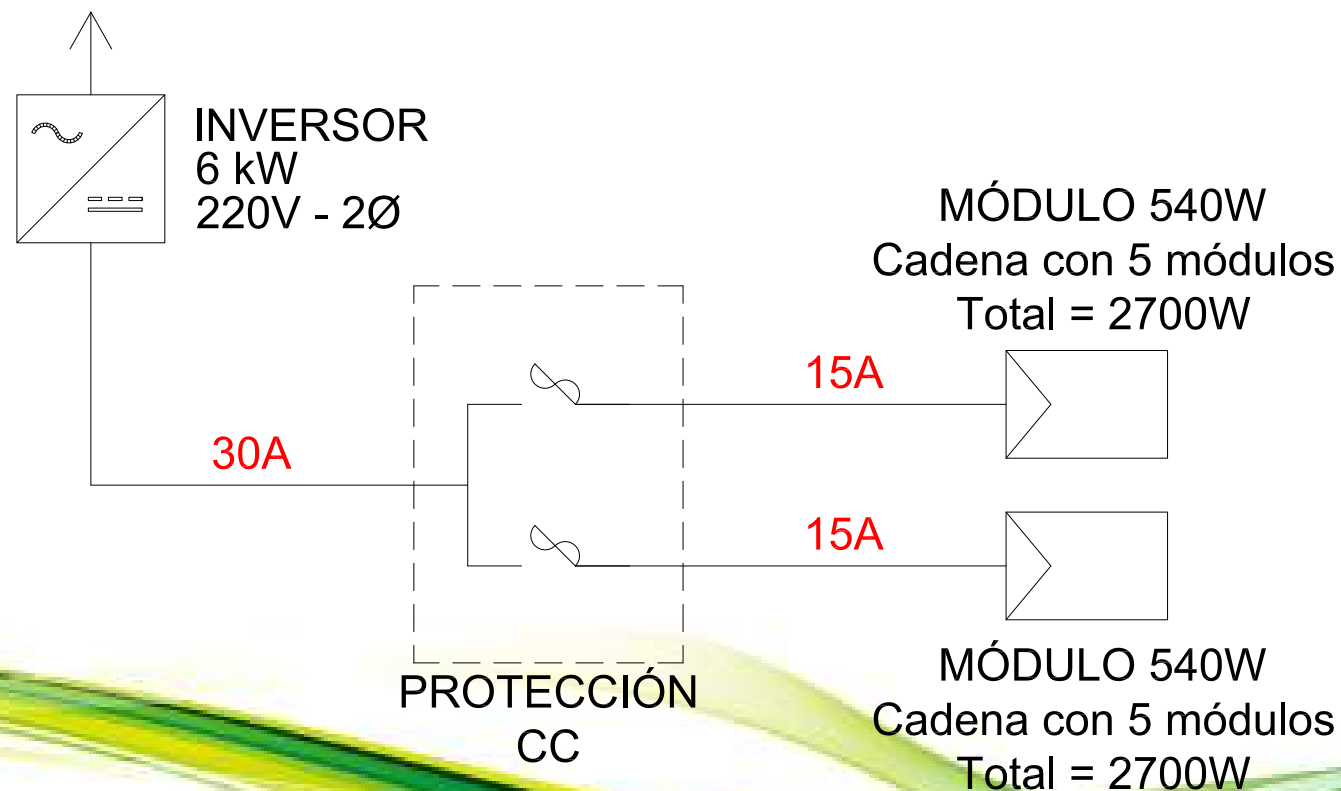


- EJEMPLO 2

Corriente de corto circuito de dos cadenas en paralelo, en donde cada cadena tiene 5 módulos conectados en serie uno con otro, y ambas cadenas se unen en una caja combinadora, por lo que la corriente total que se debe considerar entre la caja combinadora y el inversor es:

$I_{sc} = 11.54A \pm 4\% = 12A$ en una cadena.

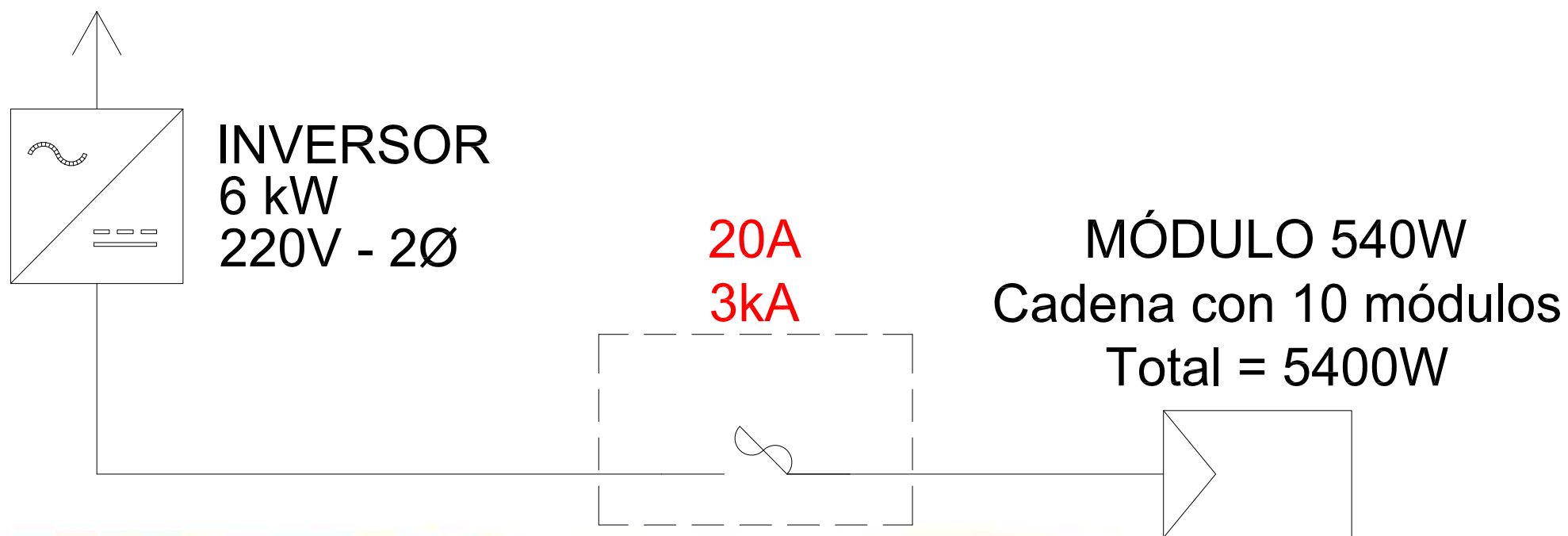
$12A \times 2 \text{ cadenas} \times 1.25 = 30A$



EJEMPLO 3:

Corriente máxima = 15A ($11.54\text{A} + 4\% = 12\text{A} \times 1.25$)

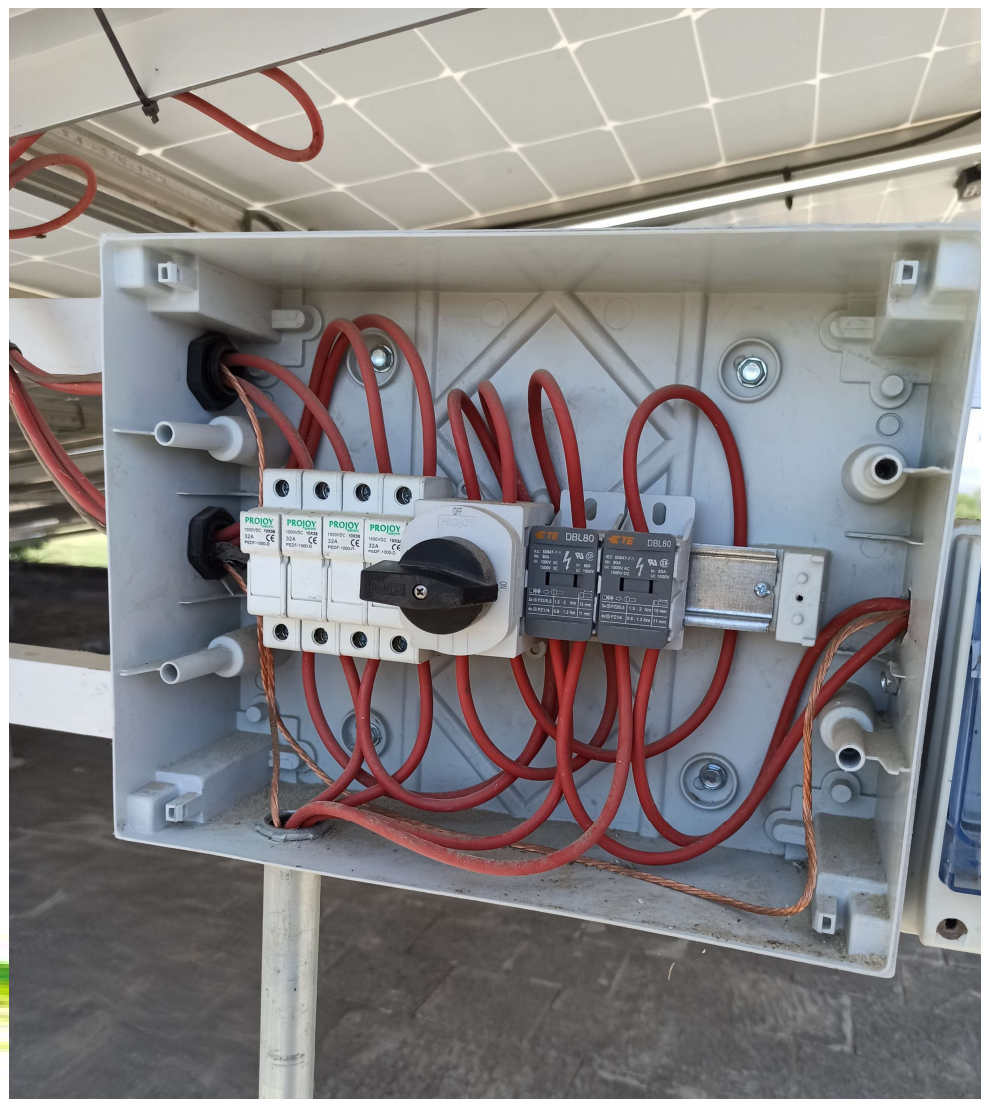
Valor nominal del dispositivo = $15 \times 1.25 = 18.75\text{A} \approx 20\text{A}$



2.9 OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL DISPOSITIVO DE SOBRECORRIENTE.

- Las terminales del dispositivo, deben estar aprobadas para una temperatura de operación mayor a 40°C, si las condiciones medioambientales así lo requieren. En caso contrario, se tendrá que aplicar factores de temperatura a los conductores.
- Hay excepciones en las cuales no se requiere un dispositivo de sobrecorriente, es decir la fuente fotovoltaica se conecta directamente al inversor. Sin embargo, si el inversor no está en el mismo sitio que la fuente, es requisito tener medios de desconexión.
- Puede considerarse el medio de desconexión como dispositivo de sobrecorriente.

MEDIO DE DESCONEXIÓN Y PROTECCIÓN



2.10 TAMAÑO DEL CIRCUITO Y CORRIENTE EN EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.

2.10.1 La máxima corriente nominal para un sistema de almacenamiento debe ser la corriente nominal de placa de datos del propio sistema.

2.10.2 La ampacidad del alimentador desde el sistema de almacenamiento hacia las cargas eléctricas, no debe ser menor a la corriente nominal indicada en la placa de datos o la capacidad nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente.

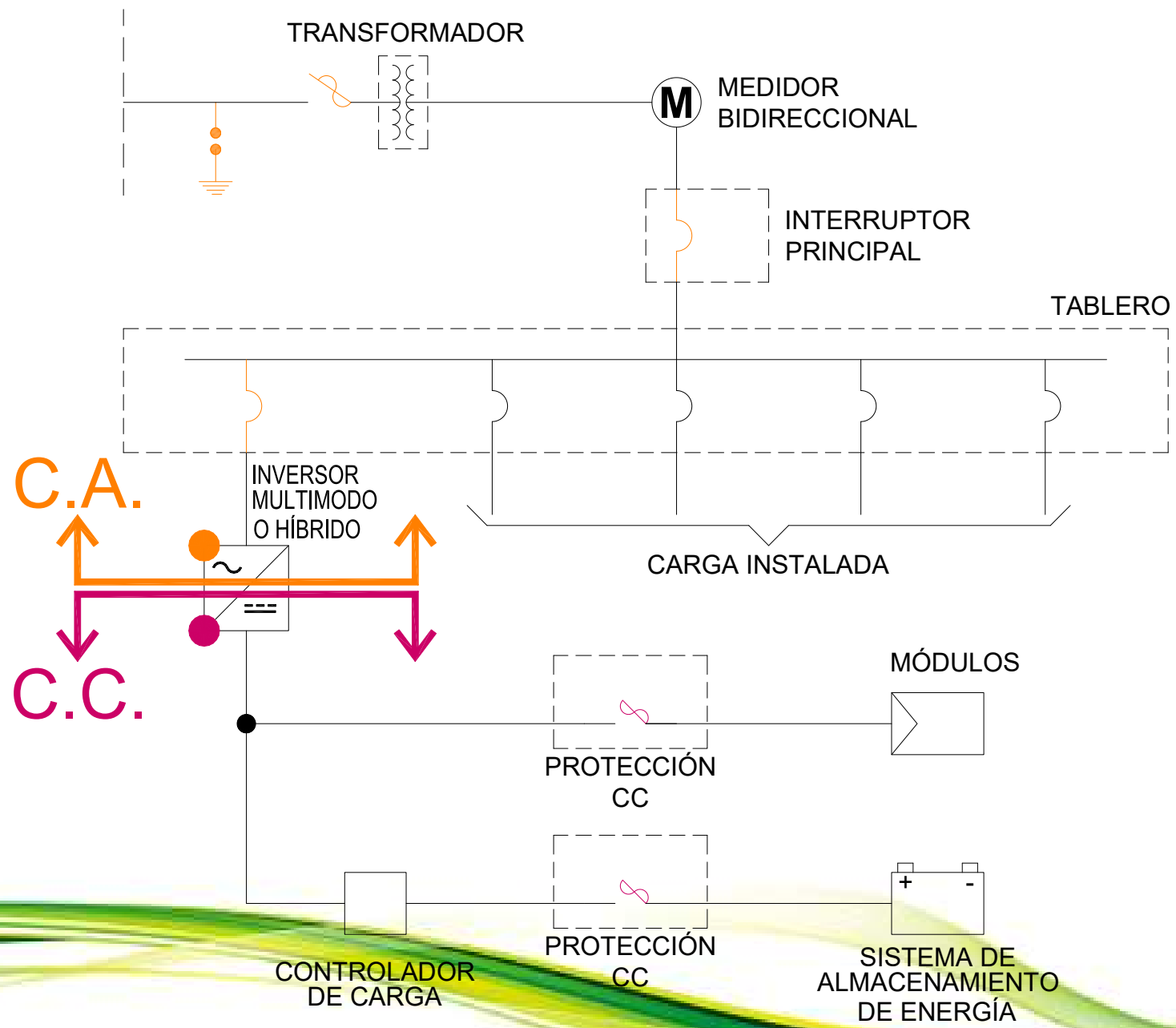
2.11 PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE EN EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.

Los circuitos deben ser protegidos contra sobrecorriente en la fuente.

2.11.1 Las protecciones contra sobrecorriente deben tener la capacidad de acuerdo a la corriente nominal del sistema de almacenamiento y no pueden ser menos que el 125% de la corriente máxima de placa del sistema.

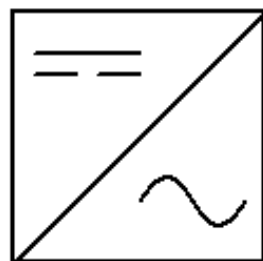
2.11.2 Los dispositivos de protección contra sobrecorriente, ya sean fusibles o interruptores automáticos, utilizados en cualquier parte del circuito de c.c. de un sistema de almacenamiento deben estar aprobados para c.c. y deben tener las capacidades nominales de voltaje, corriente e interrupción adecuadas para la aplicación.

2.11.3 Un dispositivo de sobrecorriente limitador de corriente debe ser instalado adyacente al sistema de almacenamiento por cada circuito de salida.



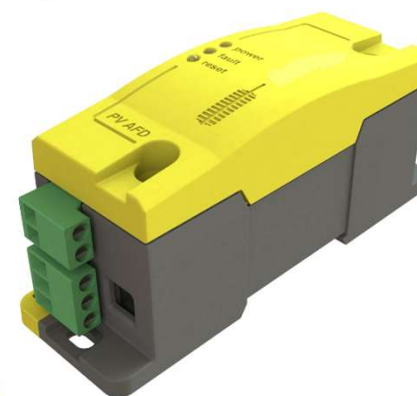
2.12 PROTECCIÓN CONTRA FALLAS A TIERRA.

- Los arreglos fotovoltaicos de corriente continua puestos a tierra deben tener protección contra fallas a tierra de corriente continua.
- La protección normalmente se encuentra integrada en el inversor.
- Si está dentro del inversor, entonces el inversor debe contar con certificado UL 1741.



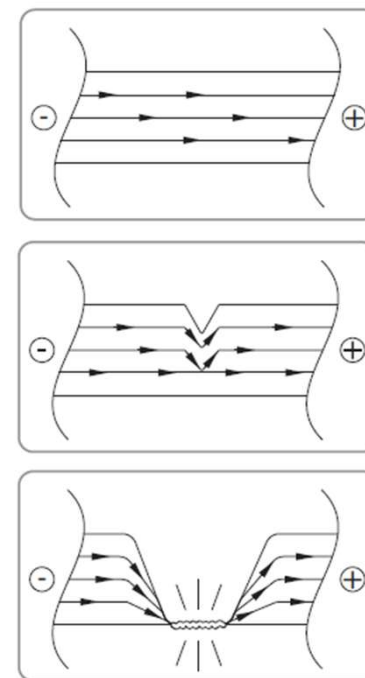
2.13 PROTECCIÓN DE FALLA DE ARCO.

- Los arreglos fotovoltaicos de corriente continua que estén en un edificio o que entren a un edificio, operando a una tensión máxima de 80V o mayor, deben estar protegidos por un interruptor (corriente continua) de falla de arco.
- La protección normalmente se encuentra integrada en el inversor, pero puede ser con un dispositivo externo.
- Esta protección debe contar con certificado UL 1699B. Éste estándar estipula que la protección de falla de arco debe detectar un arco eléctrico de 300W o mayor, e interrumpir el circuito en un máximo de 2 segundos.



Las causas de las fallas de arco, pueden ser:

- Conductores dañados, pellizcados o desgastados.
- Conexiones o terminales sueltas.
- Uniones de soldadura agrietadas o corroídas en módulos u otros componentes.



3. PROTECCIONES EN CORRIENTE ALTERNA

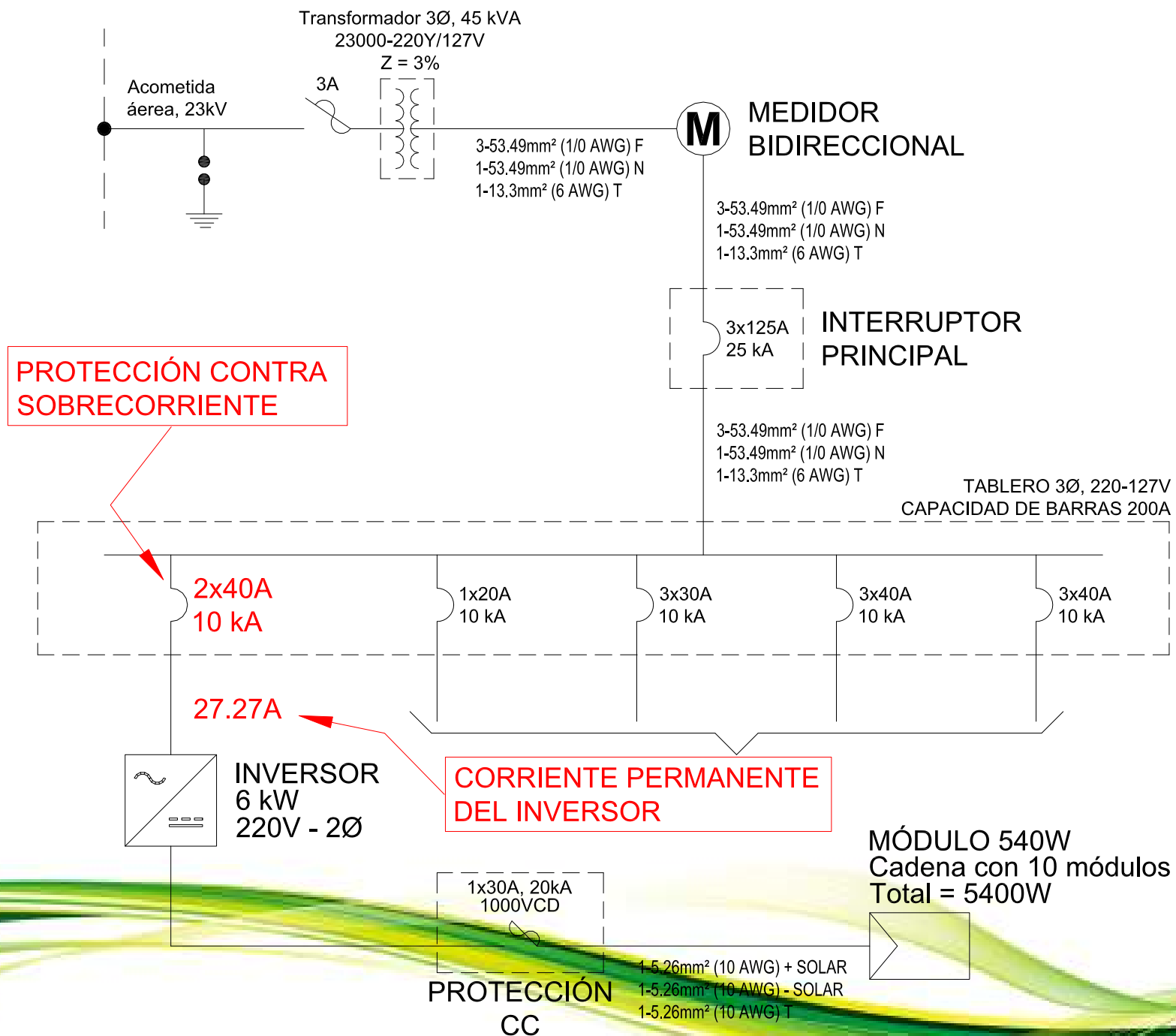
3.1 PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE DEL PUNTO DE INTERCONEXIÓN CON LA INSTALACIÓN EXISTENTE.

- La corriente del circuito de salida del inversor, es la corriente permanente de salida del inversor.
- La protección contra sobrecorriente para la salida del inversor es igual a la corriente permanente de salida por 125%:

Corriente permanente, inversor 6kW, F.P.=1, tensión 220V, 2F-2H

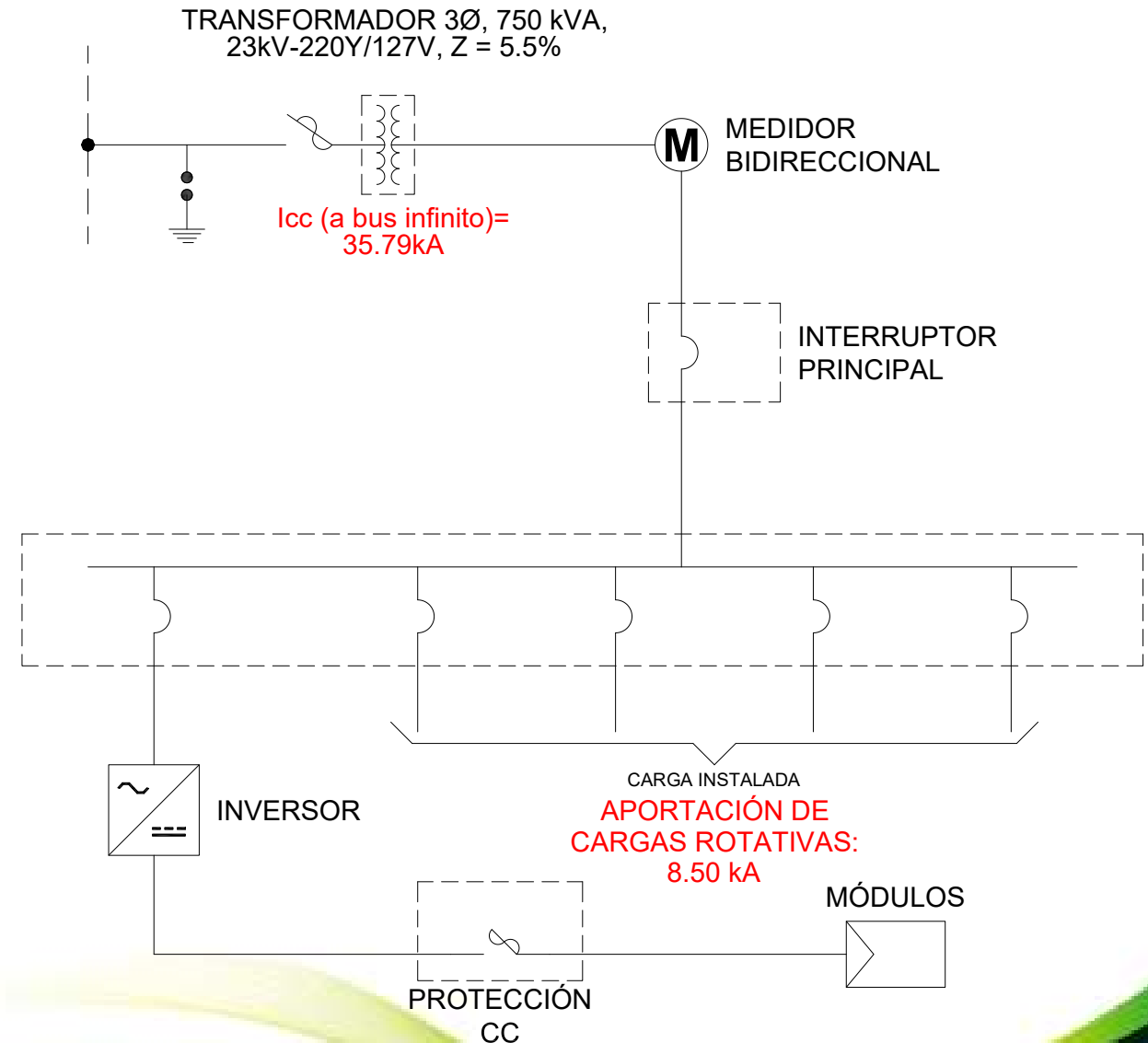
$$6000W / 1 / 220 = 27.27A$$

$$27.27A \times 125\% = 34.09A \approx 40A$$



3.1.1 NIVELES DE CORTO CIRCUITO.

- El interruptor usado para el punto de interconexión, debe tener la suficiente capacidad interruptiva de acuerdo a los niveles de corto circuito que puedan alcanzarse en el tablero donde está instalado.

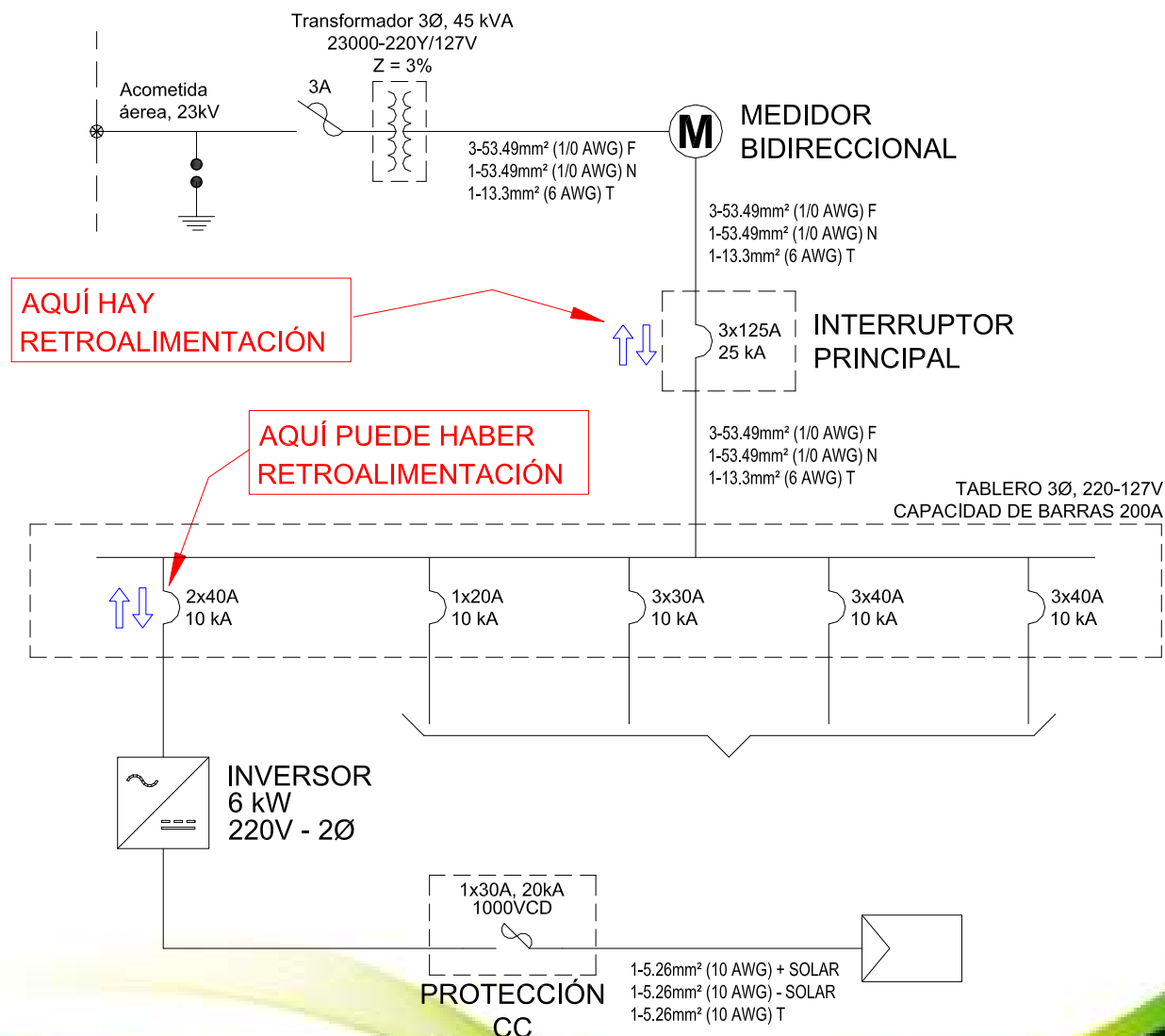


3.2 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS PARA RETROALIMENTACIÓN.

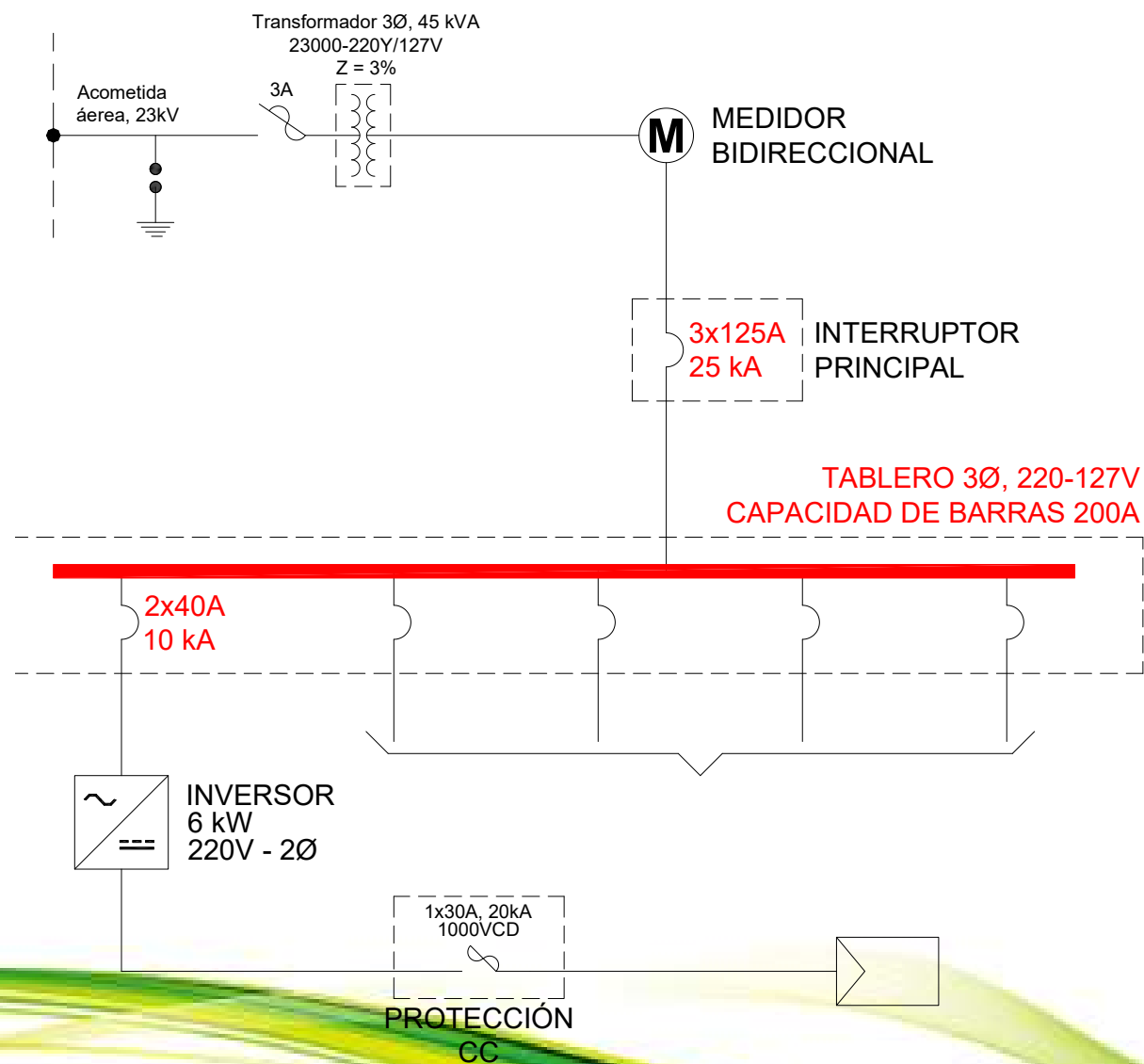
Los interruptores automáticos, si están retroalimentados, deben ser adecuados para funcionar de ese modo. UL 489 indica como debe marcarse un interruptor que no puede ser usado para retroalimentación



MARCADO:
LADO
CARGA
LADO LÍNEA



3.3 AMPACIDAD DE LA BARRA CONDUCTORA EN PUNTO DE INTERCONEXIÓN (DE ACUERDO A LA NOM).



La suma de las corrientes de los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos que alimentan una barra colectora o un conductor no debe superar el 120 por ciento de la ampacidad de la barra colectora o del conductor.

EJEMPLO:

Alimentación 1: INTERRUPTOR 125A

Alimentación 2: INTERRUPTOR 40A

Capacidad de barras: 200A

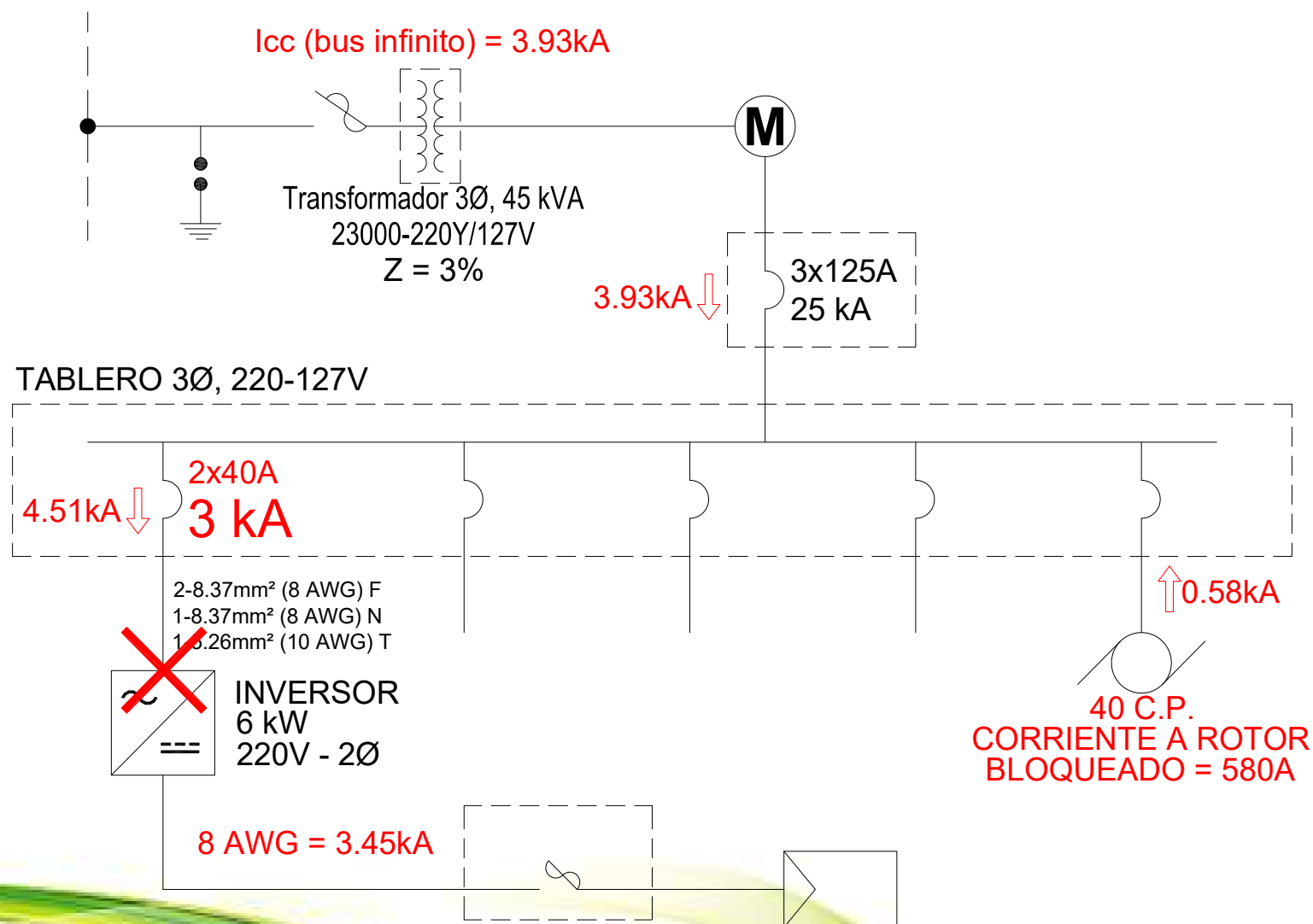
$$125A + 40A = 165A$$

$$200A \times 120\% = 240A$$

Por lo tanto las barras cumplen con la condición.

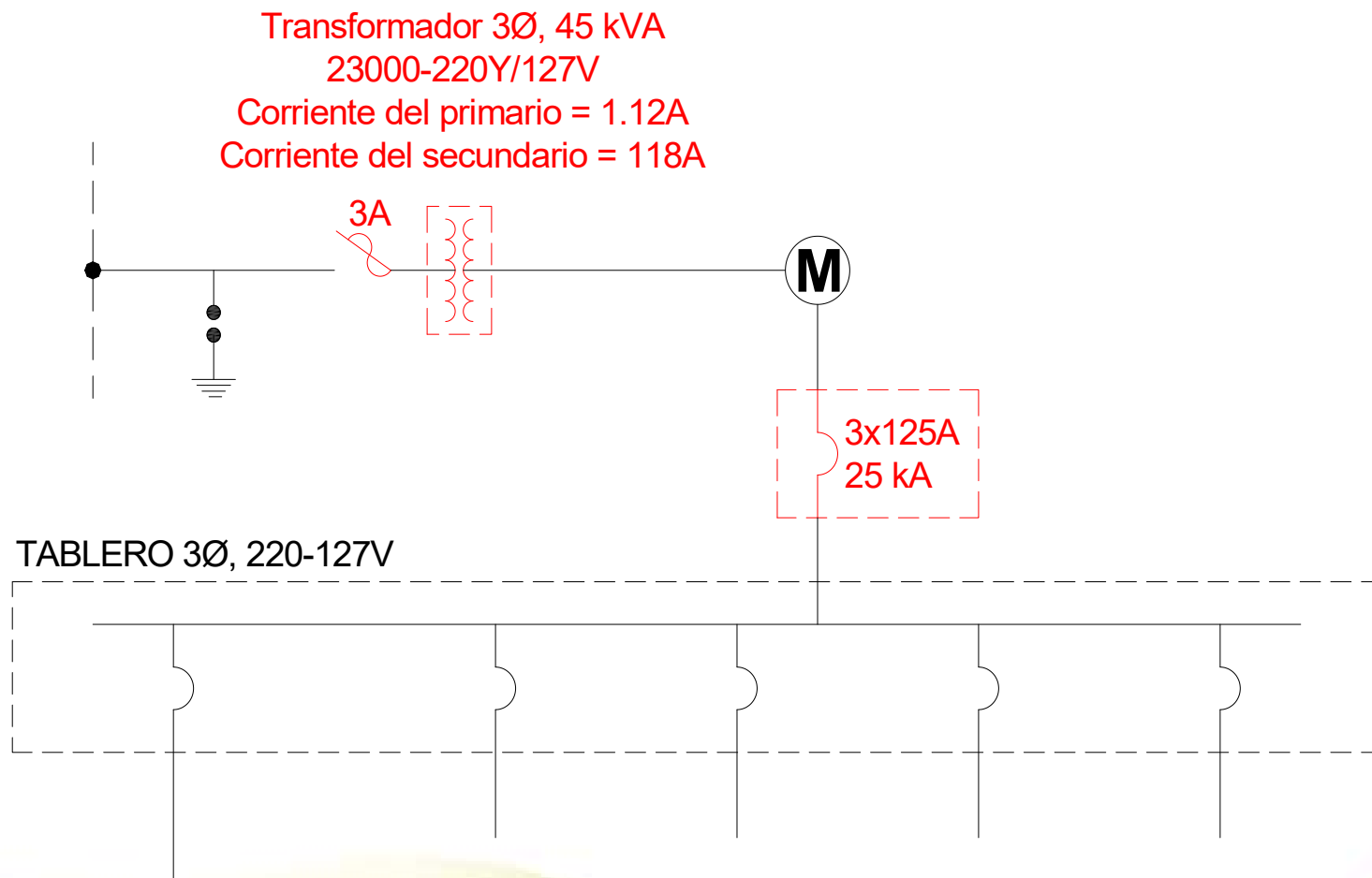
3.4 CAPACIDAD NOMINAL DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.

Se debe considerar la contribución de las corrientes de falla de todas las fuentes de energía conectadas, para el cálculo de la capacidad de interrupción y de corriente de c.c. del equipo en sistemas interactivos.



3.5 PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR.

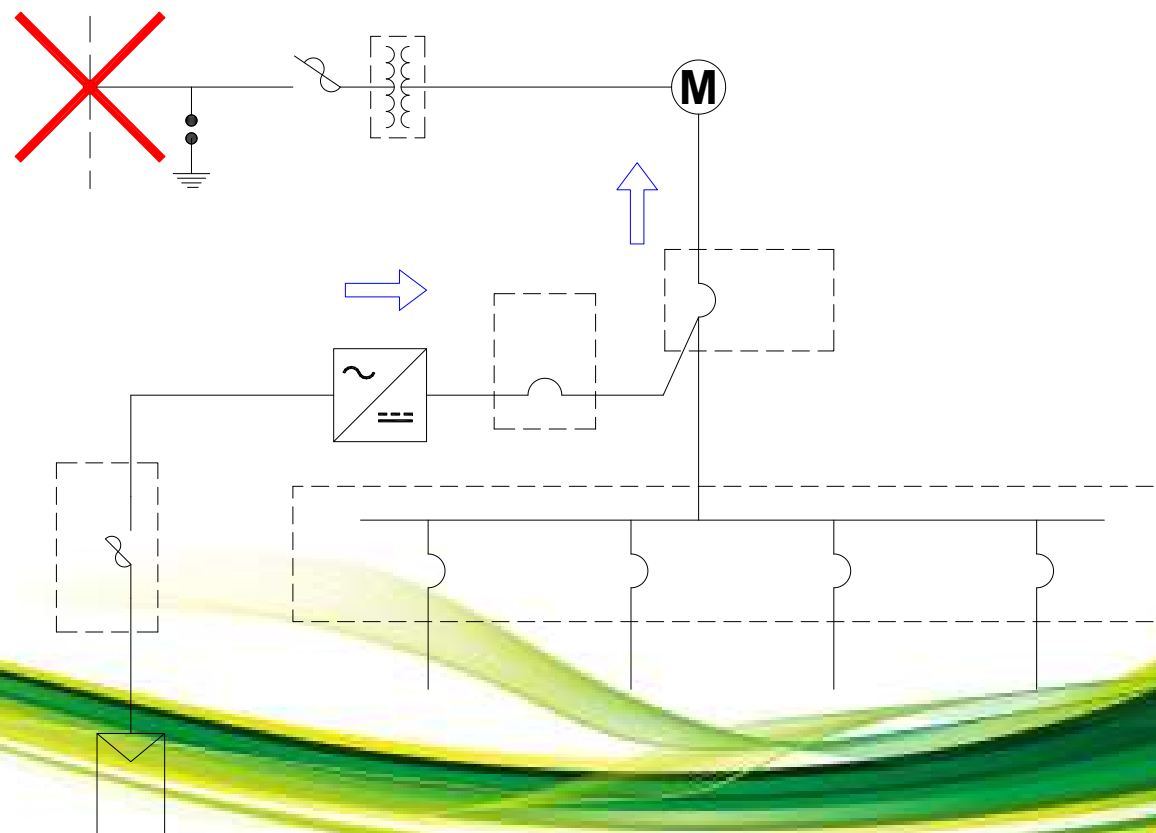
Un transformador con una o varias fuentes conectadas en cada lado, se debe proteger contra sobrecorriente de acuerdo con lo establecido en 450-3 de la NOM, considerando primero uno de los lados del transformador como el primario y después el otro lado.



3.6 PÉRDIDA DE LA FUENTE PRIMARIA

En caso de pérdida de la fuente primaria, todas las fuentes de generación de energía eléctrica se deben desconectar automáticamente de todos los conductores no puestos a tierra de la fuente primaria y no se deben volver a conectar, hasta que se restablezca el suministro de la fuente primaria.

Esta protección también se le conoce como “anti isla”.



5. CONCLUSIONES

¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCION!

ING. MANUEL CHAVEZ CAMPOS

INSPECTOR UIIE-CRE-19
manuel.chavez@cive.com.mx

VERIFICADOR UVSEIE-534A
verificadorelectrico@hotmail.com
TELÉFONO 33-1130-8433

WWW.CPEF.ORG.MX



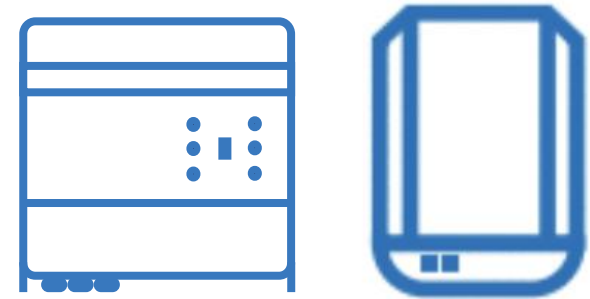
Configuraciones y tipos de operación de Inversores

Karen Lugo – Ingeniera Sistemas BESS C&I

1. Introducción

Los sistemas de almacenamiento con baterías requieren un elemento central que direccionar el flujo de energía: **el inversor**.

Más allá de convertir corriente continua (CC) en alterna (CA), los inversores cumplen funciones críticas: sincronización con red, gestión de cargas, soporte en emergencias, integración de renovables y optimización de la potencia disponible.

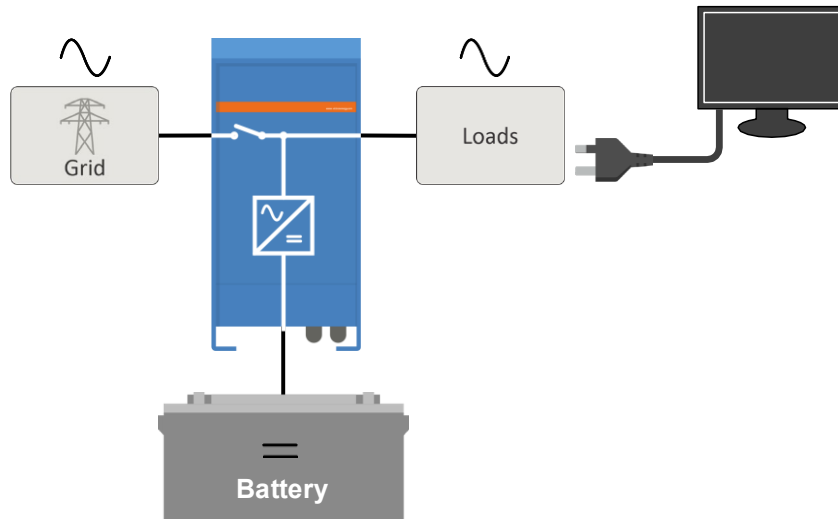


TIPOS DE OPERACIONES



Inversores cargadores

Un inversor/cargador reúne las funciones de un inversor, un cargador y un interruptor de transferencia de AC.
El inversor y el cargador se combinan en un convertidor bidireccional



Características principales:

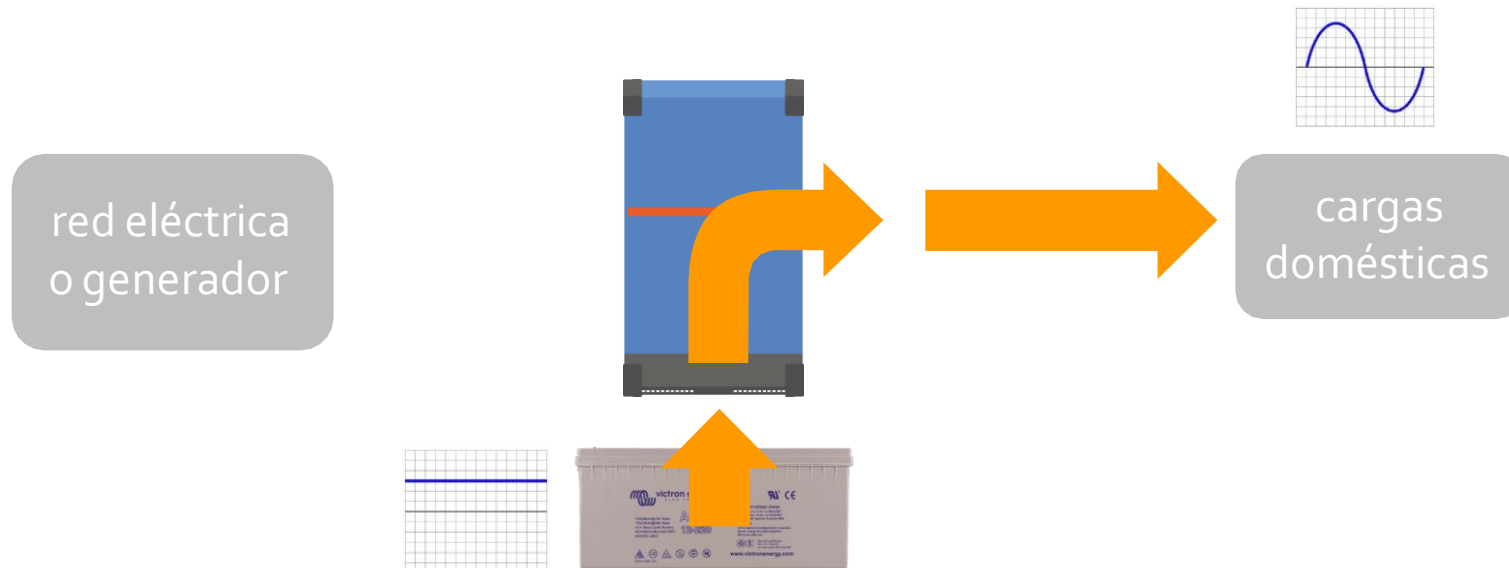
- ✓ Funciones PowerControl y PowerAssist
- ✓ Corriente alterna ininterrumpida, función UPS
- ✓ Posibilidad de configuración en paralelo y/o trifásico
- ✓ Relés programables para gestión de generador.
- ✓ Configurable mediante PC.

Inversores cargadores

➤ Modo inversor

Modo inversor: transformación de CC a CA

- Cuando no hay entrada CA desde la red o generador, el inversor funcionará en modo inversor
- La energía para los consumos es suministrada desde las baterías

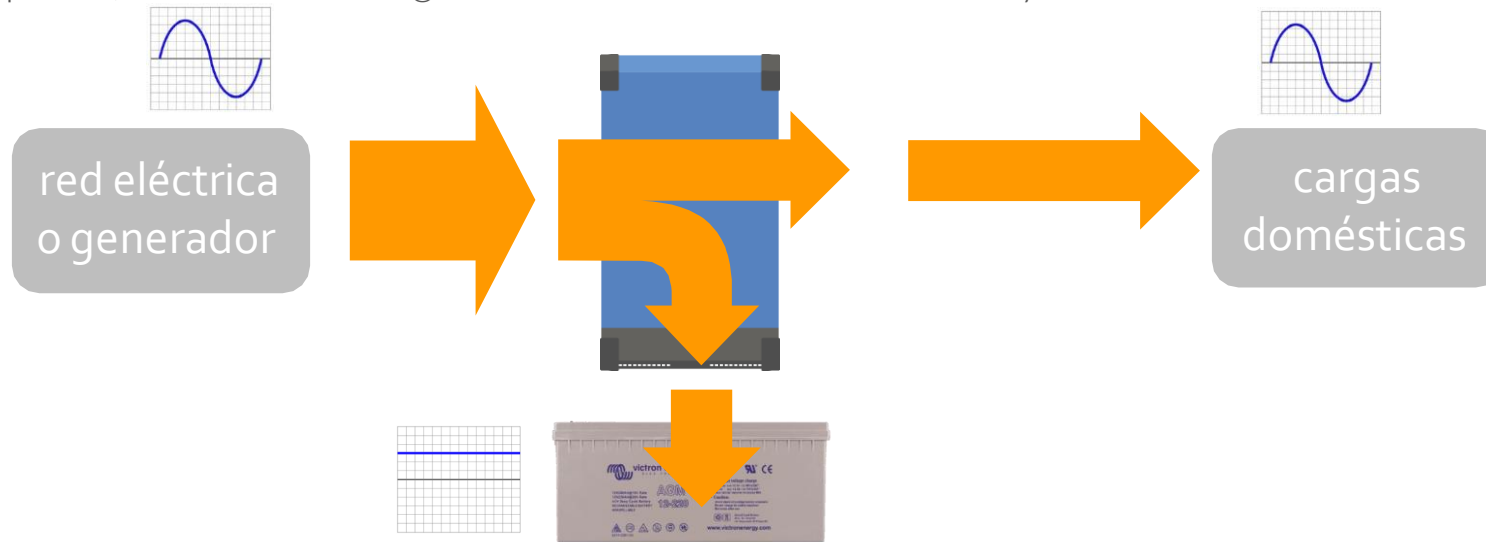


Inversores cargadores

➤ Qué es un inversor-cargador: modo transferencia y cargador

Modo cargador y transferencia: transformación de CA a CC y suministro directo de energía a los consumos

- Cuando el inversor detecta una fuente CA se sincroniza con la señal suministrada por esta en voltaje y frecuencia
- Después de acoplarse, suministra energía directamente a los consumos y el excedente es utilizado para cargar la batería

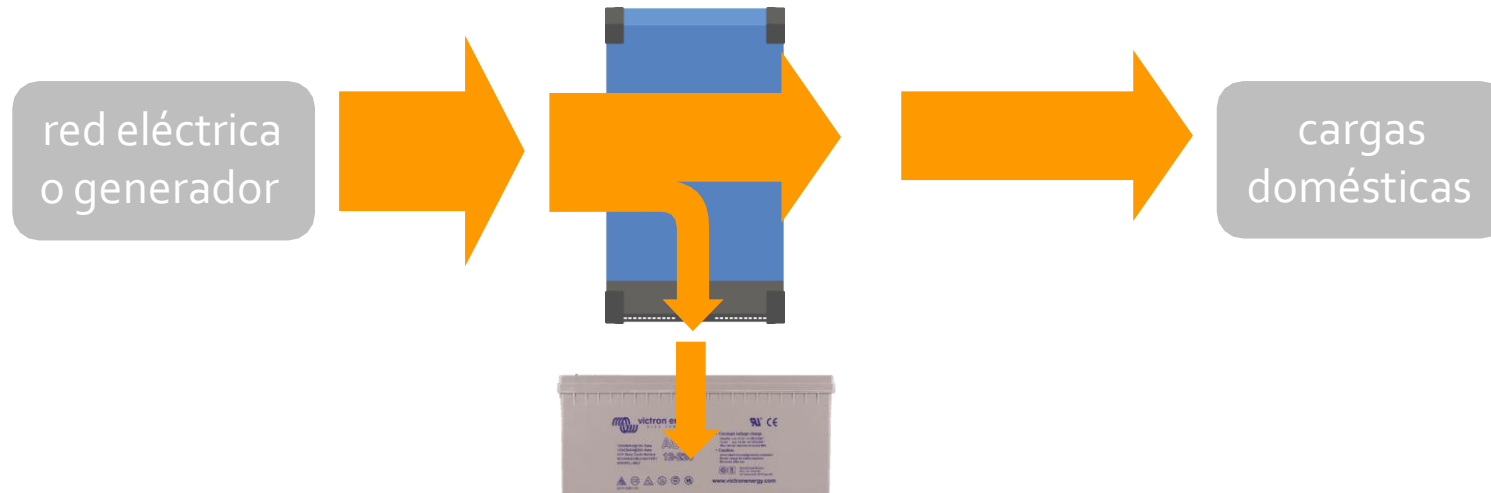


Inversores cargadores

➤ Modo Power Control

Si las cargas aumentan, en algún momento la corriente de carga de la batería se reducirá.

Las cargas siempre tienen la prioridad y el inversor cargador no sobrecargará la alimentación AC entrante.

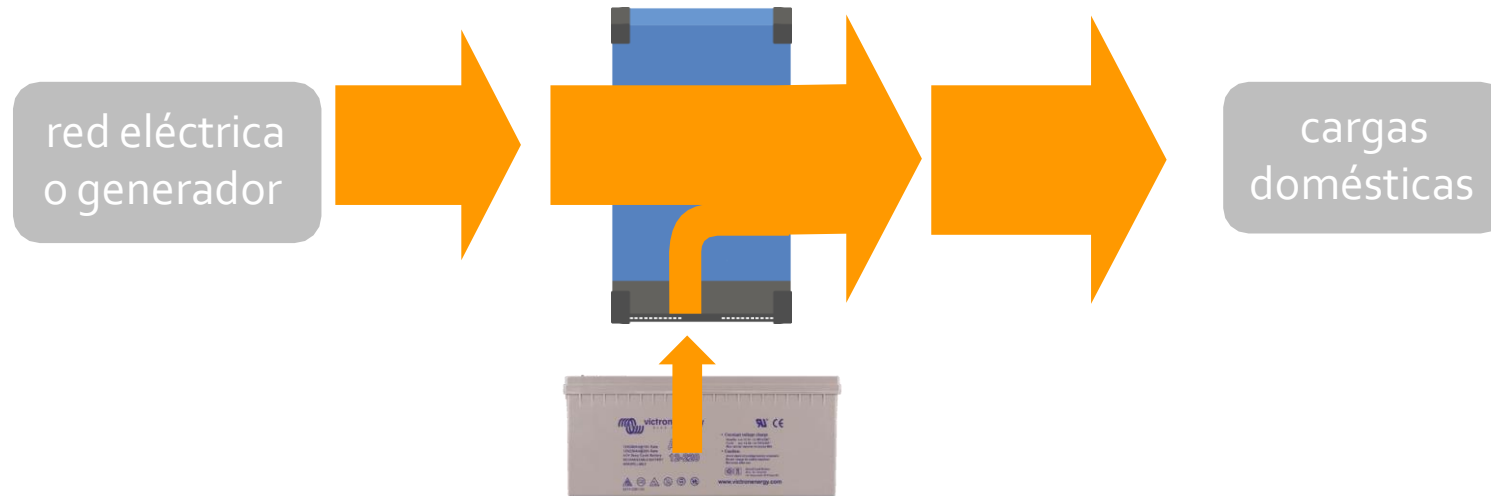


Inversores cargadores

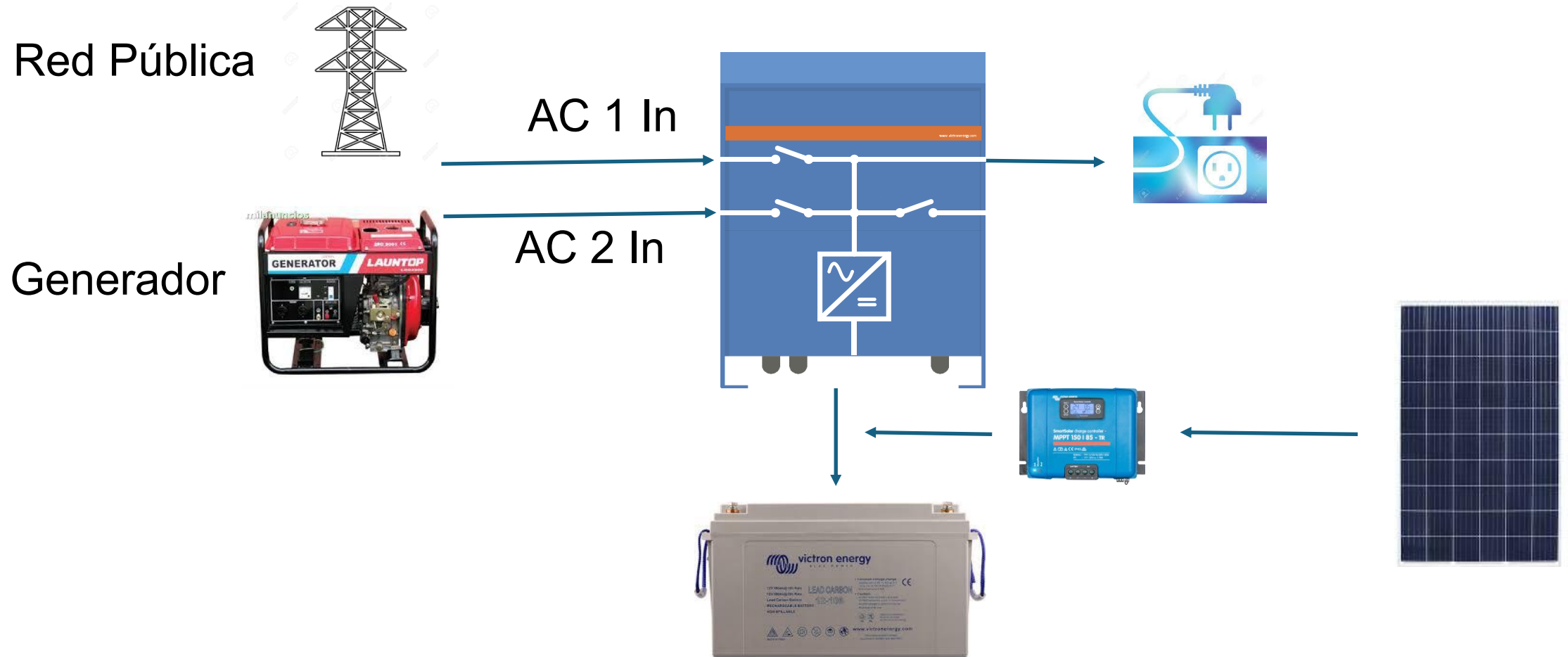
➤ Modo Power Assist

Si la carga aumenta aún más, la batería se dejará de cargar

Si la demanda continúa creciendo, la potencia será suplementada desde las baterías



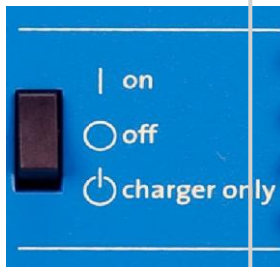
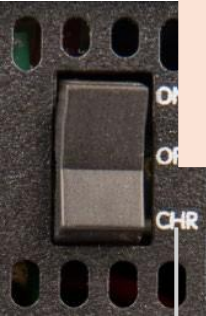
Inversor/cargador - funcionamiento



Inversores cargadores

➤ Conmutador Charger Only (solo cargador)

- Cuando se conmuta a solo cargador el cargador de batería y la alimentación CA están operativos
- Si la entrada de CA se pierde o se desconecta, la unidad se apagará
- La unidad permanecerá apagada hasta que se restablezca la entrada de CA
- Evita que el inversor se encienda si se pierde la CA. Esto evita la descarga de las baterías debido al autoconsumo del inversor.



Inversores cargadores

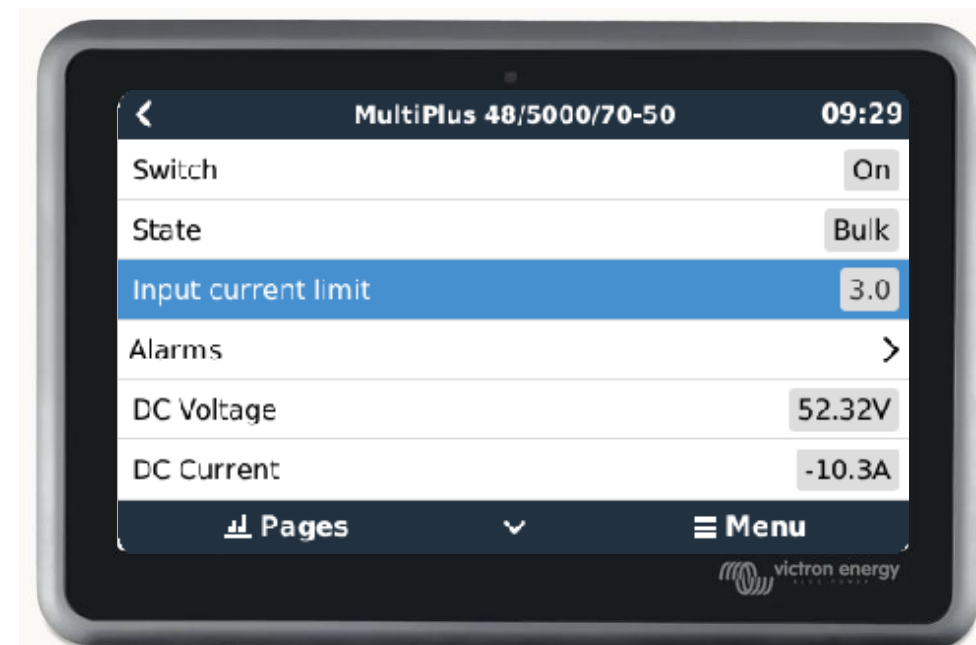
➤ Límite de corriente

El inversor cargador necesita saber cuánta corriente puede extraerse de la red o del generador.

Límite de corriente de
entrada de AC



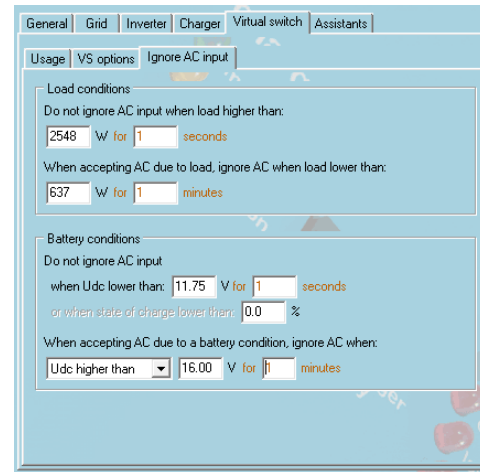
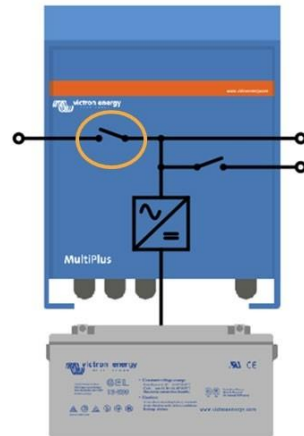
Shore limit		
AC1 input current limit (priority)	50.0 A	☐ Overruled by remote
AC2 input current limit	30.0 A	☒ Overruled by remote
☐ Dynamic current limiter		



Inversores cargadores

➤ Relé de entrada AC

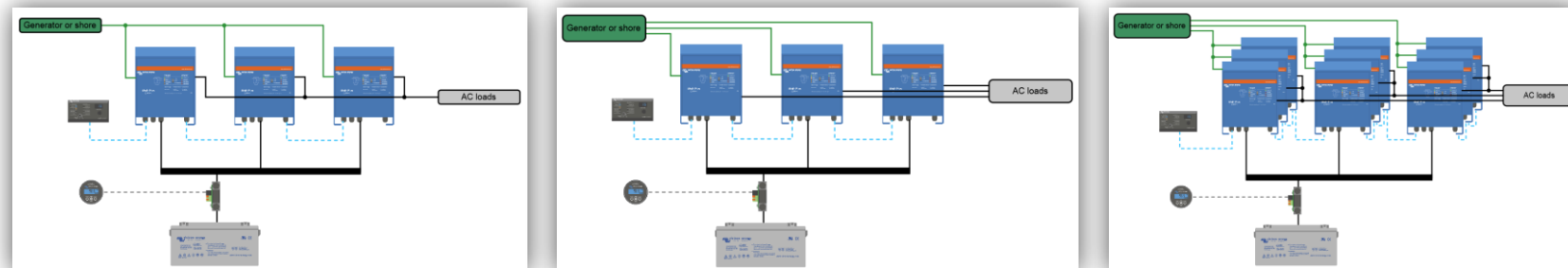
- El relé de entrada de CA puede configurarse para abrirse más veces de las que corresponden a su función de seguridad normal
- De este modo se puede ignorar la red eléctrica mientras las baterías estén lo suficientemente llenas y la red puede usarse como un generador de reserva
- Use VEConfigure para configurar estos ajustes



Inversores cargadores

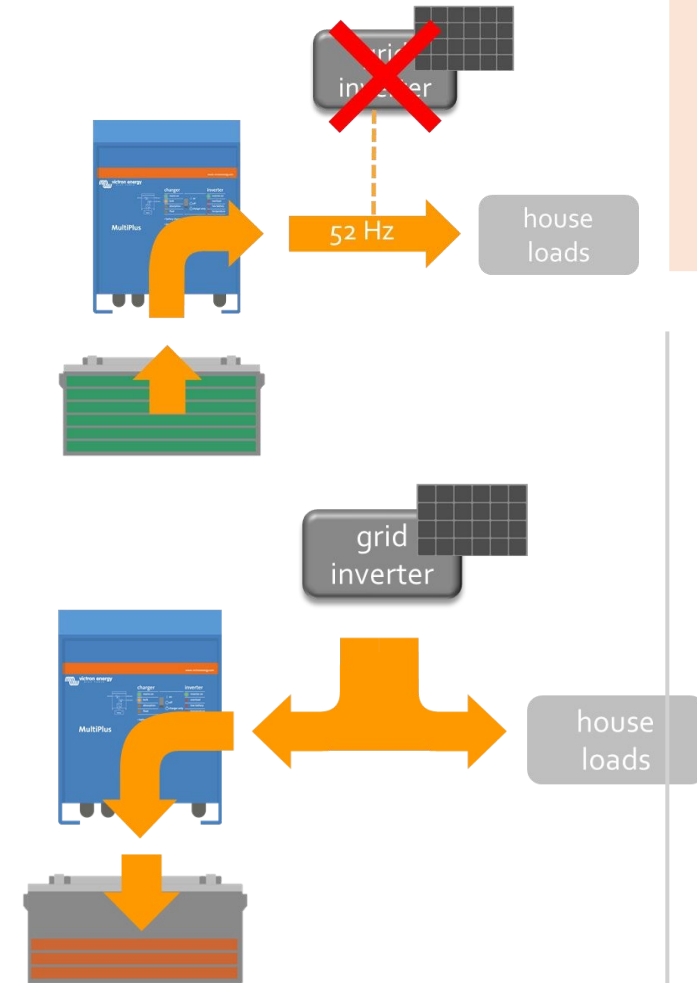
➤ Sistemas paralelos y/o trifásicos

- Los inversores cargadores pueden conectarse en paralelo y/o en trifásico o bifásico
- Todas las unidades tienen que ser del mismo modelo y de la misma antigüedad y tener el mismo firmware

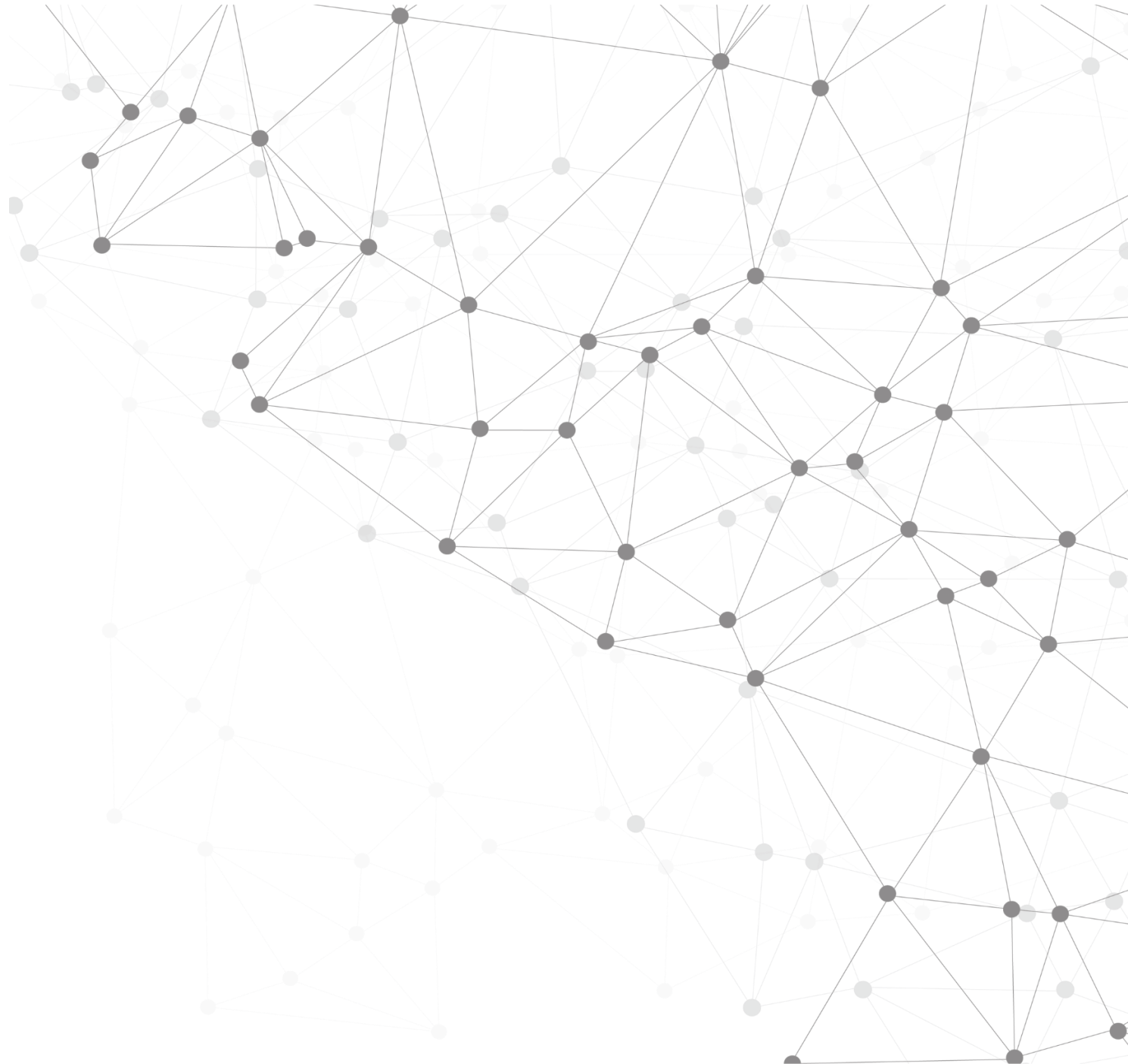


Inversores cargadores

- Cambio de frecuencia para comunicación con el inversor FV
 - Cuando la batería está llena, el inversor cargador incrementa su frecuencia de salida
 - El inversor FV se apaga cuando detecta un cambio de frecuencia
 - Cuando la batería se vuelva a descargar, el inversor cargador volverá a cambiar la frecuencia a 60 Hz y el inversor FV volverá a cargar la batería
 - La potencia FV no puede ser mayor que la del inversor cargador
 - El cambio de frecuencia es necesario siempre que haya un inversor FV conectado a la salida de un inversor cargador. Esto es para proteger la batería

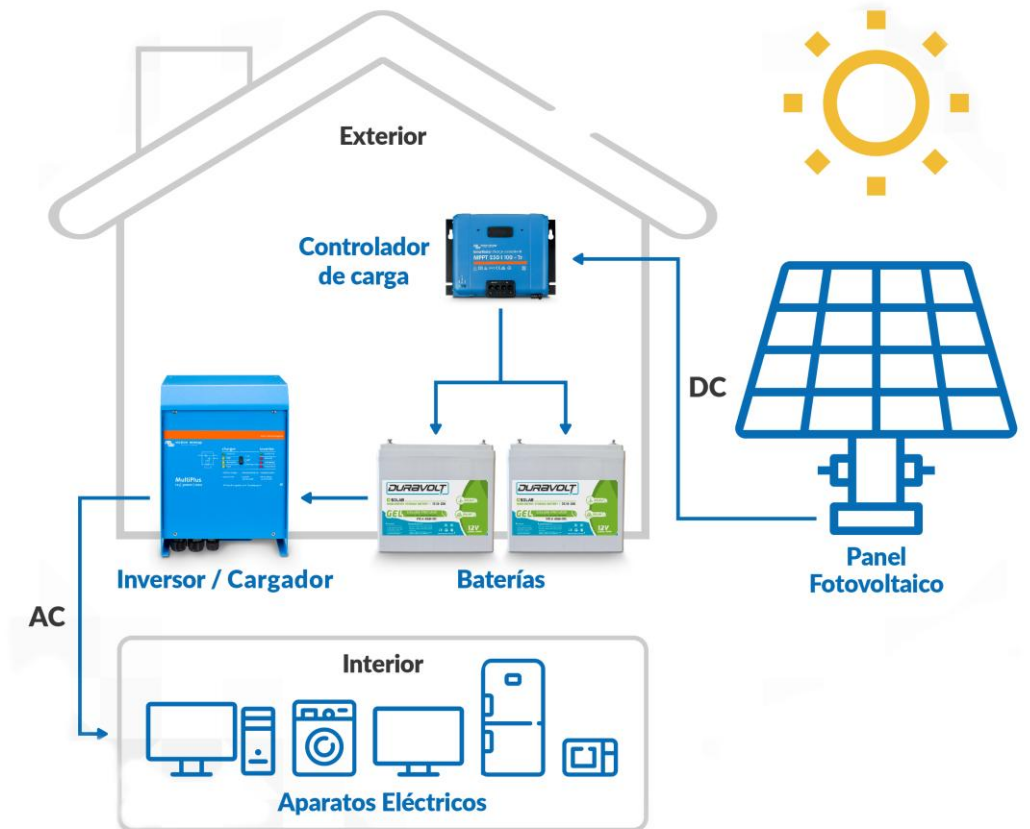


APLICACIONES



Off grid

- Es un sistema de energía independiente que no está conectado a la red eléctrica pública.
- Típicamente incluyen fuentes de energía renovable.
- Utilizan baterías parara acumular energía cuando está disponible y proporcionar energía cuando no hay suficiente generación en tiempo real.



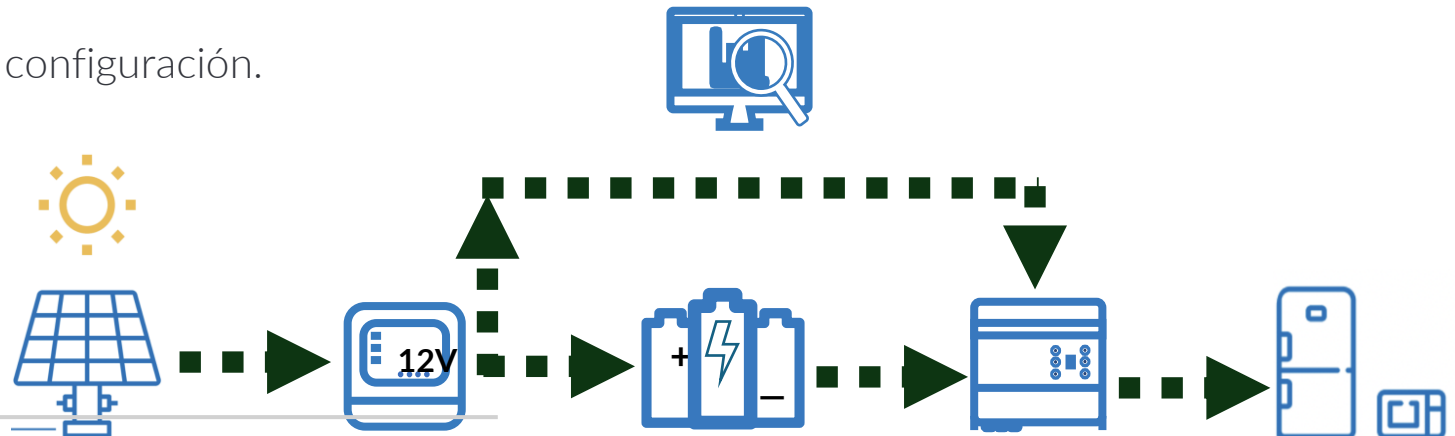
Off grid

•Configuración típica:

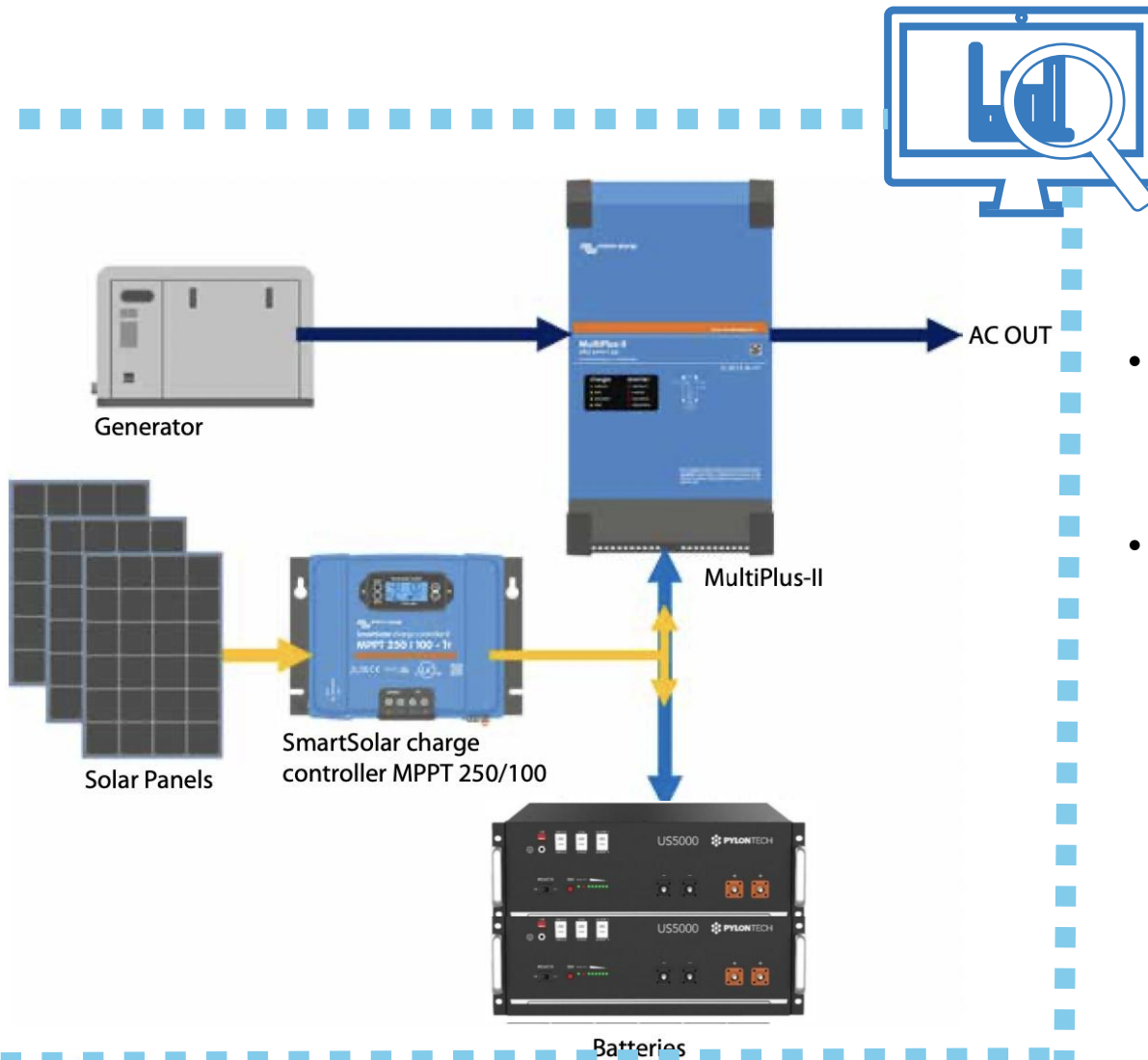
- Inversor/ cargador (por ejemplo, Victron Multiplus o Quattro).
- Banco de baterías.
- Fuente renovable (solar mediante MPPT).
- Generador auxiliar opcional.

•Tipo de operación

- El inversor suministra energía a las cargas locales.
- Los cargadores solares (o el generador) reponen la energía usada y/o autoconsumo.
- La red no participa, ya que no existe en esta configuración.



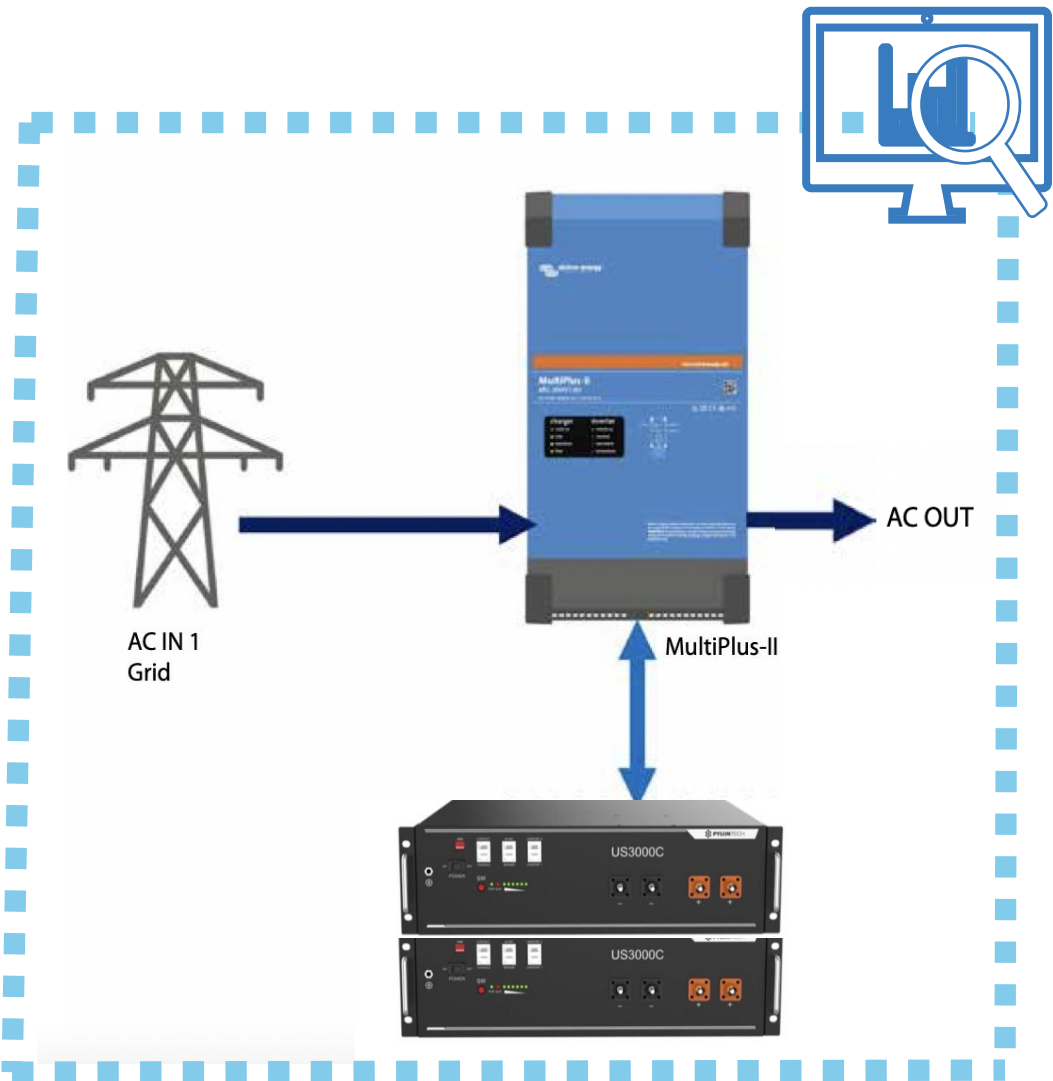
Off grid



- Son comunes en áreas remotas donde no hay acceso a la red eléctrica
- Requieren una planificación cuidadosa para garantizar un suministro de energía confiable.

-  Cabañas
-  Alumbrado público
-  Aplicaciones agrícolas
-  Telecomunicaciones

Back up



- Sistema diseñado para proporcionar energía de respaldo en caso de cortes de energía o interrupciones en el suministro eléctrico principal.
- Garantiza un suministro continuo de energía en situaciones críticas.
- Está compuesto por diversos componentes.
- Requieren una planificación cuidadosa para garantizar un suministro de energía confiable.

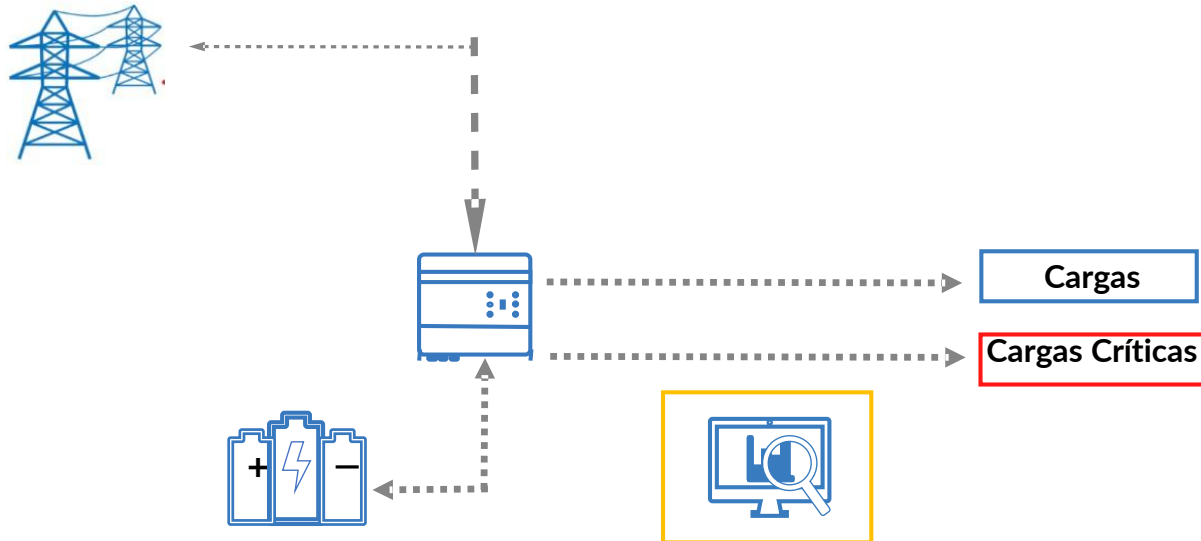
Back up

- Configuración típica:

- Inversor/ cargador conectado a la red.
- Interruptor de transferencia automática.
- Banco de baterías.

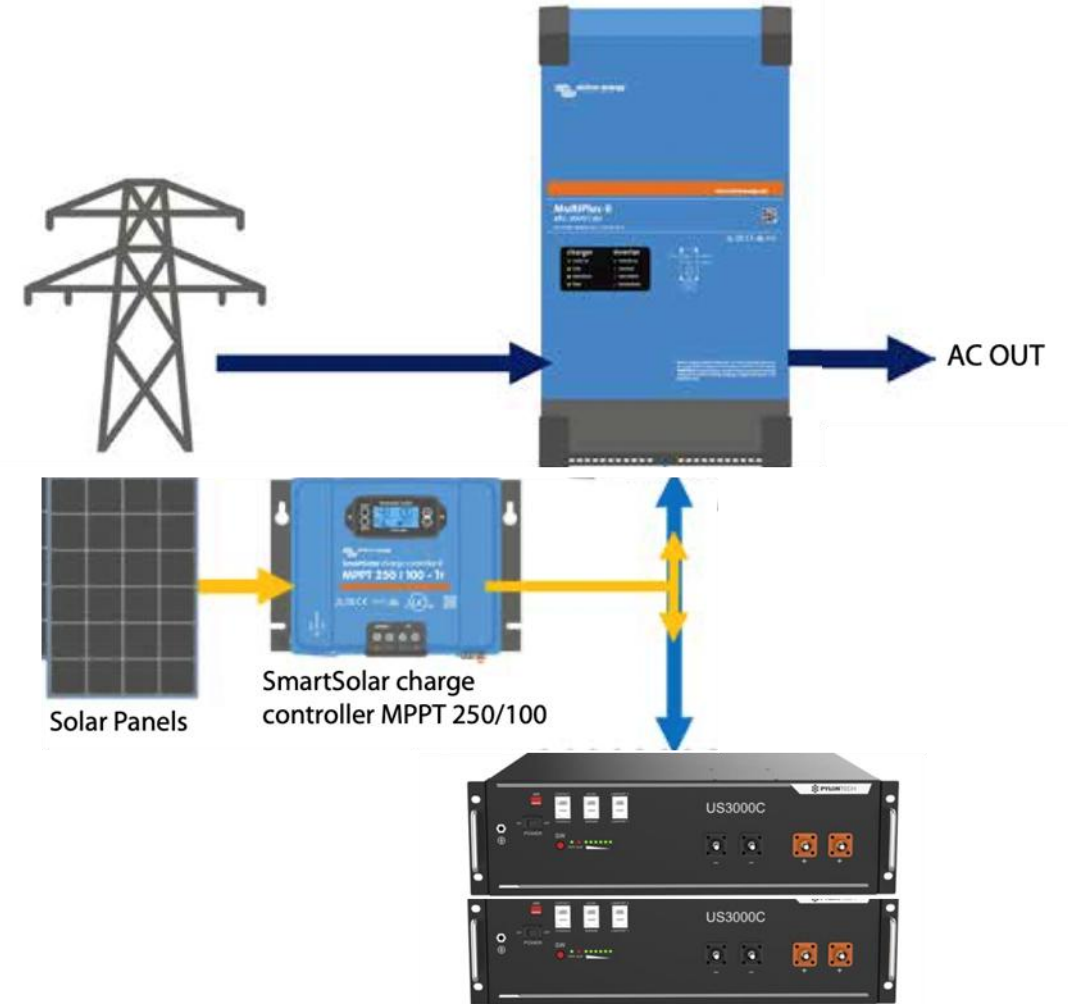
- Tipo de operación:

- En condiciones normales, el sistema pasa la energía de la red a las cargas mientras mantiene las baterías cargadas.
- Cuando la red falla, el inversor conmuta en milisegundos y se convierte en la fuente principal.
- Las cargas críticas siguen alimentadas como si nada.



Autoconsumo DC coupling

- Permite almacenar la energía generada por fuentes renovables, como módulos solares, para usarla en momentos en que la generación no es posible o insuficiente.
- Maximiza el uso de la energía renovable generada localmente.
- Reduce la dependencia de la red eléctrica.



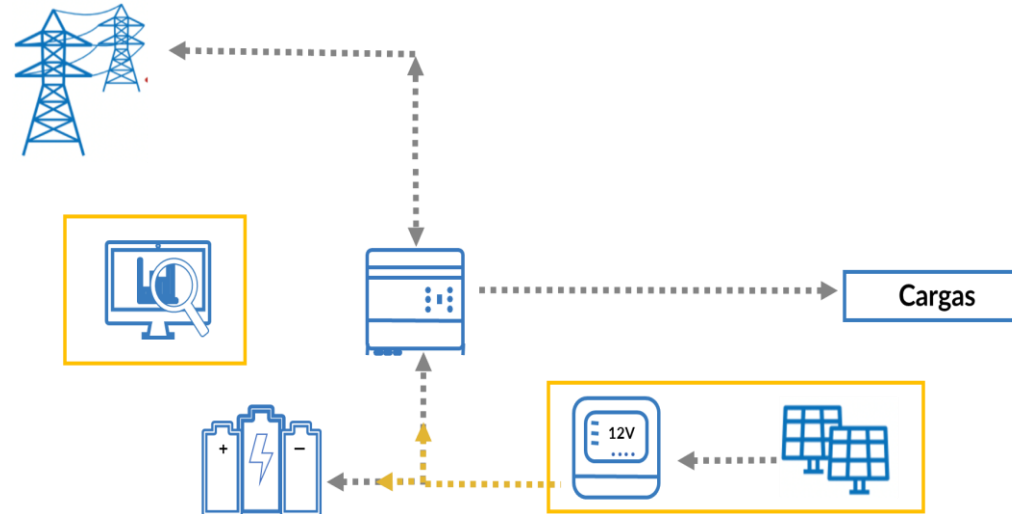
Autoconsumo DC coupling

- Configuración típica:

- Inversor/cargador conectado en paralelo a la red.
- Batería dimensionada para cubrir consumo nocturno.
- Generación FV acoplada en DC (MPPT Victron) coupling.

- Tipo de operación:

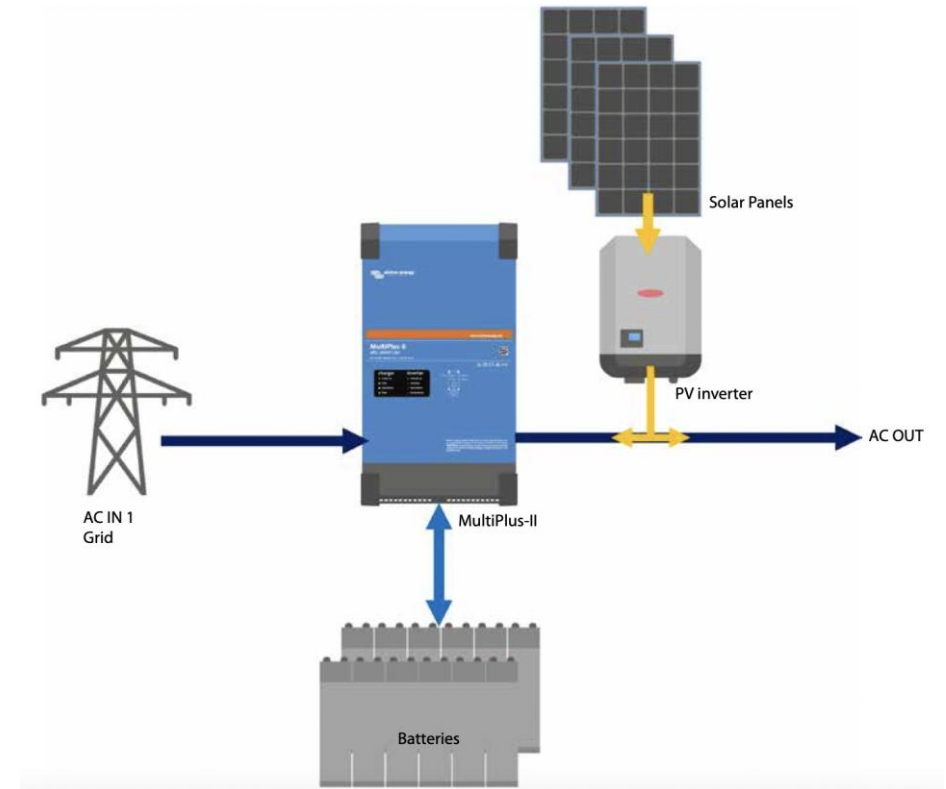
- El sistema prioriza energía solar; excedentes cargan la batería.
- Una vez llena la batería, el excedente puede exportarse a red (si normativa lo permite).
- El inversor regula inyección evitando vertidos no autorizados.



Autoconsumo

AC coupling

- Sistema de almacenamiento de energía con acoplamiento en AC.
- Es una configuración de dos tipos de inversores, tanto generadores de energía (como módulos solares) como el sistema de almacenamiento (baterías) y la red se combinan para suministrar energía a cargas de manera continua.
- Solución que permite una mayor flexibilidad y escalabilidad en la integración de sistemas de energía.



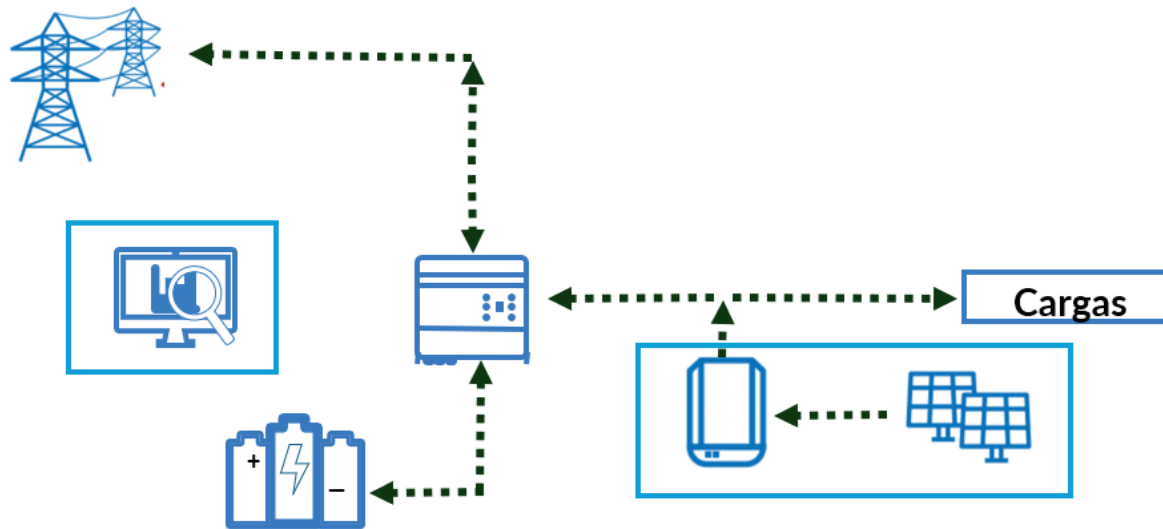
Autoconsumo AC coupling

- Configuración típica:

- Generador FV con inversor de red convencional.
- Inversor cargador creando la “microrred” de referencia de tensión y frecuencia.
- Banco de baterías acoplado al inversor cargador.

- Tipo de operación:

- El inversor solar inyecta energía en la microrred.
- El inversor Victron regula la absorción, cargando baterías cuando sobra energía.
- Si la batería se llena, el sistema puede reducir potencia FV (mediante control directo al inversor solar o desvío a cargas).



Autoconsumo

AC/DC coupling

FV CA Ventajas:

- Menos cables y más finos
- El conjunto FV puede estar lejos de la instalación

Inconvenientes:

- Regla 1.0
- Necesita programación
- El sistema no se recuperará de una batería baja sin un generador auxiliar

FV CC Ventajas:

- Mejor para la carga de baterías
- Más eficiente si la mayor parte de la energía debe almacenarse
- Fácil de configurar. Se pueden usar los productos con la configuración por defecto, no necesita programación
- A prueba de fallos si las baterías se descargan demasiado

Inconvenientes:

- No es muy adecuado para conjuntos muy grandes (tensión máxima 250 V)

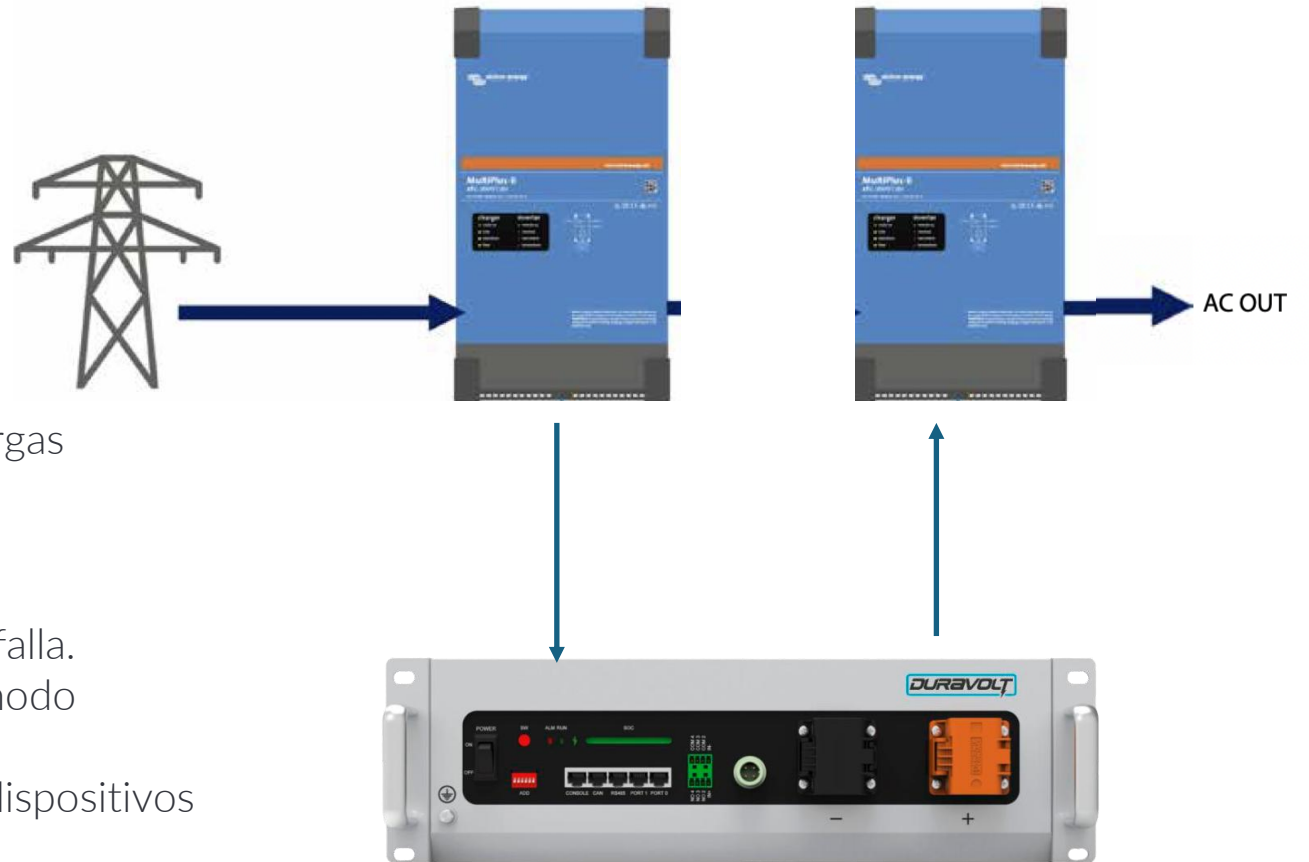
UPS (Uninterrupted Power Supply)

- Configuración típica:

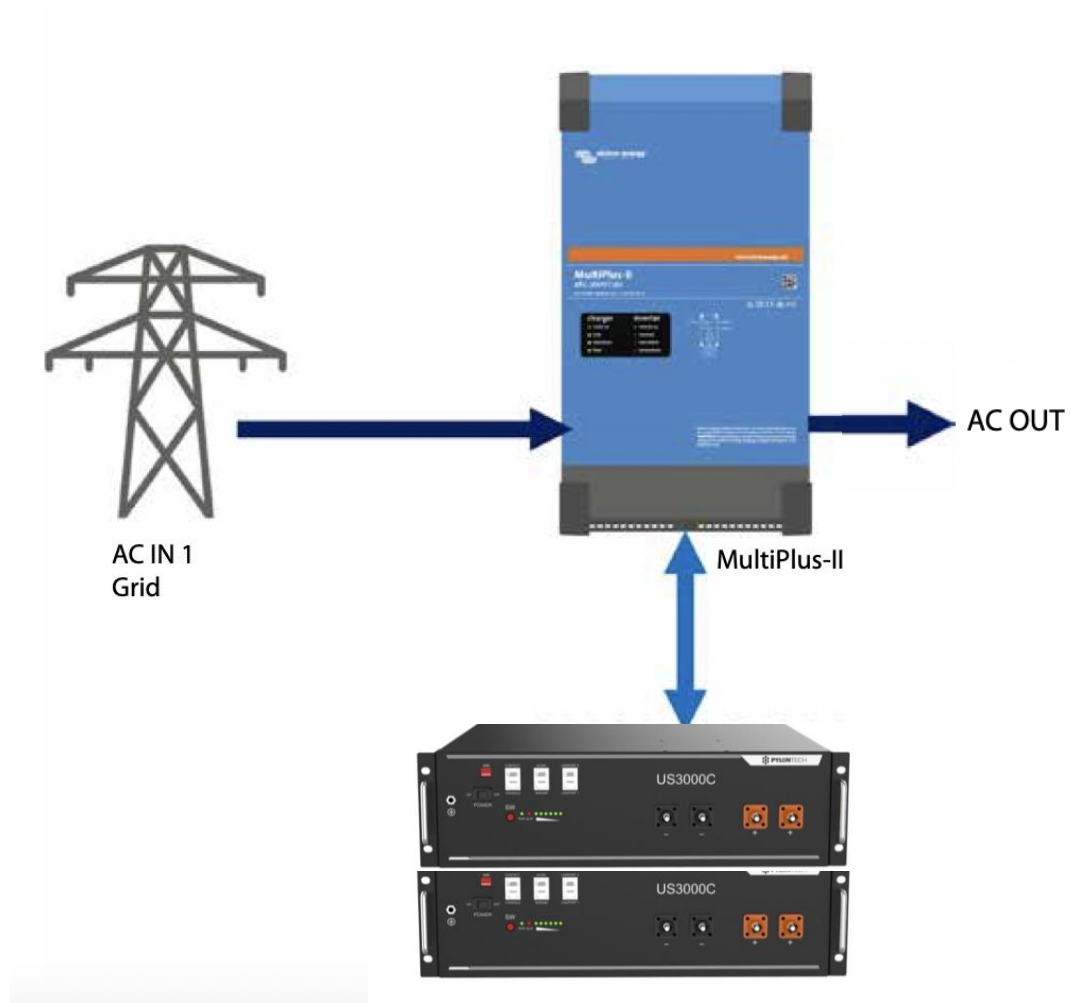
- Inversor/ cargador
- Baterías.
- Instalación orientada 100% a sensibilidad de cargas (centros de datos, hospitales, laboratorios).

- Tipo de operación:

- La carga no percibe interrupción cuando la red falla.
- El equipo pasa instantáneamente de bypass a modo inversor.
- Permite continuidad absoluta de operación en dispositivos críticos.



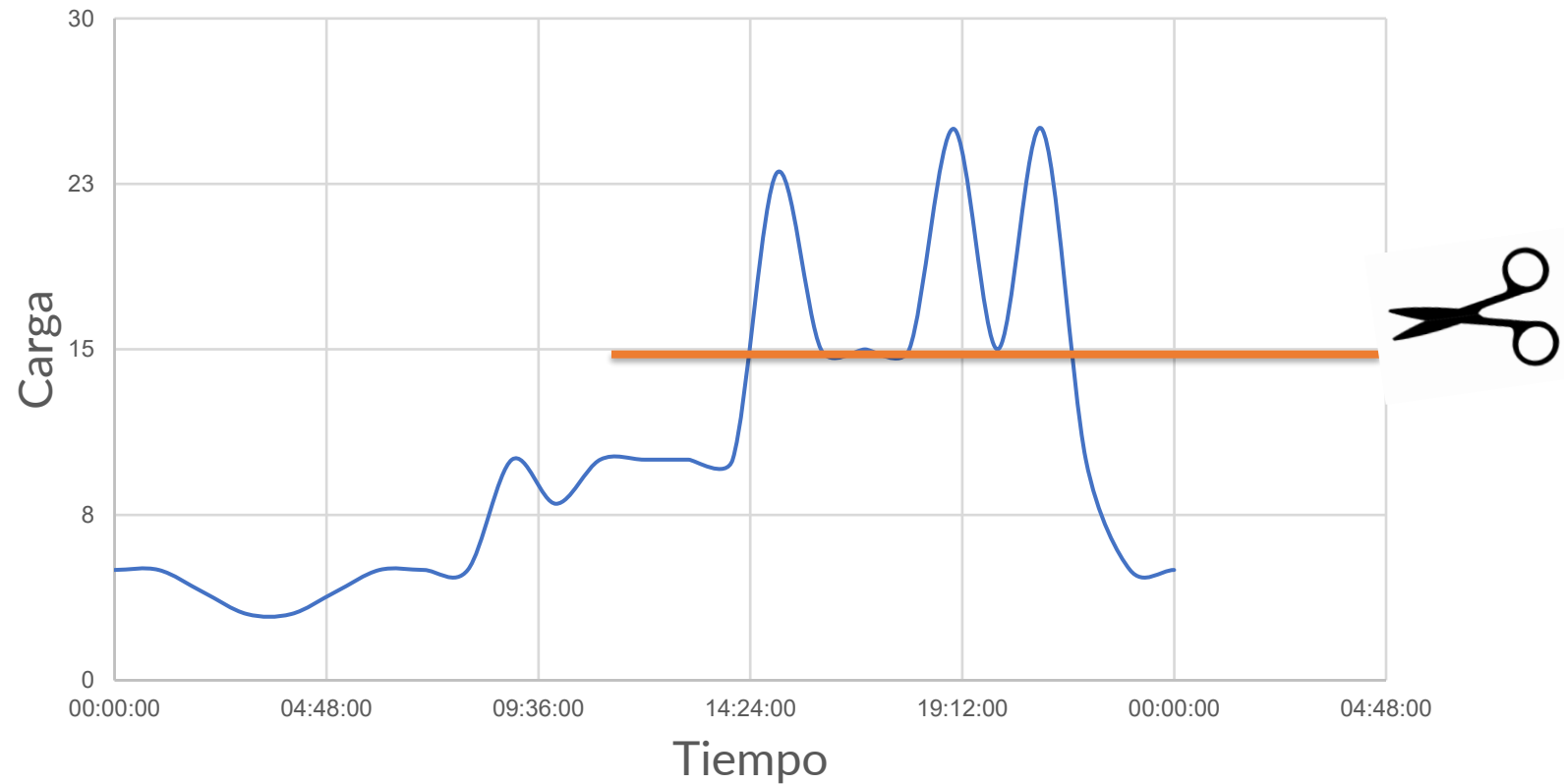
Gestión de potencia



Gestión de potencia

➤ Peak shaving

“Peak shaving se refiere a nivelar los picos de potencia”

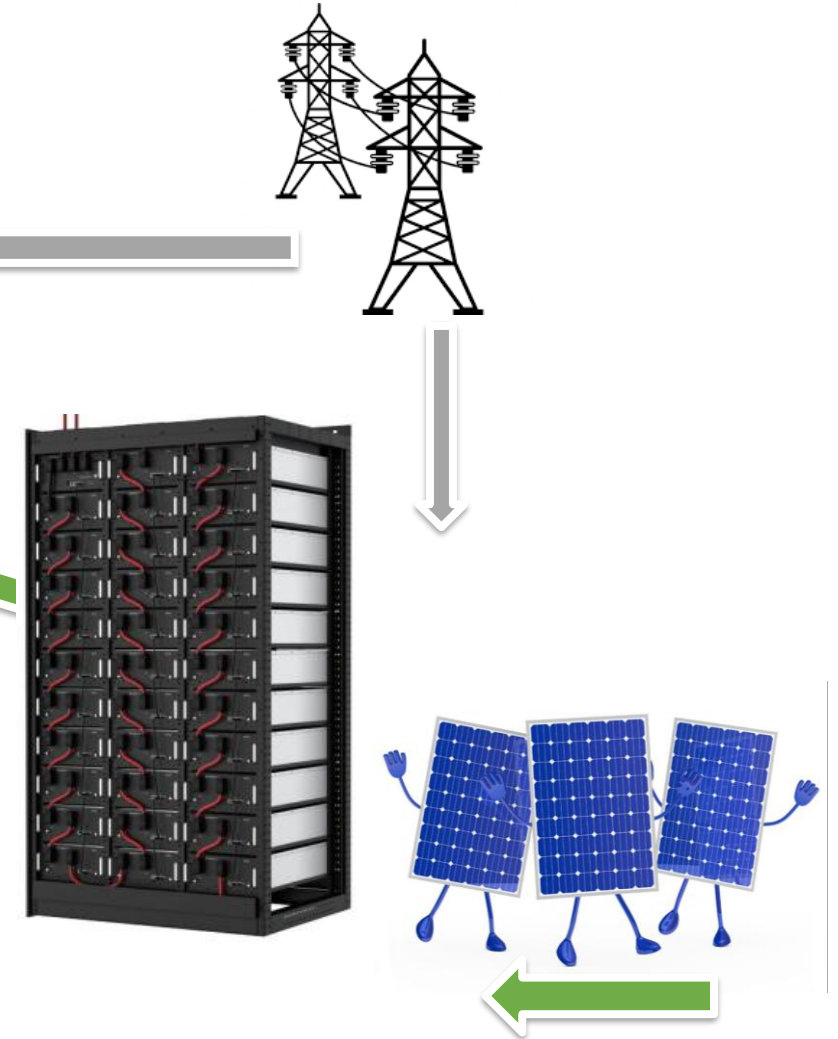
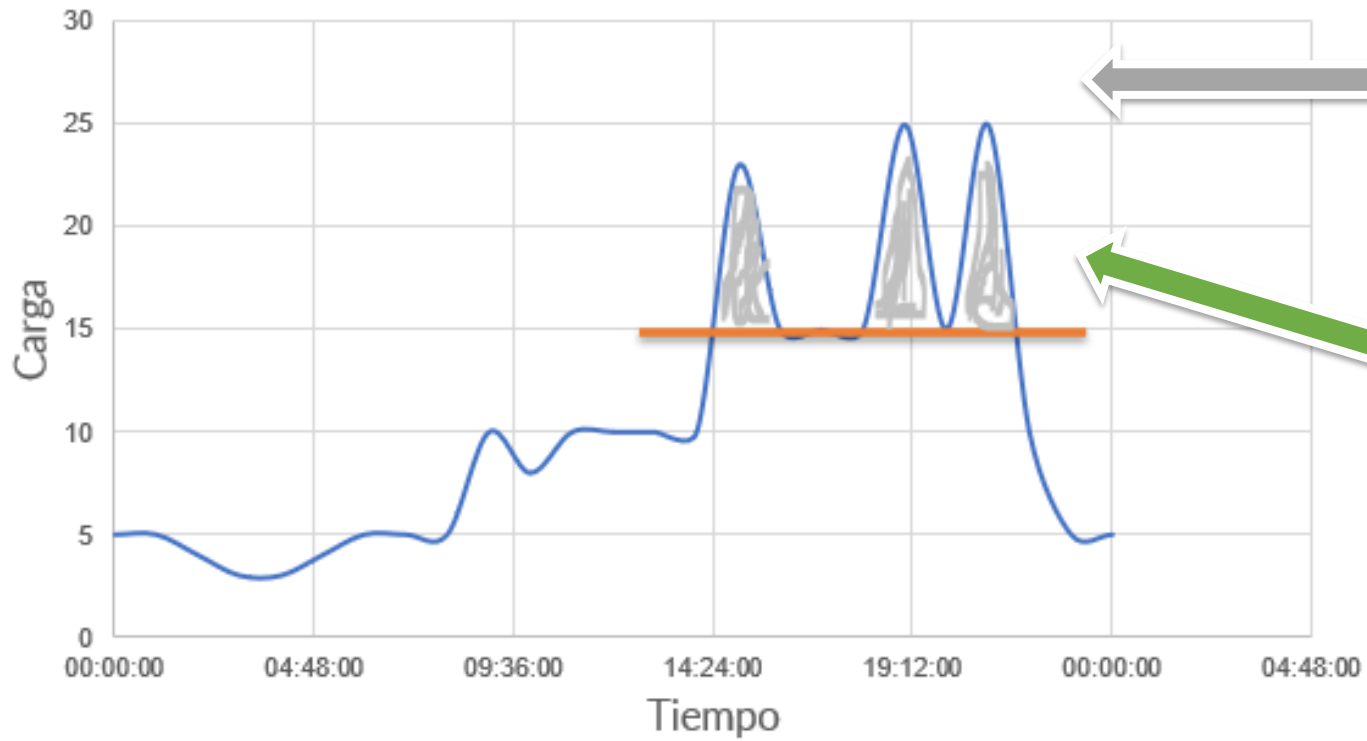


- ✓ Estabilidad de red
- ✓ Reduce costos
- ✓ Administración de cargas

GDMTH

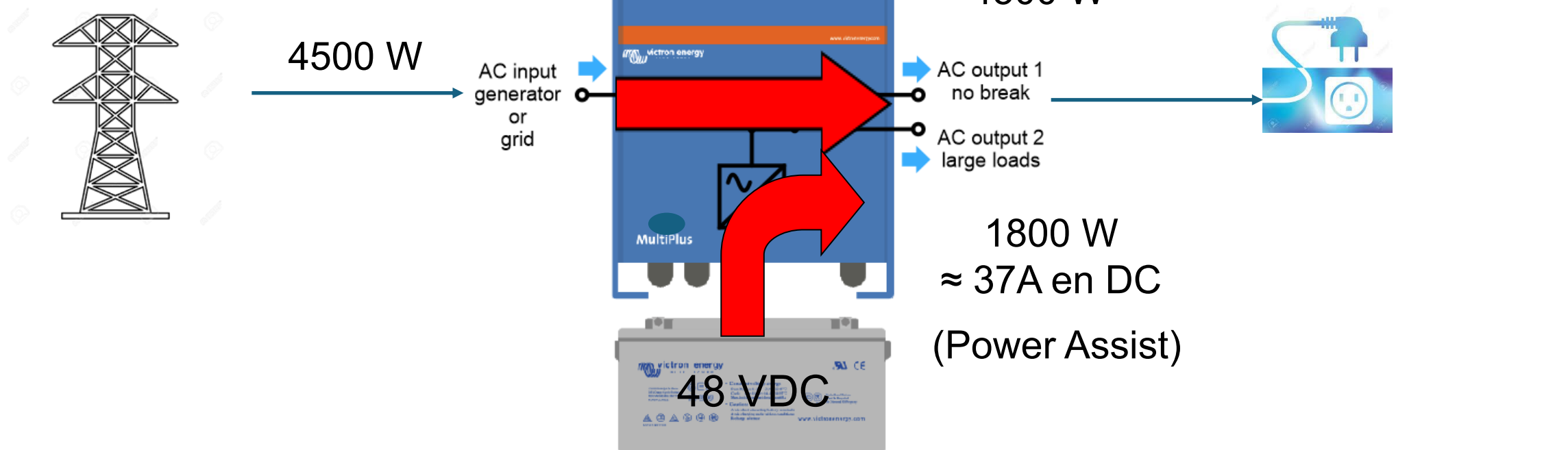
Gestión de potencia

➤ Peak shaving



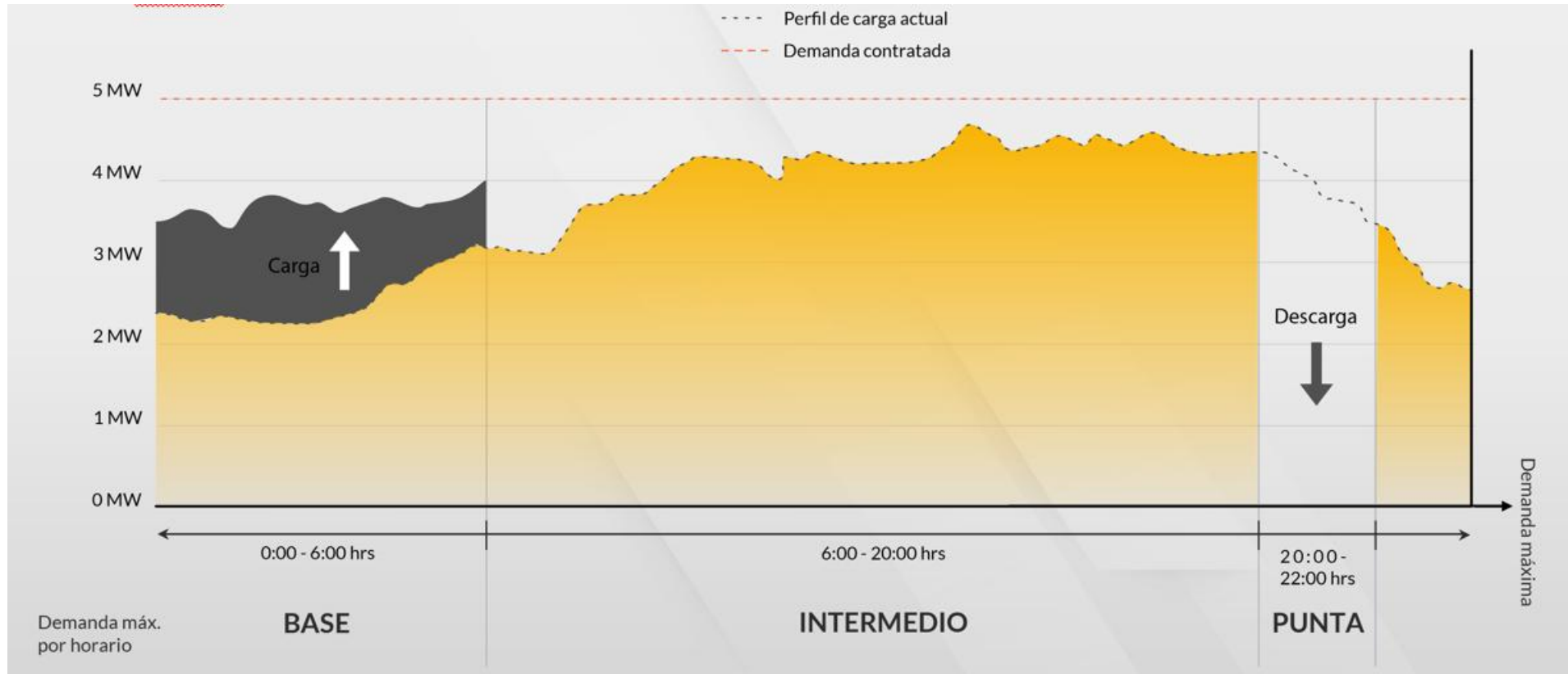
Gestión de potencia

Tipo de operación:
Peak Shaving



Gestión de potencia

➤ Load shifting



Gestión de potencia

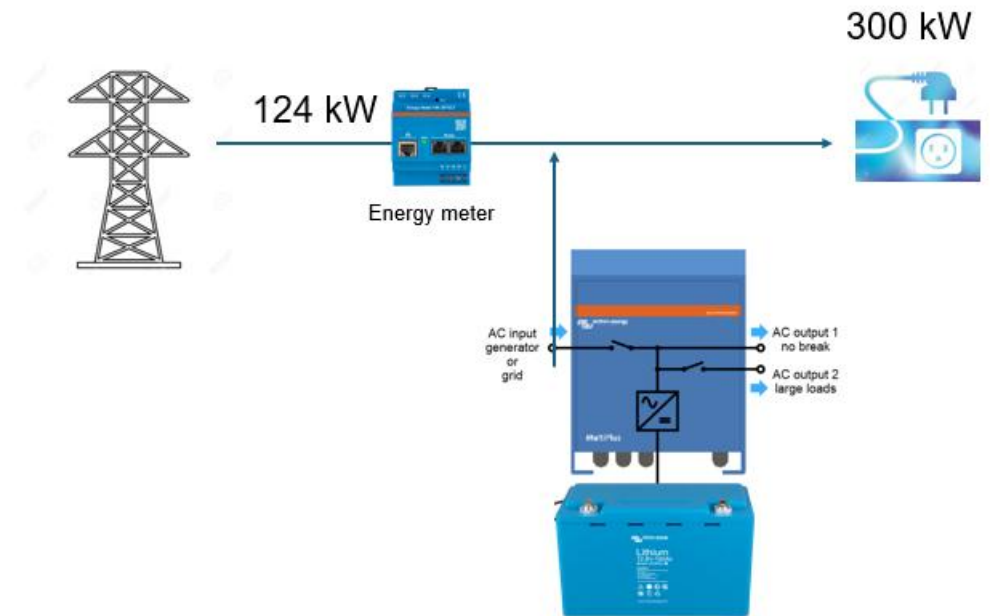
Load shifting

Configuración típica:

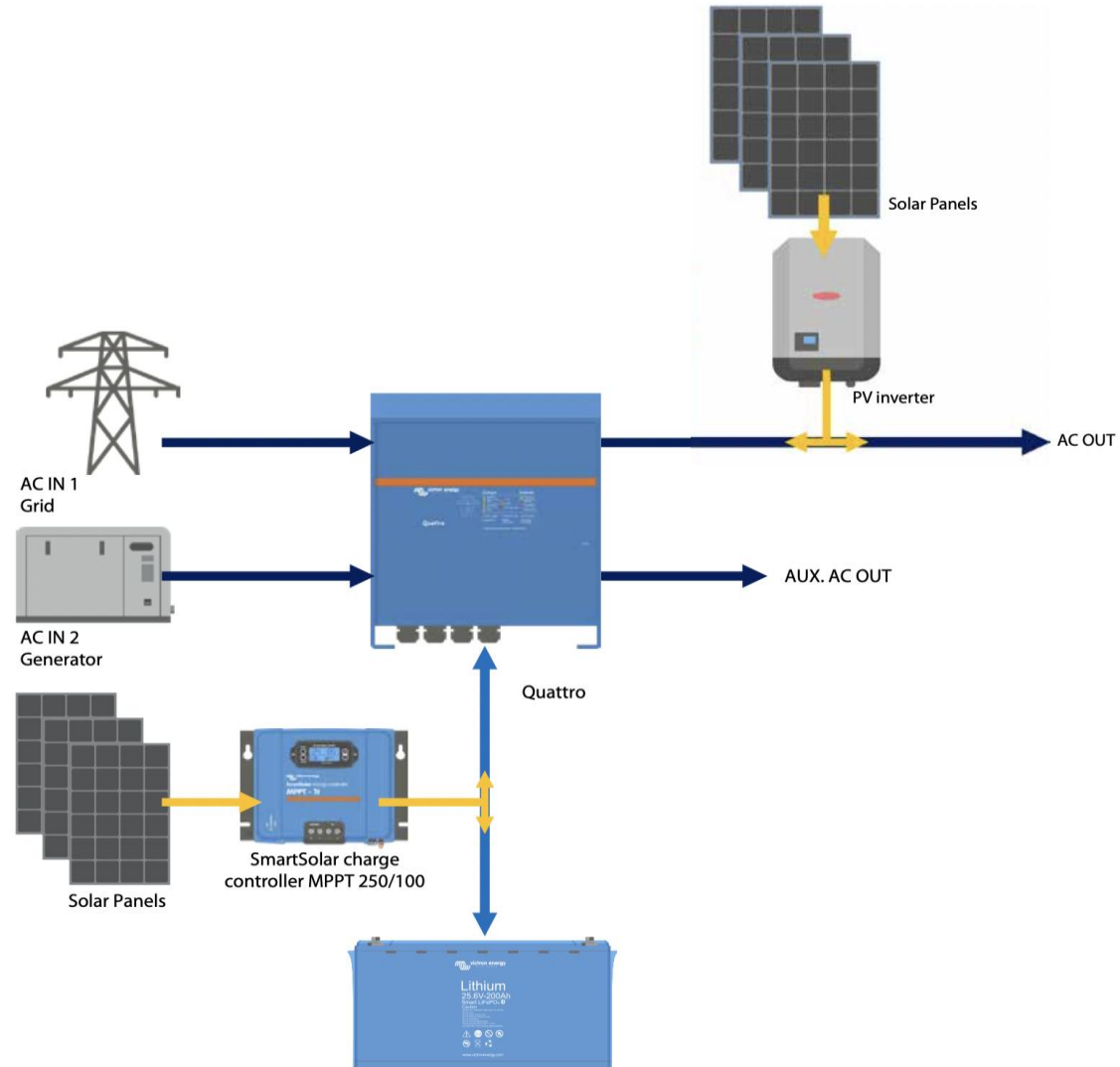
- Inversor inteligente.
- Sensores de corriente y medidores de energía.
- Algoritmos de control para priorizar fuentes.

Tipo de operación:

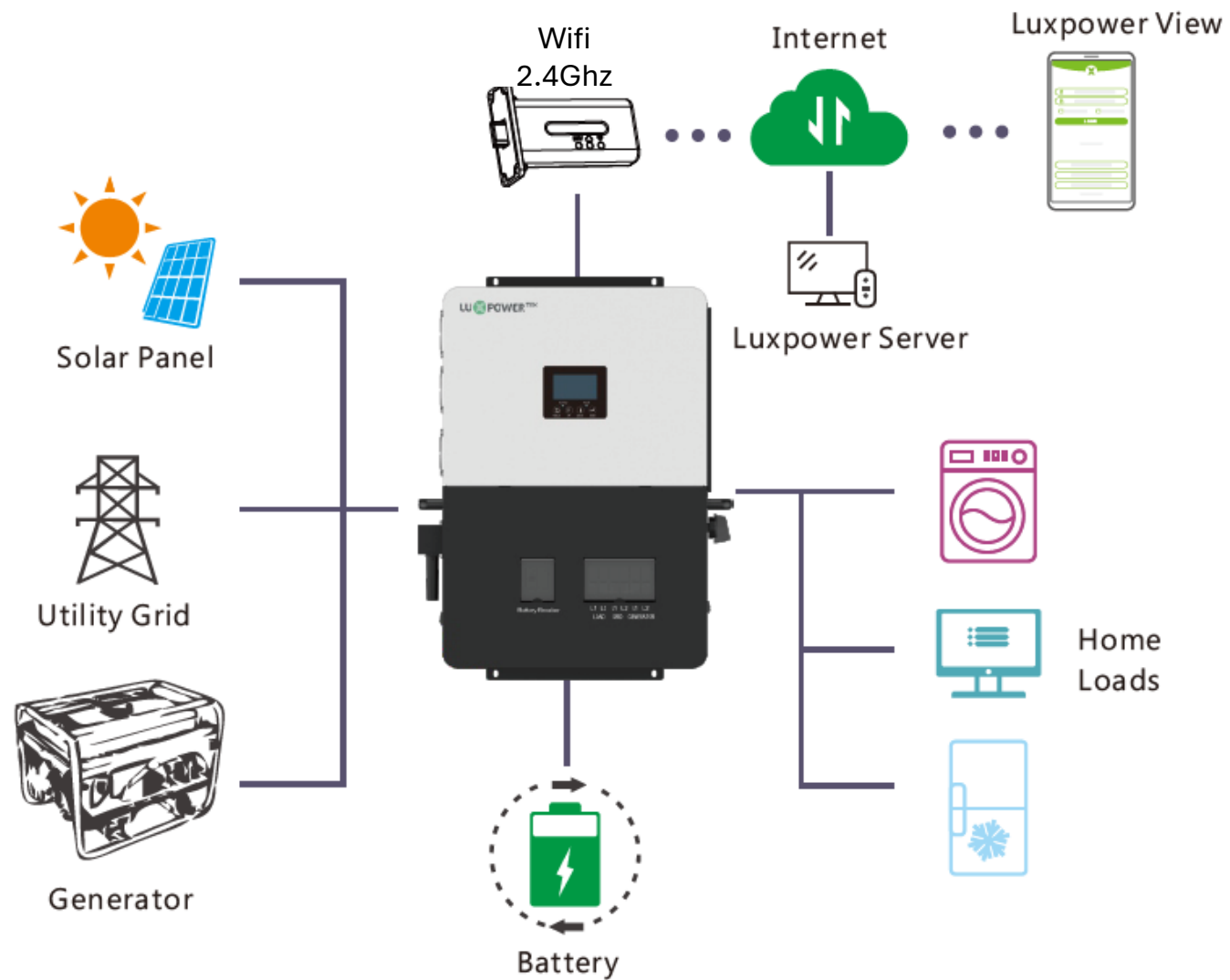
- En picos puntuales, las baterías suministran energía extra para no disparar protecciones ni sobredimensionar infraestructura.
- Ejemplo: un yate que arranca aire acondicionado sin tener que prender un segundo generador.



Sistemas híbridos

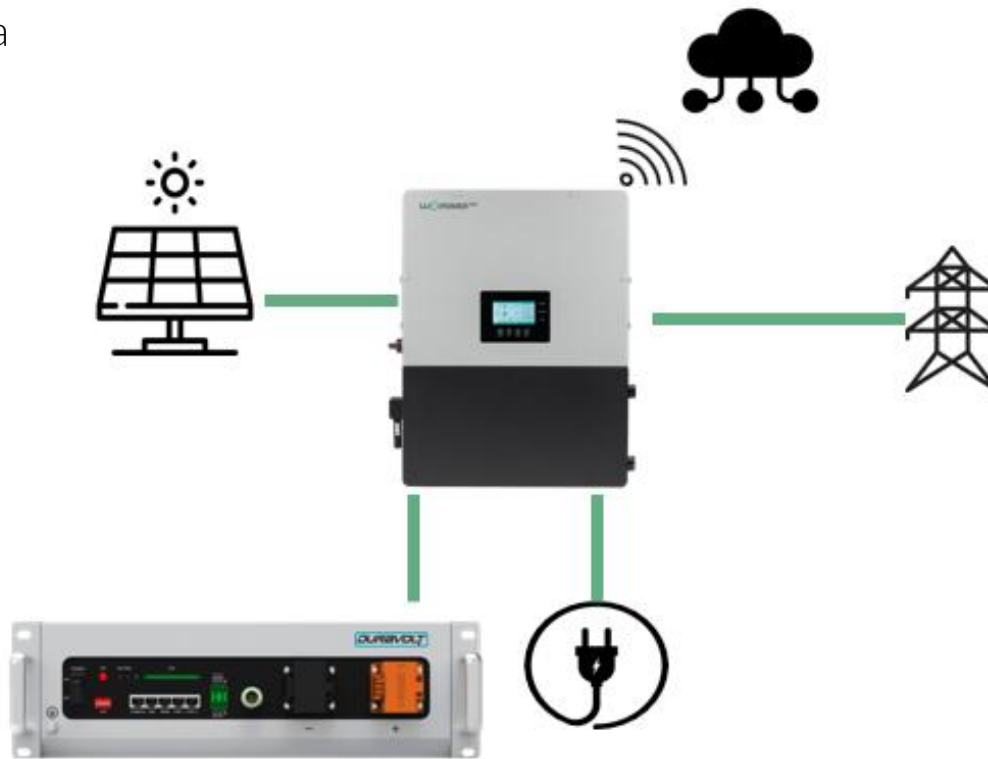


Inversores todo en uno



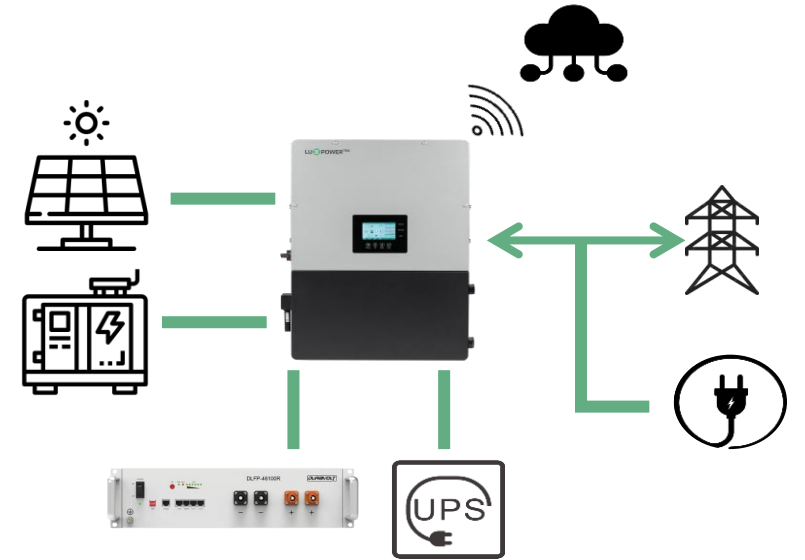
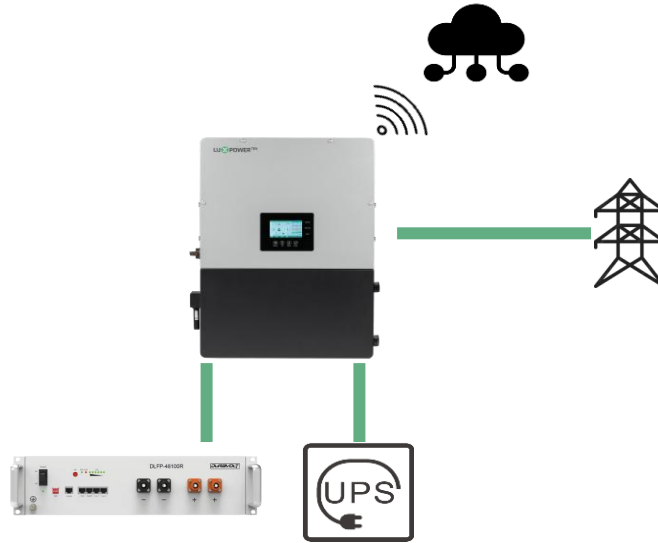
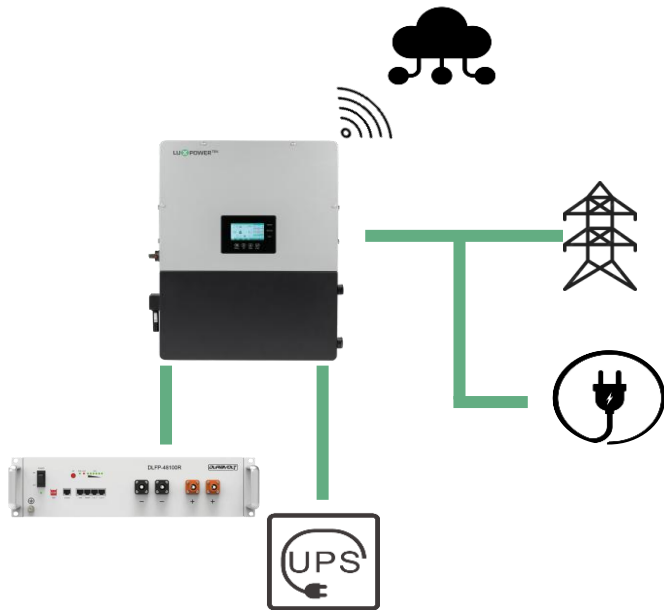
Off grid

- Inversor funcionando sin conexión a red eléctrica
- Ajustes clave: frecuencia fija (50/60 Hz), tensión estable (V)
- Gestión de baterías: carga adaptativa



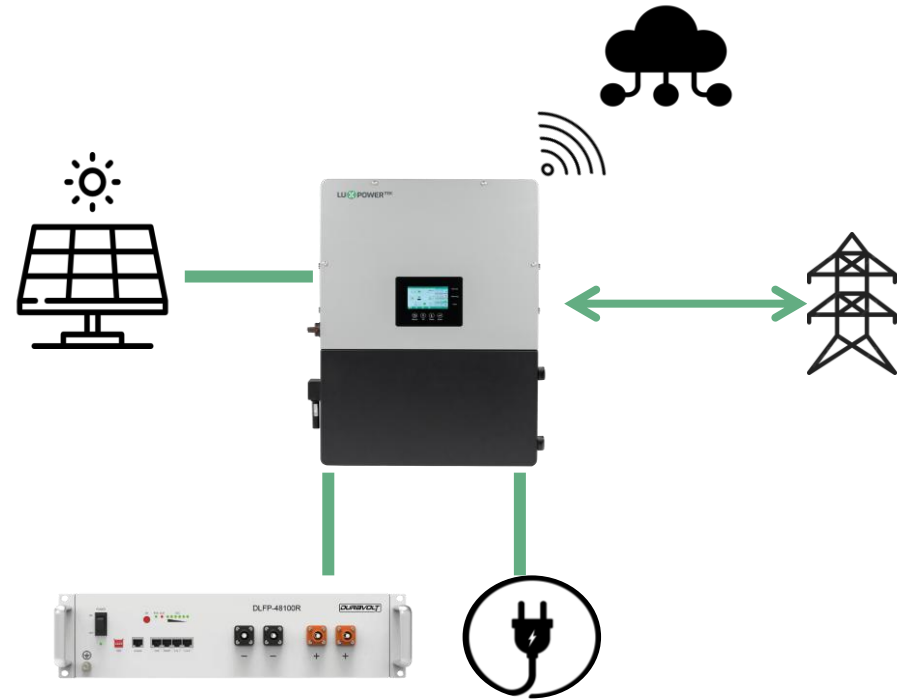
Back up

- Configuración típica: prioridad a la red, batería como respaldo
- Aplicación: hogares y negocios que no pueden permitirse cortes eléctricos



Autoconsumo

- Permite almacenar la energía generada por fuentes renovables, como módulos solares, para usarla en momentos en que la generación no es posible o insuficiente.
- Maximiza el uso de la energía renovable generada localmente.
- Reduce la dependencia de la red eléctrica.
- Mejoran la eficiencia energética.



Recomendaciones

- ✓ Leer las fichas técnicas y manuales para comprender el alcance de los equipos y evitar comprometer su funcionamiento.
 - ✓ Durante la puesta en marcha del sistema, energizar únicamente con baterías.
 - ✓ El sistema puede estar cableado del lado de AC, pero los breakers deben permanecer abiertos.
 - ✓ Actualizar los equipos antes de realizar la configuración.
 - ✓ Asegurarse de tener una señal de red de internet estable.
 - ✓ Descargar previamente las aplicaciones necesarias para la configuración.
 - ✓ Revisar y conectar correctamente el cableado de comunicaciones y de potencia antes de energizar los equipos.
 - ✓ Verificar el cableado antes de energizar los equipos.
 - ✓ Contar con todos los dispositivos necesarios para la configuración, como la interfaz MK3, laptop y celular.
 - ✓ Ubicación y montaje: ventilación, distancia a baterías, protección ambiental
 - ✓ Cableado: sección adecuada, fusibles y protecciones CC
-



¡GRACIAS!

Karen Lugo

Cel. 773 102 7852

karenluu@gmail.com

k.lugo@batterydepot.com.mx

A complex network diagram in the background, featuring numerous nodes (represented by small circles) connected by thin lines, forming a web-like structure. The nodes are arranged in a way that suggests a hierarchical or interconnected system, with some nodes having more connections than others. The overall aesthetic is modern and technical.



DISEÑO Y REVISIÓN DE SISTEMAS DE TIERRA FÍSICA.

Imparte: Ing. Manuel Chávez Campos

SEPTIEMBRE 2025

OBJETIVO DEL CURSO

**AL FINALIZAR EL CURSO, EL PARTICIPANTE TENDRÁ LOS
CONOCIMIENTOS NECESARIOS PARA DISEÑAR Y REVISAR LOS
SISTEMAS DE TIERRA FÍSICA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
DE ACUERDO A LA NOM-001-SEDE-2012 Y EL NEC 2017.**

TEMARIO

1.- INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES.

2.- SELECCIÓN DE CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.

3.- PUESTA A TIERRA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

4.- CONCLUSIÓN.

1.- INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES.

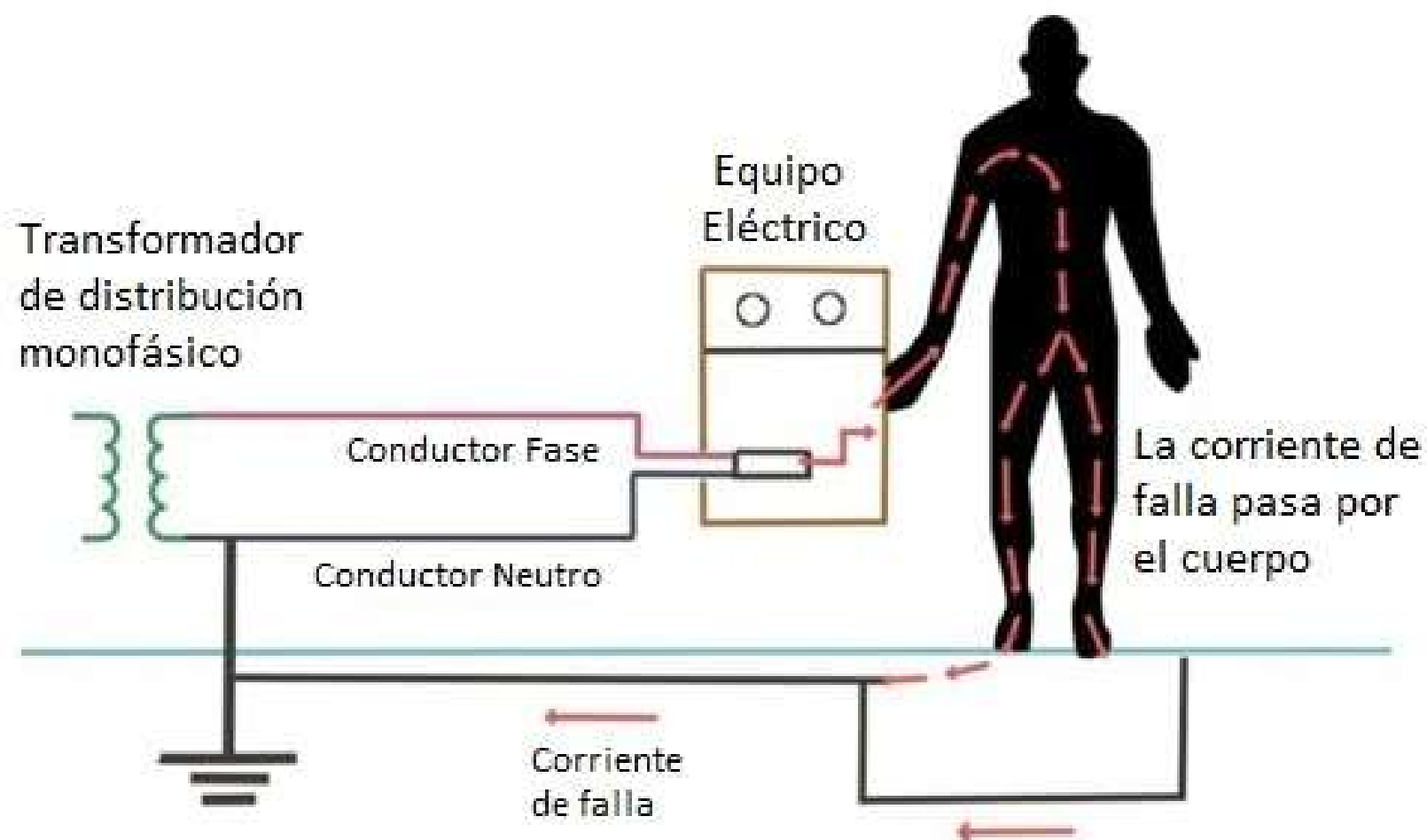
1.1 NOM-001-SEDE-2012 - TITULO 4

4.1.2.2 PROTECCIÓN CONTRA FALLA (PROTECCIÓN CONTRA CONTACTO INDIRECTO)

La protección para las personas y animales debe proporcionarse contra los peligros que puedan resultar por el contacto indirecto con las partes conductoras expuestas en caso de falla.

Esta protección puede obtenerse por uno de los métodos siguientes:

- Disposiciones para el paso de corriente que resulte de una falla y que pueda pasar a través del cuerpo de una persona.
- Limitando la magnitud de la corriente que resulte de una falla, a un valor no peligroso, la cual puede pasar a través del cuerpo.
- Limitando la duración de la corriente que resulte de una falla, que puede pasar a través del cuerpo, a un periodo no peligroso.



1.2 MÉTODO DE CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA

Es el principio mas importante para proteger de un contacto indirecto.

Dicho de otra manera, que ante la presencia de falla, la corriente circule por un camino de menor impedancia que el cuerpo de una persona o de un animal.

1.3 CONDICIONES INDISPENSABLES PARA LOGRAR UNA RUTA DE MENOR IMPEDANCIA.

3.1 Puesta a tierra de los sistemas eléctricos. Los sistemas eléctricos se deben conectar a tierra de manera que limiten la tensión impuesta por descargas atmosféricas, sobretensiones en la línea, o contacto no intencional con líneas de tensión mayor y que establezcan la tensión a tierra durante la operación normal.

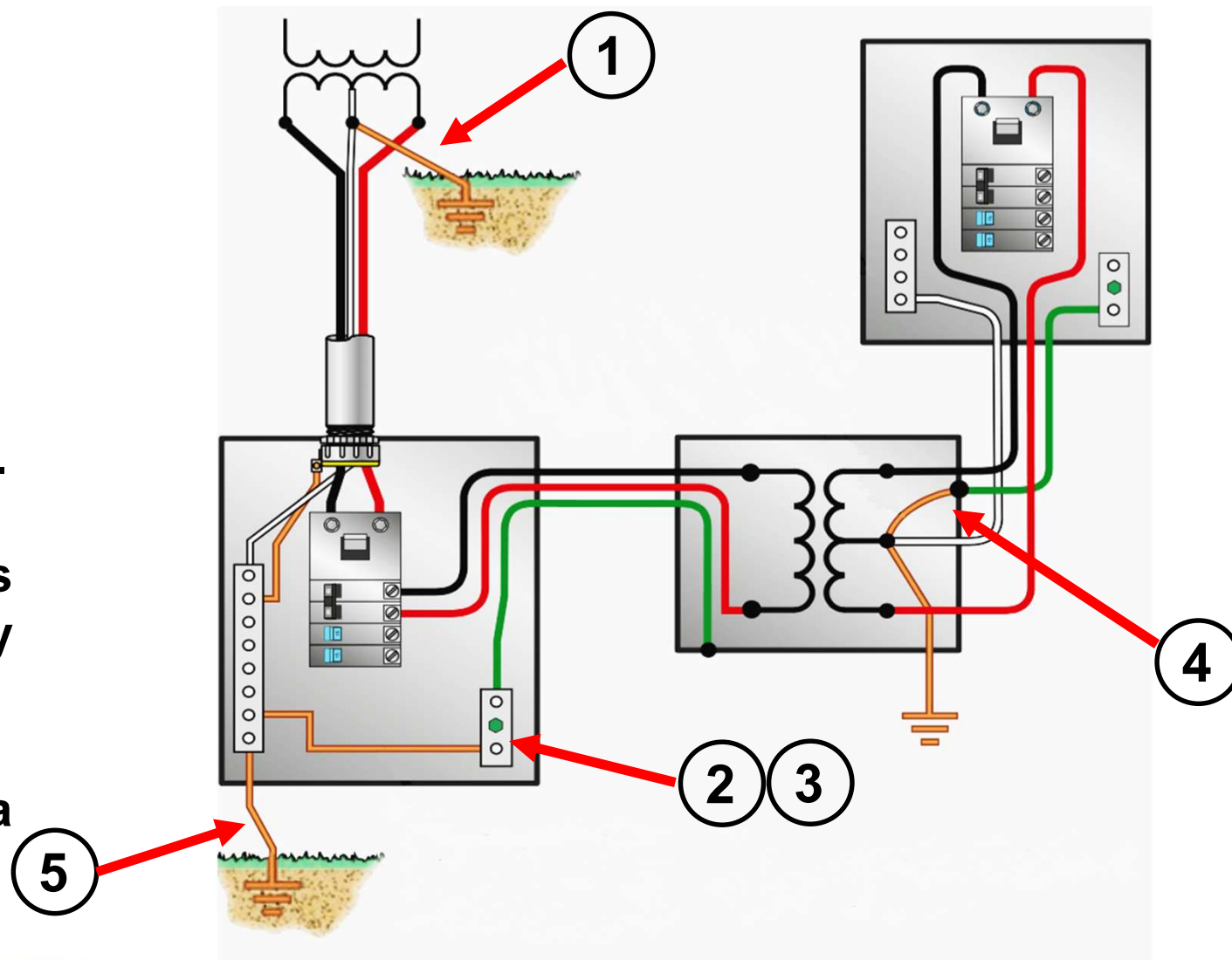
1.3.2 Puesta a tierra del equipo eléctrico. Los materiales conductores que normalmente no transportan corriente, que alojan a los conductores o equipo eléctrico, o que forman parte de dicho equipo, deben estar conectados a tierra con el fin de limitar la tensión a tierra en estos materiales.

1.3.3 Unión en el equipo eléctrico. Los materiales conductores que normalmente no transportan corriente, que alojan a los conductores o equipo eléctrico, o que forman parte de dicho equipo, se deben conectar entre sí y a la fuente de alimentación eléctrica de manera que establezcan una trayectoria efectiva para la corriente de falla a tierra.

1.3.4 Unión de materiales eléctricamente conductivos y otros equipos. Los materiales eléctricamente conductivos que normalmente no transportan corriente, que tienen probabilidad de energizarse, se deben conectar entre sí y a la fuente de alimentación eléctrica de manera que establezcan una trayectoria efectiva para la corriente de falla a tierra.

1.3.5 Trayectoria efectiva de la corriente de falla a tierra. Los equipos y el alambrado eléctrico y otros materiales eléctricamente conductivos que tienen la probabilidad de energizarse, se deben instalar de forma que establezcan un circuito de baja impedancia, que facilite la operación del dispositivo de protección contra sobrecorriente o del detector de falla a tierra para sistemas puestos a tierra a través de una alta impedancia.

- 1) Puesta a tierra del sistema.**
- 2) Puesta a tierra del equipo.**
- 3) Unión en el equipo eléctrico.**
- 4) Unión de materiales eléctricamente conductivos y otros equipos.**
- 5) Trayectoria efectiva de la corriente de falla a tierra.**



1.4 PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS

1.4.1 Cuando el equipo está sujetado en su lugar o conectado mediante métodos de alambrado permanente.

- Si están dentro de una distancia de 2.50 metros verticalmente o 1.50 metros horizontalmente de objetos metálicos puestos a tierra o de puesta a tierra y que las personas puedan hacer contacto con ellos.
- Si están localizados en un lugar húmedo o mojado y no están aislados.
- Si están en contacto eléctrico con metales.
- Si están en un lugar peligroso (clasificado).
- Si el equipo opera con cualquier terminal a más de 150 volts a tierra.

1.4.2 Cuando es un equipo específico sujetado en su lugar o conectados por métodos de alambrado (fijos).

- Gabinetes de tableros de distribución y estructuras.
- Carcasas de motor.
- Envolventes de controladores de motores.
- Ascensores y grúas.
- Garajes, teatros y estudios de cine.
- Anuncios eléctricos.
- Equipo para proyección de películas de cine.
- Circuitos de control remoto, de señalización y de alarmas contra incendios.
- Luminarias.
- Equipo montados en patines.
- Bombas de agua operadas a motor.
- Ademe metálico de pozos.

1.4.3 Cuando es un equipo conectado con cordón y clavija.

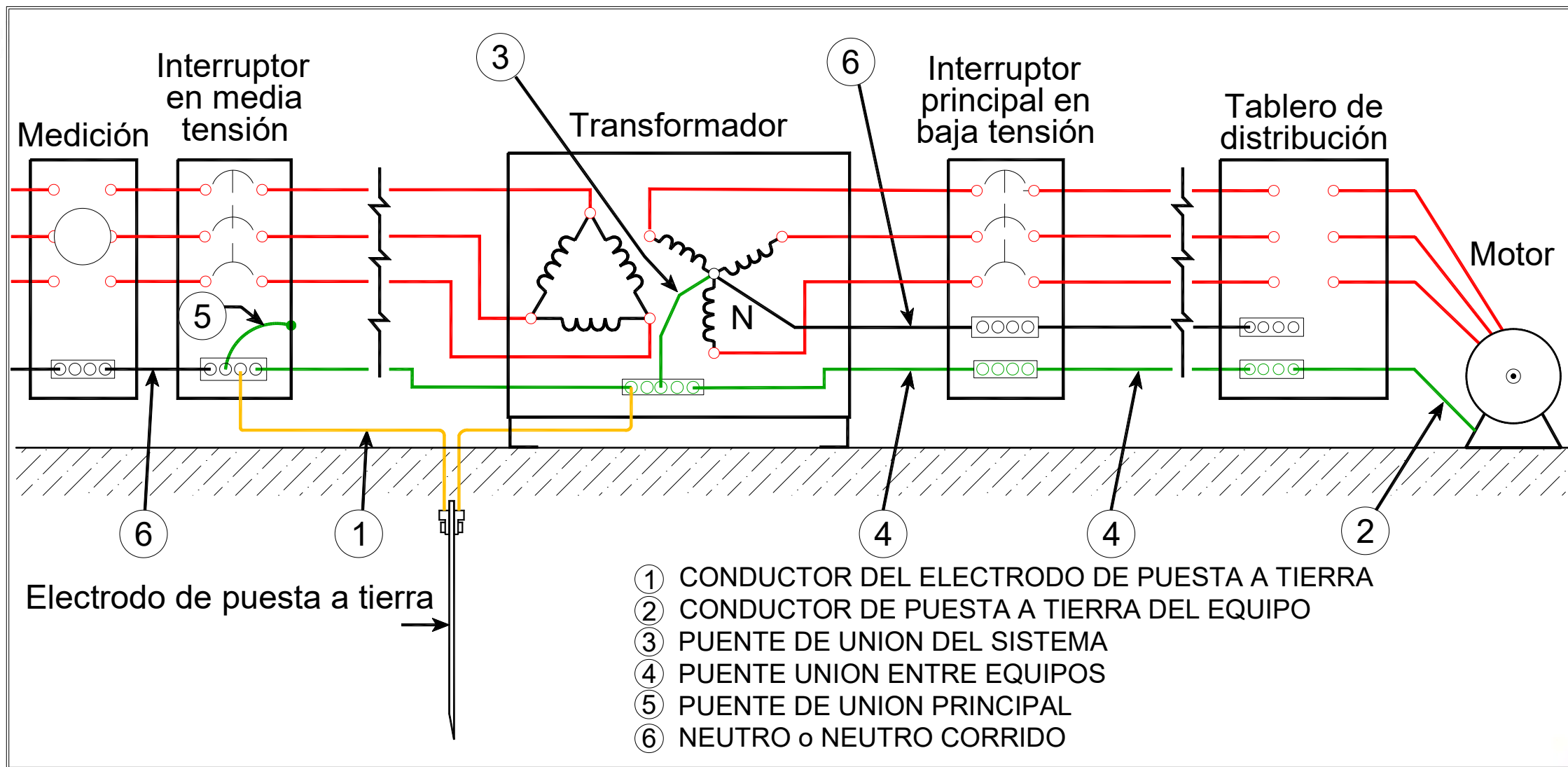
- En lugares peligrosos (clasificados)
- Si operan a más de 150 volts a tierra.
- En aplicaciones residenciales: Refrigeradores, equipos de aire acondicionado, máquinas lavadoras y secadoras de ropa, máquinas lavaplatos, etc.
- Otras aplicaciones distintas a las residenciales: Refrigeradores, congeladores y equipos de aire acondicionado; máquinas lavadoras y secadoras de ropa, máquinas lavaplatos; equipos de tecnología de información, etc.

1.4 Tipo de conductores de puesta a tierra.

La NOM contempla usar varios tipos de conductores para el sistema de puesta a tierra. Lo más común es usar cables como conductores de puesta a tierra.

Estos cables, se dividen en tres grandes tipos, nombrados:

- Conductor del electrodo de puesta a tierra.
- Conductor de puesta a tierra de equipos.
- Puente de unión.



2.- SELECCIÓN DE CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.

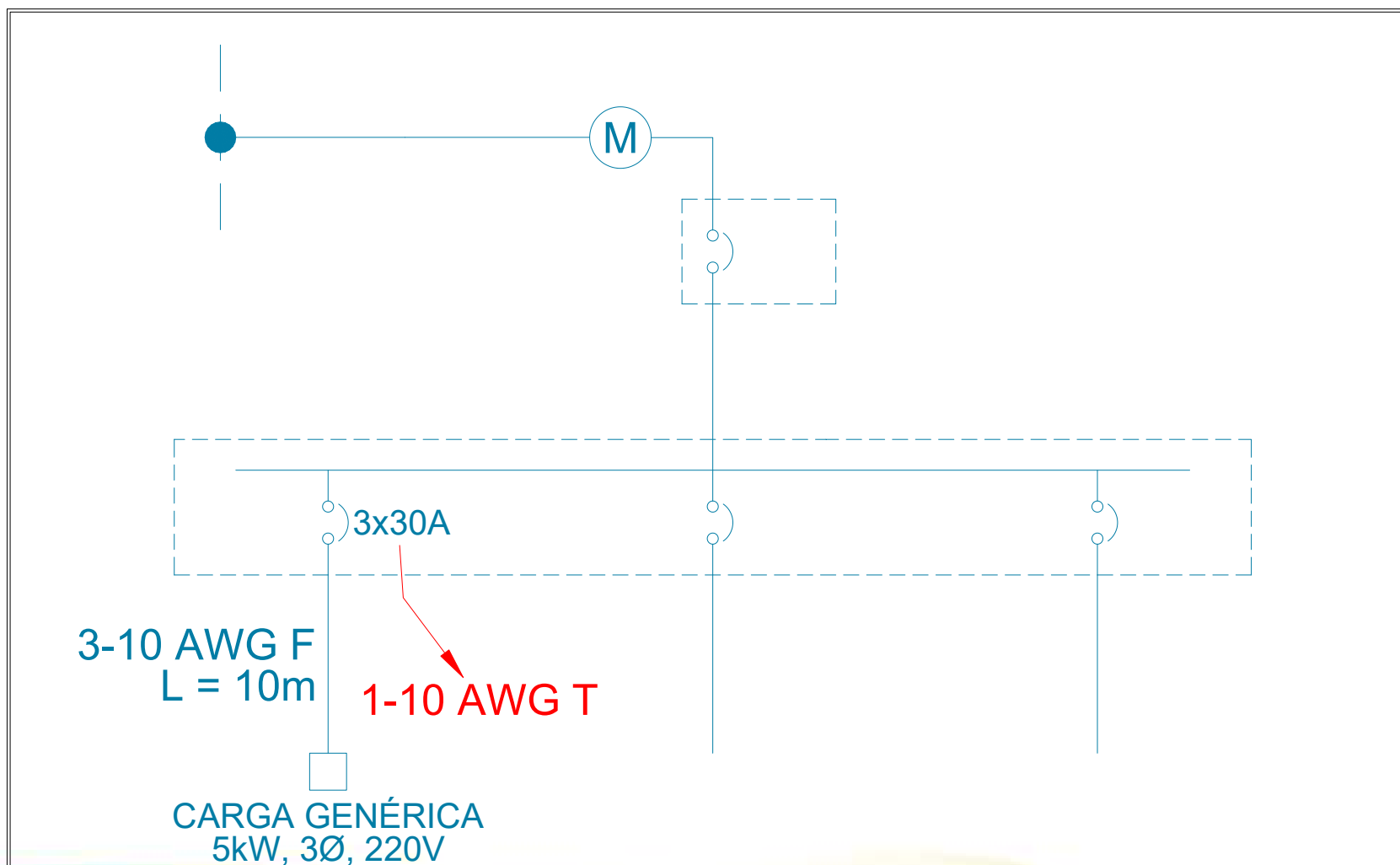
2.1 SELECCIÓN DE CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS

2.1.1 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS

Tabla 250-122.- Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos

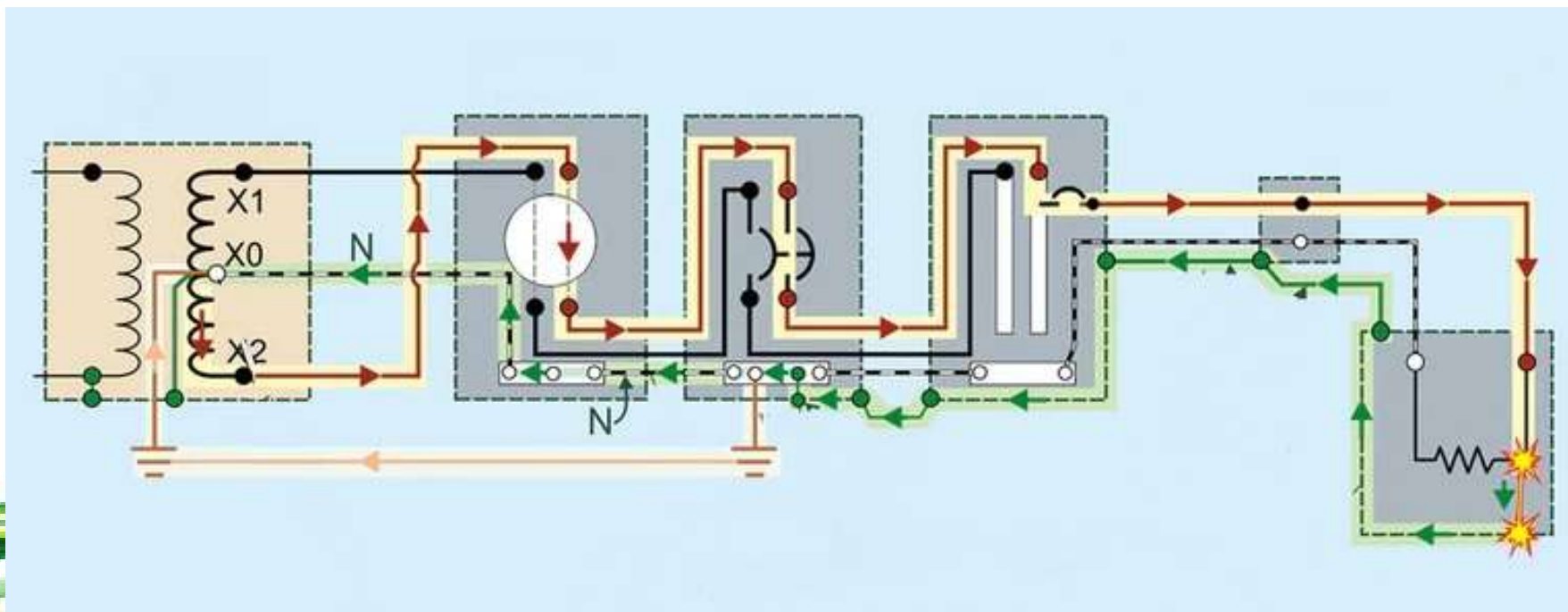
Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc., sin exceder de: (amperes)	Tamaño			
	Cobre		Cable de aluminio o aluminio con cobre	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2.08	14	—	—
20	3.31	12	—	—
60	5.26	10	—	—
100	8.37	8	—	—
200	13.30	6	21.20	4
300	21.20	4	33.60	2
400	33.60	2	42.40	1
500	33.60	2	53.50	1/0
600	42.40	1	67.40	2/0
800	53.50	1/0	85.00	3/0
1000	67.40	2/0	107	4/0
1200	85.00	3/0	127	250

Ejemplo de selección de conductor de puesta a tierra a equipos.



2.1.2 CAÍDA DE TENSIÓN EN CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS.

Cuando se incrementa el tamaño de los conductores de fase, se incrementa el tamaño de los conductores de puesta a tierra de equipos, si hay instalados, proporcionalmente al área en mm² o kcmil de los conductores de fase.



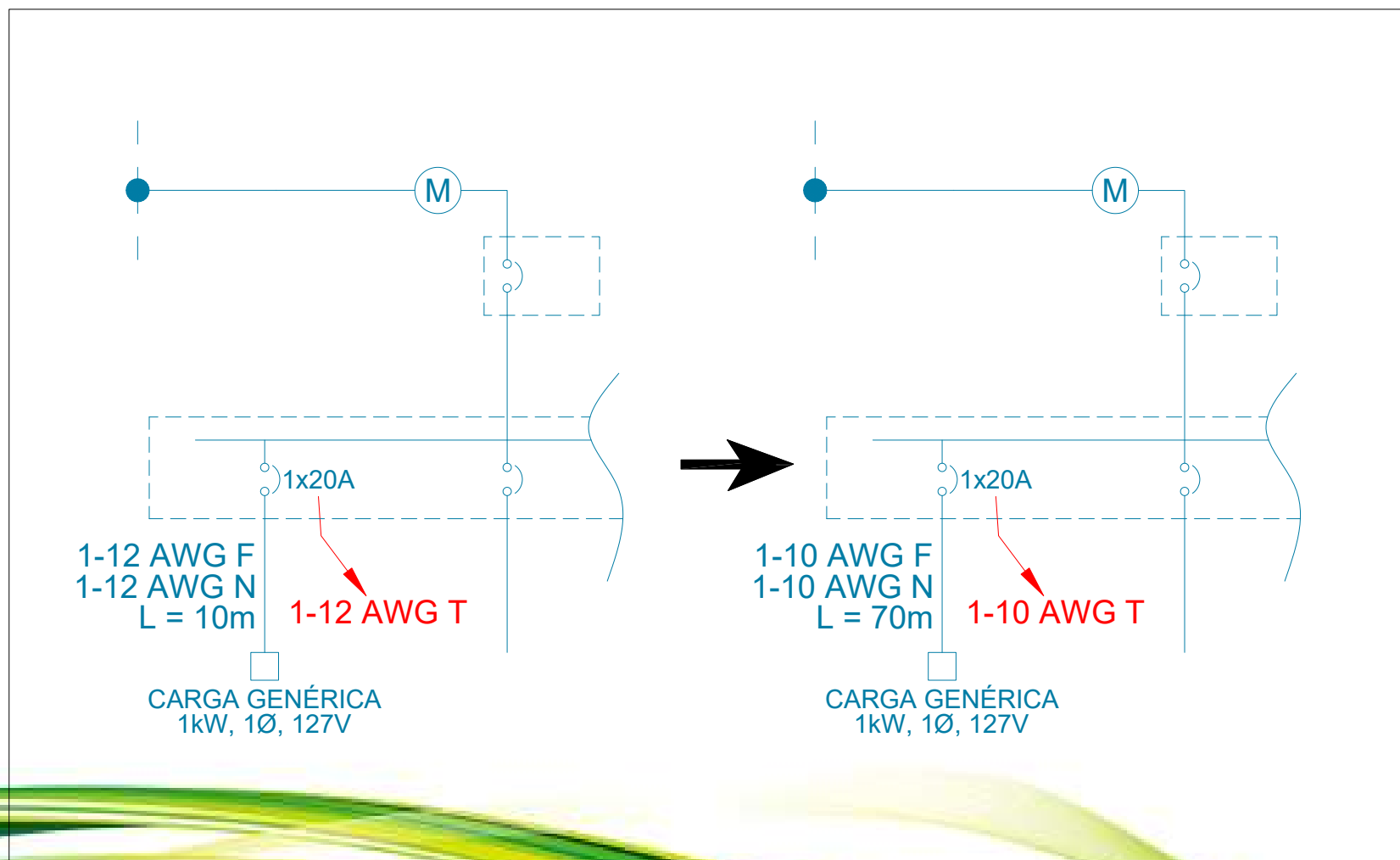
EJEMPLO DE SELECCIÓN DE CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA POR CAÍDA DE TENSIÓN:

Circuito derivado con un conductor de fase tamaño 12 AWG, una protección de 20A y un conductor de puesta a tierra.

Por efectos de caída de tensión y/o factores de corrección, el conductor de fase tiene que ser incrementado a 10 AWG.

INCREMENTO C. P. T.	
Tamaño mm2 FASE ORIGINAL	3.31
Tamaño mm2 DE FASE NUEVO	5.26
FACTOR DE INCREMENTO	1.59
Tamaño mm2 C.P.T. ORIGINAL	3.31
Tamaño mm2 NUEVO C.P.T.	5.26

EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA POR CAÍDA DE TENSION:



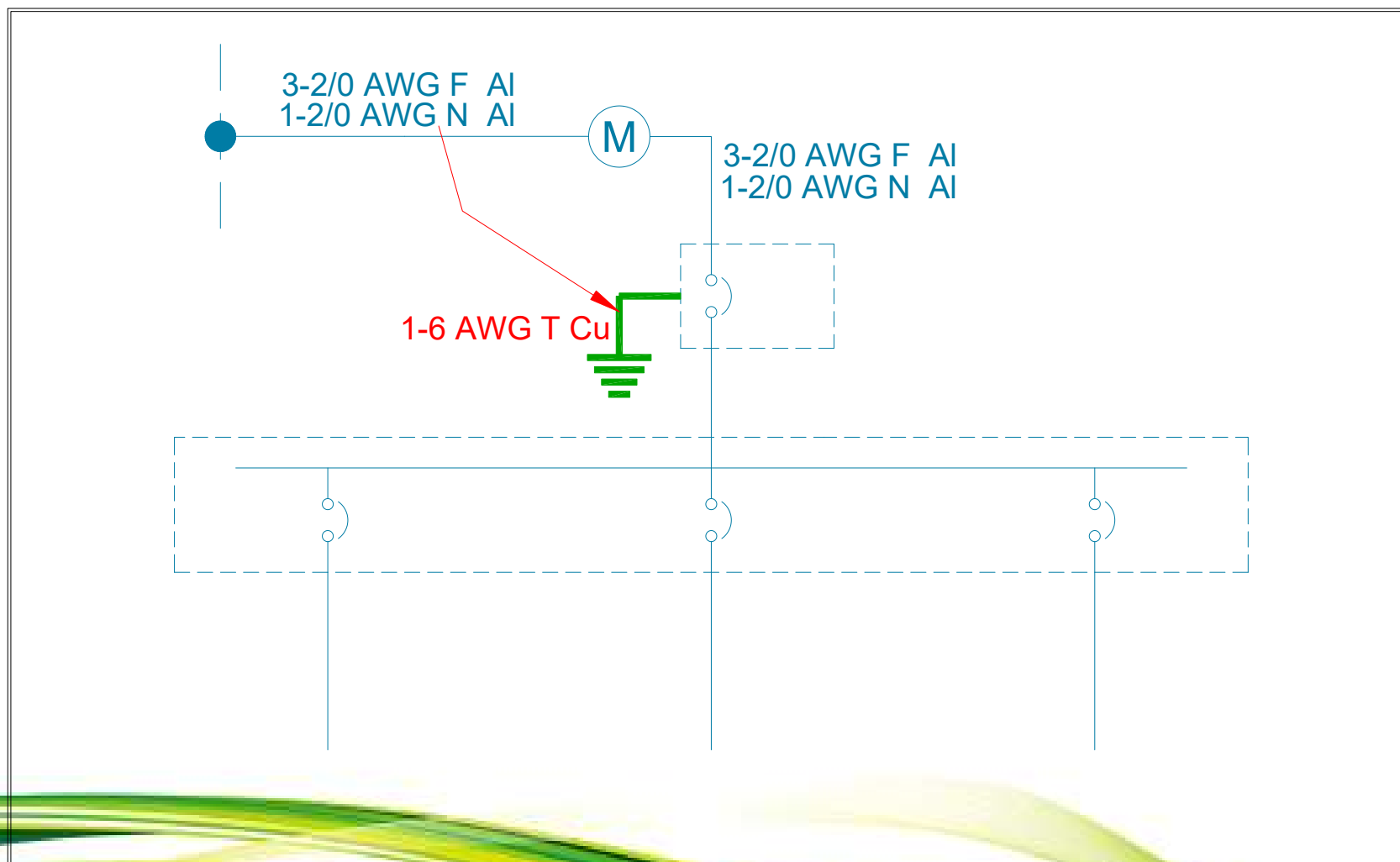
2.2 SELECCIÓN DE CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.

El tamaño del conductor del electrodo de puesta a tierra en la acometida, en cada edificio o estructura alimentada por un alimentador o circuito derivado o en un sistema derivado separado de un sistema de corriente alterna puesto a tierra o no puesto a tierra, no debe ser menor al dado en la Tabla 250-66.

Tabla 250-66.- Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Tamaño del mayor conductor de entrada a la acometida o área equivalente para conductores en paralelo ^a				Tamaño del conductor al electrodo de puesta a tierra			
Cobre		Aluminio		Cobre		Aluminio ^b	
mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
33.6 o menor	2 o menor	53.50 o menor	1/0 o menor	8.37	8	13.3	6
42.4 o 53.5	1 o 1/0	67.40 o 85.00	2/0 o 3/0	13.3	6	21.2	4
67.4 o 85.0	2/0 o 3/0	107 o 127	4/0 o 250	21.2	4	33.6	2
Más de 85.0 a 177	Más de 3/0 a 350	Más de 127 a 253	Más de 250 a 500	33.6	2	53.5	1/0
Más de 177 a 304.0	Más de 350 a 600	Más de 253 a 456	Más de 500 a 900	53.5	1/0	85.0	3/0
Más de 304 a 557.38	Más de 600 a 1100	Más de 456 a 887	Más de 900 a 1750	67.4	2/0	107	4/0
Más de 557.38	Más de 1100	Más de 887	Más de 1750	85.0	3/0	127	250

Ejemplo de selección de conductor del electrodo de puesta a tierra.



3 PUESTA A TIERRA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

3.1 PUESTA A TIERRA Y UNIÓN DE EQUIPO.

Las partes metálicas que normalmente no conducen corriente de los marcos de los módulos fotovoltaicos, el equipos eléctrico y los gabinetes deben estar puestos a tierra, independientemente del nivel de la tensión.

Se tiene que cumplir con lo siguiente:

- Los dispositivos y sistemas usados para montar módulos fotovoltaicos que también se usan para unir marcos de módulos deben estar listados, etiquetados e identificados para unir módulos fotovoltaicos.

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

Certificate Number _____
Report Reference _____
Issue Date _____

Issued to: _____

This is to certify that representative samples of MOUNTING SYSTEMS, MOUNTING DEVICES, CLAMPING DEVICES AND GROUND LUGS FOR USE WITH PHOTOVOLTAIC MODULES AND PANELS
Refer to addendum page for Models/Product.

Have been investigated by UL in accordance with the Standard(s) indicated on this Certificate.

Standard(s) for Safety: Mounting Systems, Mounting Devices, Clamping/Retention Devices, and Ground Lugs For Use With Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels, UL 2703

Additional Information: See the UL Online Certifications Directory at www.ul.com/database for additional information

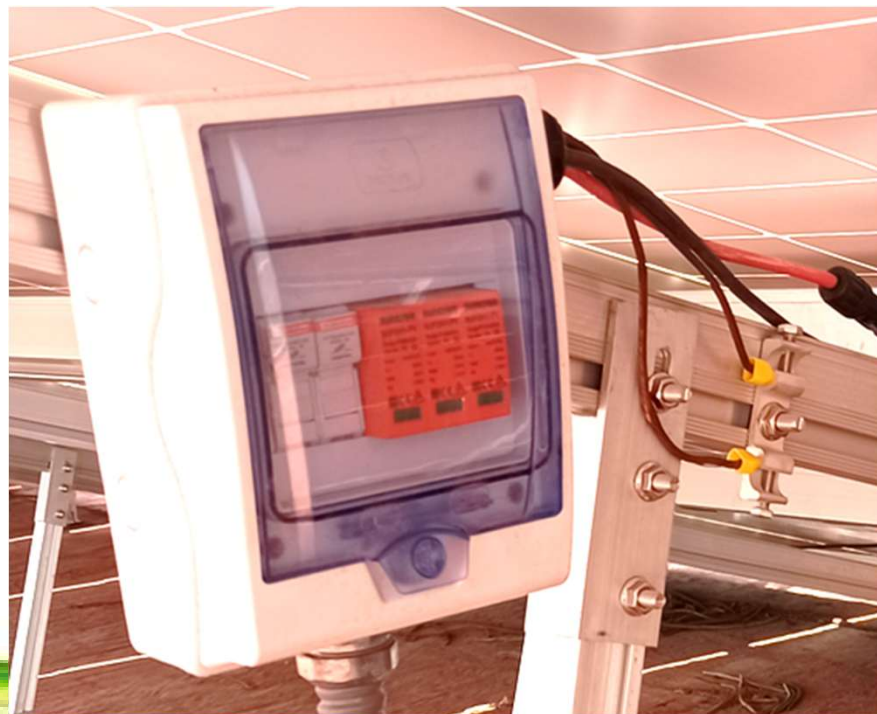
Only those products bearing the UL Certification Mark should be considered as being covered by UL's Certification and Follow-Up Service.

Look for the UL Certification Mark on the product.

- Se permitirá que los dispositivos listados, etiquetados e identificados para unir y poner a tierra las partes metálicas de los sistemas fotovoltaicos conecten el equipo a los soportes metálicos puestos a tierra. Las estructuras metálicas de soporte deben tener puentes de unión identificados conectados entre secciones metálicas separadas o deben estar identificadas para la unión del equipo y deben estar conectadas al conductor de puesta a tierra del equipo.



- Los conductores de puesta a tierra del equipo para el conjunto de elementos fotovoltaicos y la estructura de soporte (si está instalada) deben estar contenidos dentro de la misma canalización, cable o tendido de otro modo con los conductores del circuito del conjunto de elementos fotovoltaicos cuando esos conductores del circuito dejen las inmediaciones del conjunto de elementos fotovoltaicos.



3.2 TAMAÑO DE CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA.

- Los conductores de puesta a tierra del equipo para la fuente fotovoltaica y los circuitos de salida fotovoltaicos deben dimensionarse de acuerdo con 250-122.
- Cuando no se use un dispositivo de protección contra sobrecorriente en el circuito, al aplicar la Tabla 250-122, se debe usar un dispositivo contra sobrecorriente clasificado de acuerdo a como se seleccionó la protección.
- No se requerirán aumentos en el tamaño del conductor de puesta a tierra del equipo para abordar las consideraciones de caída de tensión.
- Un conductor de puesta a tierra de equipos no debe ser más pequeño de 14 AWG.

3.3 SISTEMA DE ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

- Un edificio o estructura que soporte un conjunto fotovoltaico deberá tener un sistema de electrodos de puesta a tierra.
- Los conductores de puesta a tierra del equipo del conjunto de elementos fotovoltaicos se deben conectar al sistema de electrodos de puesta a tierra del edificio o estructura que soporta el conjunto de elementos fotovoltaicos.

5. CONCLUSIONES

¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCION!

ING. MANUEL CHAVEZ CAMPOS

INSPECTOR UIIE-CRE-19

manuel.chavez@cive.com.mx

VERIFICADOR UVSEIE-534A

verificadorelectrico@hotmail.com

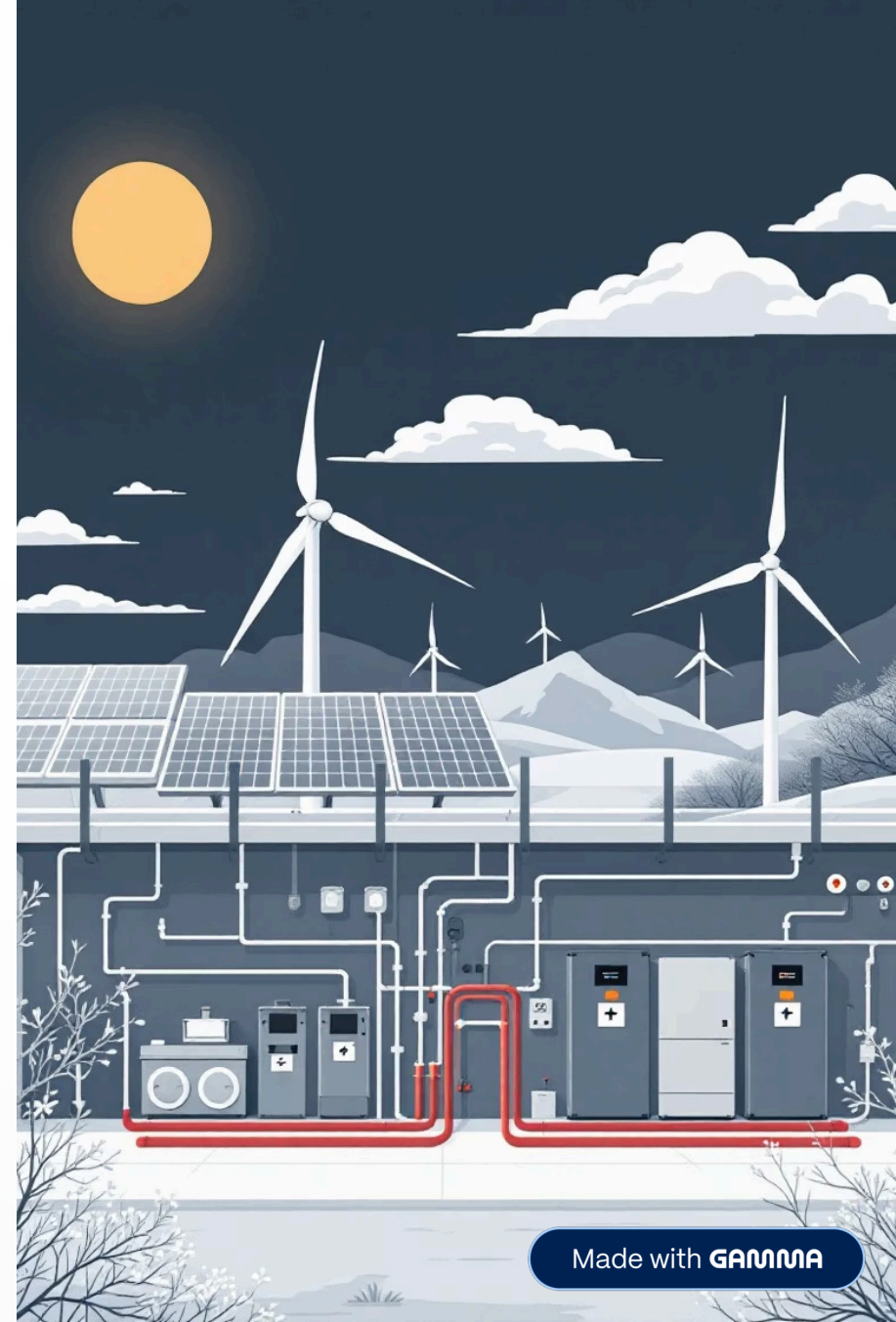
TELÉFONO 33-1130-8433

WWW.CPEF.ORG.MX

Disposiciones para la Integración de Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica

La Comisión Reguladora de Energía (CRE) ha emitido el Acuerdo Núm. A/113/2024 que establece las disposiciones administrativas para integrar Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica (SAE) al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Este documento define las modalidades y condiciones para que los instaladores puedan implementar sistemas de almacenamiento de manera ordenada y económicamente viable, mejorando la eficiencia, calidad y confiabilidad del sistema eléctrico.



Modalidades de Integración de SAE

1

SAE-CE

Sistema de Almacenamiento asociado a una Central Eléctrica intermitente, compartiendo el mismo Punto de Interconexión. Ayuda a contrarrestar la variabilidad de la generación.

2

SAE-CC

Sistema de Almacenamiento asociado a un Centro de Carga, sin incluir Central Eléctrica. Comparten el mismo Punto de Conexión sin inyectar energía al SEN.

3

SAE-AA

Sistema de Almacenamiento asociado a un esquema de Abasto Aislado para satisfacción de necesidades propias o para importación/exportación de energía.

4

SAE no Asociado

Sistema de Almacenamiento independiente que no está integrado a una Central Eléctrica o Centro de Carga, con su propio Punto de Interconexión.

Cada modalidad tiene requisitos específicos que los instaladores deben cumplir según el tipo de proyecto que implementen.

Requisitos para Instaladores de SAE-CE

Nuevas Centrales Eléctricas

- Solicitar Permiso de Generación ante la CRE para el conjunto SAE-CE
- Realizar Estudios de Interconexión con el CENACE
- Presentar Perfil de potencia horaria con el cual se planea operar
- La carga del SAE debe realizarse con recursos de la Central Eléctrica asociada

Centrales Existentes

- Solicitar Modificación del Permiso existente
- Se considera como Modificación Técnica
- Ingresar solicitud de Estudios ante el CENACE
- La energía del SAE debe estar disponible para compensar variabilidad

El CENACE podrá realizar un Análisis de Variabilidad y determinar la capacidad mínima del SAE necesaria para contrarrestar la intermitencia de la fuente primaria.



Requisitos para Instaladores de SAE-CC

Consideraciones Importantes

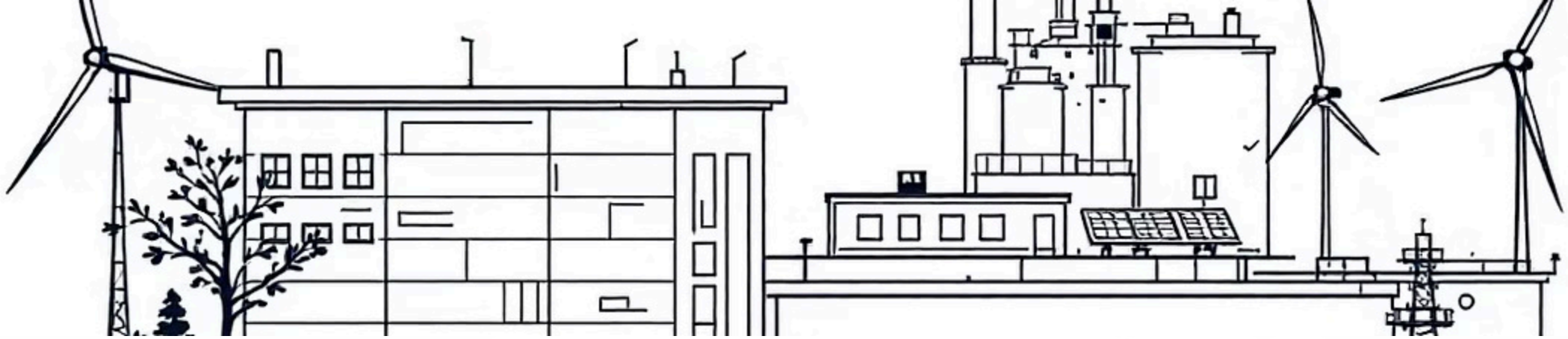
La Potencia SAE forma parte de la Demanda Contratada o Demanda Máxima del Centro de Carga. El retiro de energía no puede exceder la demanda contratada.

Requisitos de Aviso

Los Centros de Carga en Media o Alta Tensión deben dar aviso a la CRE dentro de los 90 días hábiles posteriores a la instalación, incluyendo datos técnicos del equipo, ubicación, diagrama unifilar y descripción del funcionamiento.

No Requiere Permiso

Esta modalidad no requiere obtención de Permiso de Generación ante la CRE, ya que no inyecta energía al SEN. La energía almacenada se usa solo para satisfacer la demanda del propio Centro de Carga.



Requisitos para Instaladores de SAE-AA

Nuevos Proyectos

- Solicitar Permiso de Generación especificando la infraestructura del SAE-AA
- Para importación/exportación, solicitar autorización correspondiente
- Cumplir con procesos de conexión e interconexión

Proyectos Existentes

- Solicitar Modificación del Permiso existente
- Especificar características del SAE-AA
- La energía almacenada debe sujetarse a lo establecido para Abasto Aislado

Los SAE-AA destinados a satisfacer la demanda de cargas propias están exentos del registro y representación por Participantes del Mercado.

Requisitos para Instaladores de SAE no Asociado

Obtener Permiso

Solicitar Permiso de Generación ante la CRE, indicando Potencia SAE, Capacidad SAE, Energía Disponible, rangos de operación y tecnología.

Instalar Sistemas de Medición

Instalar en el Punto de Interconexión los sistemas necesarios para liquidación de transacciones, así como infraestructura de comunicación y control.

Realizar Estudios

Cumplir con procesos de conexión e interconexión como cualquier Central Eléctrica. La demanda a considerar en Estudios de Conexión será igual a la Potencia SAE.

Registrarse en el MEM

Registrarse como Central Eléctrica firme y ser representado por un Participante del Mercado en modalidad de Generador.

Documentación Técnica Requerida

Información Técnica del SAE

- Tipo de tecnología de almacenamiento
- Capacidad SAE (kWh, MWh)
- Energía Disponible del SAE (kWh, MWh)
- Potencia SAE (W, kW, MW)
- Tiempo de respuesta
- Velocidad de carga y descarga

Documentación Adicional

- Profundidad de Descarga (DOD)
- Estado de Carga (SOC)
- Vida útil estimada
- Perfil de potencia del Ciclo de trabajo (mínimo un año)
- Estimación de la Degradación del SAE
- Diagrama unifilar de instalación



Normas Aplicables para Instaladores

Normas Mexicanas

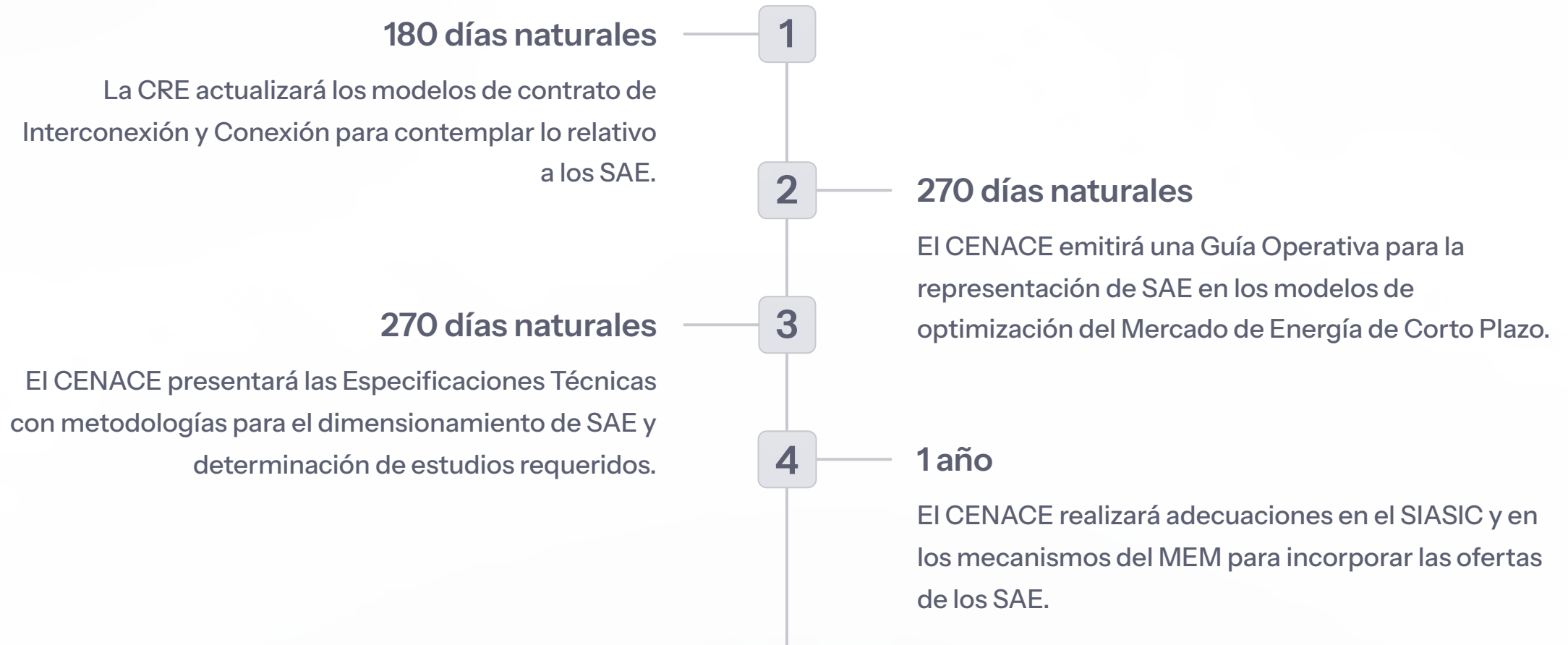
- NMX-J-838-1-ANCE-2021 Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica Parte 1: Vocabulario
- NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)
- Código de Red (Criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad)

Normas Internacionales

- IEC 62933 (diversas partes) sobre sistemas de almacenamiento de energía eléctrica
- IEEE Std 2800-2022 para interconexión de recursos basados en inversores
- Standard GC0137 "Minimum Specification Required for Provision of GB Grid Forming Capability"

Los instaladores deben asegurar que los sistemas cumplan con estas normas para garantizar la seguridad y correcta operación de los SAE.

Plazos Importantes para Implementación



Los SAE ya instalados o en operación comercial a la entrada en vigor de estas disposiciones podrán modificar su permiso o notificar a la CRE mediante escrito libre.

Consideraciones Finales para Instaladores

Certificados de Energías Limpias

Las Centrales Eléctricas Limpias que asocien un SAE no recibirán CEL adicionales por la energía almacenada. Los SAE no Asociados no tendrán derechos ni obligaciones en materia de CEL.

Acreditación de Potencia

Los SAE-CE y SAE no Asociados pueden acreditar potencia como Unidades de Central Eléctrica Firme si pueden operar a su capacidad máxima por al menos tres horas continuas.

Supervisión y Vigilancia

La CRE podrá requerir información a los sujetos regulados para fines de supervisión. Las infracciones serán sancionadas conforme a la LIE y su Reglamento.

Entrada en Vigor

Estas disposiciones entran en vigor al día hábil siguiente de su publicación en el DOF. En tanto se realizan las adecuaciones regulatorias, los SAE podrán ofertar sus productos bajo las condiciones actuales del CENACE.

Diseño de Baterías de Alto Voltaje en BESS

Consejo de profesionales en energía fotovoltaica

Índice de Contenidos

1 Introducción y Contexto

Importancia de los BESS en la transición energética
Aplicaciones principales
Conceptos fundamentales

3 Arquitectura Eléctrica HV

Componentes básicos
Sistemas de protección
Dimensionamiento y cálculos

5 BMS y Seguridad Funcional

Arquitecturas de BMS
Funciones principales
Seguridad funcional

2 Marco Normativo

Estándares internacionales (UL, IEC, NFPA)
Normativa mexicana
Certificaciones requeridas

4 Gestión Térmica

Métodos de enfriamiento
Thermal runaway y propagación
Modelos de degradación térmica

6 Diseño Mecánico y Validación

Estructuras y contenedores
Ensayos mecánicos
Protecciones pasivas

Introducción y Contexto

Los **Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS)** de alto voltaje (400-1500V) son infraestructuras clave en la transición energética global.

- ✓ **Definición:** Sistemas que almacenan energía eléctrica en baterías de ion-litio configuradas en serie para alcanzar altos voltajes, optimizando eficiencia y densidad energética.
- ✓ **Aplicaciones principales:** Integración de renovables, regulación de frecuencia, peak shaving, respaldo crítico y arbitraje energético.
- ✓ **Ventajas del alto voltaje:** Menor corriente para igual potencia, reducción de pérdidas en cables, compatibilidad con inversores comerciales y mayor eficiencia global del sistema.



Evolución Histórica de BESS

Los sistemas de almacenamiento de energía con baterías han evolucionado significativamente:

Primeros sistemas: Baterías de plomo-ácido para respaldo. Baja densidad energética.

1970s-80s

1990s

Avances: Introducción de baterías NiCd y NiMH. Mejoras en densidad energética.

Li-ion: Primeras implementaciones en BESS. Reducción de costos. Proyectos piloto.

2000s

2010-2020

Expansión: Despliegue masivo de BESS Li-ion. Químicas LFP y NMC. Primeros sistemas >400V.

Madurez: Sistemas HV de 1500V. Contenedores modulares. Proyectos de cientos de MWh.

Presente

Aplicaciones de BESS



Integración de renovables

Almacenamiento de energía solar/eólica para uso posterior. Suavizado de intermitencia y desplazamiento de generación.



Regulación de frecuencia

Respuesta rápida (milisegundos) para mantener la frecuencia de la red dentro de parámetros aceptables.



Peak shaving

Reducción de picos de demanda para evitar cargos por capacidad y optimizar infraestructura eléctrica.



Respaldo crítico

Suministro ininterrumpido para hospitales, centros de datos y otras instalaciones críticas. Transición instantánea ante cortes.



Arbitraje energético

Compra de energía a bajo costo (horas valle) y venta durante precios altos (horas pico) para obtener beneficio económico.



Microrredes

Estabilización de microrredes aisladas o conectadas a red principal. Permite operación en modo isla durante emergencias.

Ventajas del Alto Voltaje en BESS

Los sistemas BESS de alto voltaje (400-1500V) ofrecen ventajas significativas frente a sistemas de menor tensión:

$$P = V \times I$$

Para la misma potencia (P), un voltaje (V) más alto permite una corriente (I) más baja, lo que conlleva múltiples beneficios:

Menores pérdidas resistivas

Las pérdidas por efecto Joule se reducen significativamente al disminuir la corriente, mejorando la eficiencia global del sistema.

Reducción de sección de cables

Cables de menor calibre para la misma potencia, reduciendo costos de materiales y facilitando la instalación.

Voltaje estandar de la industria

Alineación con la tendencia de inversores fotovoltaicos de 1000-1500V, permitiendo integración con materiales (cable, protecciones, etc.) utilizados en la industria fotovoltaica.

Mayor densidad de potencia

Sistemas más compactos que requieren menos espacio para la misma capacidad de almacenamiento y potencia.

Reducción de costos

Menor costo total del sistema por kWh almacenado debido a la reducción en cableado, componentes de protección y pérdidas operativas.

Desafíos de seguridad

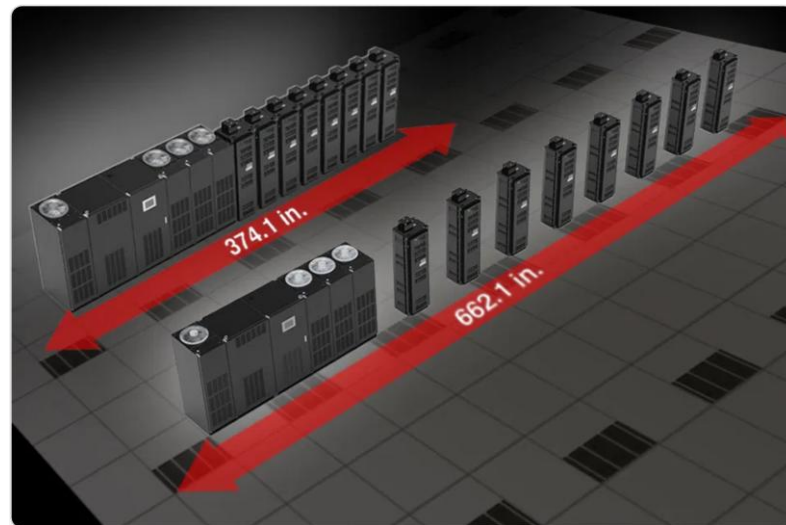
Requiere mayor atención al aislamiento, distancias de seguridad y protecciones específicas para alto voltaje.

Marco Normativo Internacional

El diseño de BESS de alto voltaje está regulado por estándares que garantizan seguridad:

Norma	Enfoque
🛡️ UL 9540	Seguridad del sistema completo BESS
🔥 UL 9540A	Evaluación de propagación de thermal runaway
🔋 UL 1973	Seguridad de baterías estacionarias
🌐 IEC 62619	Baterías de ion-litio industriales
🔌 IEC 62933	Sistemas conectados a red

Nota: El cumplimiento de estas normas es obligatorio para obtener autorizaciones legales.

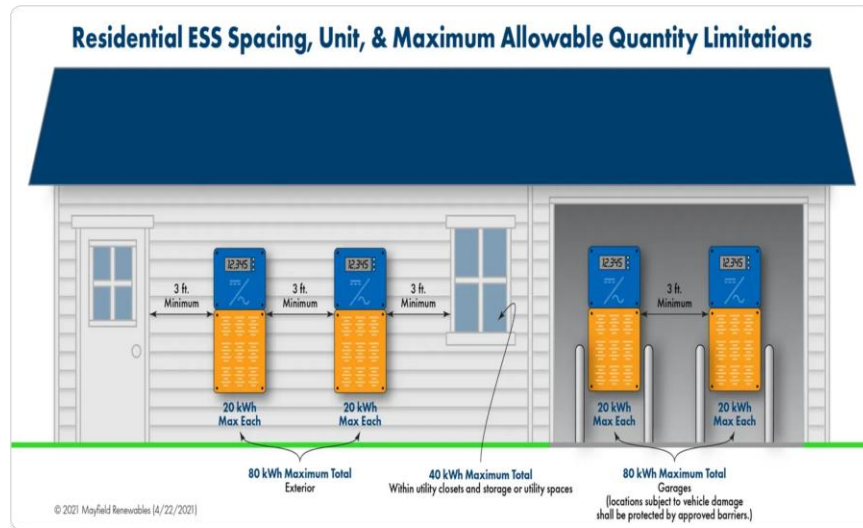


Proceso de certificación UL 9540 para sistemas BESS

Marco Normativo Mexicano

México está en proceso de desarrollar normativas específicas para BESS, mientras adapta estándares internacionales:

-  **NOM-001-SEDE:** Código eléctrico mexicano equivalente al NEC, que en su edición 2018 adaptó artículos del NEC 2014 y se espera que futuras revisiones incorporen secciones específicas para almacenamiento.
-  **CRE (2022-2024):** Disposiciones de Carácter General para integrar sistemas de almacenamiento al Sistema Eléctrico Nacional, clasificando modalidades de BESS y estableciendo requisitos para interconexión.
-  **Práctica actual:** Implementar BESS cumpliendo con UL 9540/9540A, NFPA 855 y NOM-001-SEDE, coordinando con la Unidad de Verificación (UVIE) y autoridades locales.



Códigos de incendio y NFPA 855 para sistemas de almacenamiento de energía

UL 9540: Estándar para Sistemas de Almacenamiento



UL 9540 es el estándar principal para la seguridad de sistemas completos de almacenamiento de energía, publicado inicialmente en 2016.

Alcance

Evalúa el BESS a nivel de sistema completo, incluyendo baterías, inversores, controles y sistemas auxiliares.

Requisitos principales

- Protecciones contra sobrecarga y cortocircuitos
- Control térmico y gestión de temperatura
- Sistemas de detección y alarma
- Aislamiento eléctrico y protección contra choque
- Marcado e instrucciones de seguridad

Certificación

Requiere que el sistema esté "listado" (certificado) por un laboratorio acreditado, demostrando cumplimiento con todos los requisitos de seguridad.

Relación con otras normas

UL 9540 integra referencias a normas críticas de componentes:

- UL 1973 para baterías
- UL 1741 para inversores
- UL 9540A para evaluación de propagación térmica

Pruebas principales

- Pruebas de funcionamiento normal y anormal
- Pruebas de temperatura en condiciones extremas
- Pruebas de sobrecarga y cortocircuito
- Evaluación de sistemas de control y protección
- Verificación de construcción y materiales

Nota importante: UL 9540 es un requisito para la comercialización de BESS en EE.UU. y Canadá, y se ha convertido en referencia global. La certificación es exigida por códigos locales para permitir la instalación.

UL 9540A: Método de Prueba para Thermal Runaway

UL 9540A es un método de prueba específico para evaluar la propagación de thermal runaway en sistemas BESS, publicado en 2018 como respuesta a incidentes de incendio.

1 Nivel de celda

Evaluación de una celda individual forzada a thermal runaway. Se miden temperaturas, gases liberados y comportamiento de la celda.

2 Nivel de módulo

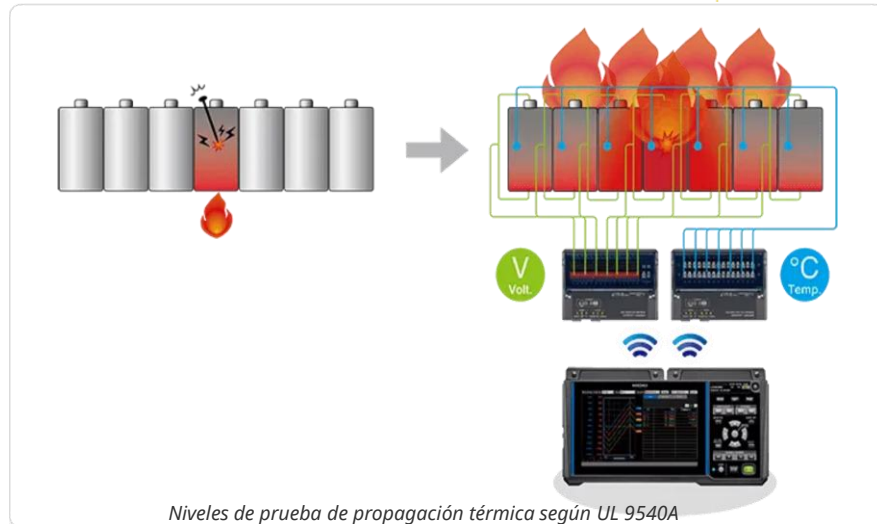
Se induce thermal runaway en una celda dentro del módulo para evaluar si se propaga a celdas adyacentes y el comportamiento del módulo completo.

3 Nivel de unidad (rack)

Se evalúa si el thermal runaway se propaga entre módulos dentro de un rack o gabinete, y si las protecciones del rack son efectivas.

4 Nivel de instalación

Evalúa si el fuego se propaga entre unidades/racks y la efectividad de los sistemas de supresión de incendios de la instalación.



Niveles de prueba de propagación térmica según UL 9540A

Resultados clave: Los informes de UL 9540A proporcionan datos críticos para:

- Determinar distancias de separación en códigos de incendio
- Diseñar sistemas de supresión de incendios
- Establecer requisitos de ventilación
- Definir estrategias de mitigación específicas

NFPA 855: Instalación de Sistemas de Almacenamiento

La NFPA 855 es el estándar para la instalación de sistemas de almacenamiento de energía, publicado en 2020 como respuesta a la proliferación de BESS y los incidentes de seguridad.

Distancias de separación

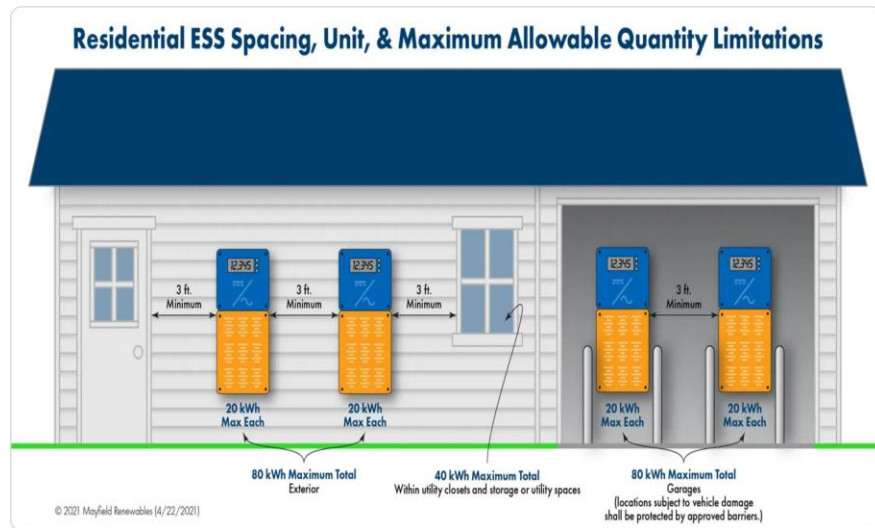
Establece distancias mínimas entre sistemas BESS y edificios, propiedades adyacentes y vías públicas. Pueden reducirse con protecciones adicionales.

Protección contra incendios

Requisitos para sistemas de supresión, detección y control de incendios específicos para BESS, incluyendo rociadores y sistemas de extinción especializados.

Ventilación

Sistemas de ventilación para evacuar gases tóxicos e inflamables durante eventos de thermal runaway, con requisitos específicos de diseño.



Requisitos de distancias de separación según NFPA 855

Limitaciones de tamaño: NFPA 855 establece:

Máximo 50 kWh por unidad de almacenamiento

Máximo 600 kWh por grupo de baterías

Separación mínima de 3 pies (0.9 m) entre grupos

Excepciones basadas en resultados de pruebas UL 9540A

IEC 62619: Seguridad de Baterías Industriales

IEC 62619 es el estándar internacional para requisitos de seguridad de baterías de ion-litio para aplicaciones industriales, incluyendo BESS.

Pruebas eléctricas

- Sobrecarga
- Sobredescarga
- Cortocircuito externo
- Protección contra sobrecorriente

Pruebas térmicas

- Estabilidad térmica
- Ciclos térmicos
- Propagación térmica
- Control de temperatura

Pruebas mecánicas

- Vibración
- Impacto y caída
- Deformación
- Integridad estructural



Comparación entre IEC 62619 y otros estándares de baterías:

Aspecto	IEC 62619	UL 1973
Enfoque	Industrial	Estacionario
Propagación térmica	Básico	Detallado
Pruebas de fuego	Limitadas	Extensivas
BMS	Requisitos funcionales	Requisitos de seguridad
Adopción	Global (Europa/Asia)	América del Norte

Requisitos clave del BMS según IEC 62619:

- Monitoreo de voltaje de cada celda
- Control de corriente de carga/descarga
- Control de temperatura
- Balanceo de celdas
- Comunicación con sistema de control
- Funciones de seguridad redundantes

IEC 62933: Sistemas de Almacenamiento Conectados a Red

IEC 62933 es una serie de estándares internacionales que cubren los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (EES) conectados a la red eléctrica.

1 IEC 62933-1: Terminología

Define términos y definiciones específicas para sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, estableciendo un vocabulario común para la industria.

2 IEC 62933-2-1: Parámetros y métodos de prueba

Especifica los parámetros de rendimiento y los métodos de prueba para caracterizar los sistemas EES, incluyendo eficiencia, capacidad y respuesta.

3 IEC 62933-3-1: Planificación e instalación

Proporciona directrices para la planificación e instalación de sistemas EES, incluyendo consideraciones de ubicación, infraestructura y conexión a red.

4 IEC 62933-4-1: Protección ambiental

Establece requisitos y pruebas para la protección ambiental de sistemas EES, incluyendo emisiones, ruido y gestión del ciclo de vida.

5 IEC 62933-5-1: Seguridad

Define requisitos de seguridad para sistemas EES, incluyendo protecciones eléctricas, térmicas y mecánicas, así como procedimientos de emergencia.

6 IEC 62933-5-2: Análisis de riesgos

Proporciona metodologías para el análisis de riesgos y la evaluación de seguridad de sistemas EES, incluyendo identificación de peligros y mitigación.

Aplicabilidad: IEC 62933 es tecnológicamente neutral y aplica a todos los tipos de sistemas de almacenamiento conectados a red, no solo baterías. Para BESS de alto voltaje, debe complementarse con estándares específicos de baterías como IEC 62619.

Códigos de Incendio para BESS

Los códigos de incendio son críticos para la instalación segura de sistemas BESS, especialmente en entornos urbanos o cercanos a edificaciones.

IFC (International Fire Code)

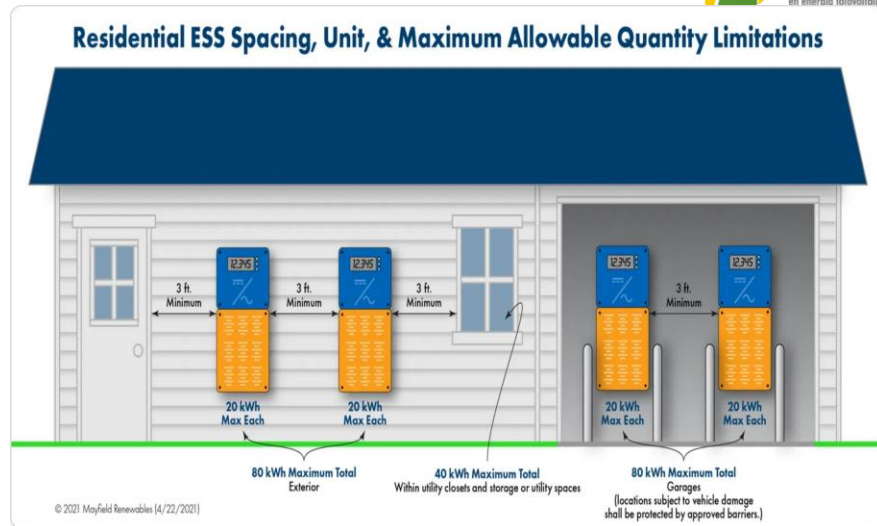
Incluye requisitos específicos para BESS en la sección 1206, cubriendo ubicación, separación, ventilación y sistemas de supresión de incendios.

NFPA 1 (Fire Code)

Complementa a NFPA 855 con requisitos generales de seguridad contra incendios aplicables a instalaciones con sistemas de almacenamiento de energía.

NFPA 13 (Rociadores)

Establece requisitos para sistemas de rociadores en instalaciones con BESS, incluyendo densidad de descarga y cobertura específica.



Requisitos de distancias de separación para sistemas BESS

Requisitos clave de protección contra incendios:

- Sistemas de detección de humo y calor
- Sistemas de rociadores automáticos
- Sistemas de extinción de agente limpio
- Ventilación de emergencia
- Acceso para bomberos
- Señalización y procedimientos de emergencia

Proceso de Certificación de BESS

El proceso de certificación de un sistema BESS de alto voltaje involucra múltiples etapas y laboratorios acreditados:

1 Evaluación de componentes

Certificación individual de baterías (UL 1973/IEC 62619), inversores (UL 1741), BMS y otros componentes críticos.

2 Pruebas de propagación térmica

Realización de pruebas UL 9540A en los cuatro niveles (celda, módulo, unidad e instalación) para evaluar riesgos de propagación.

3 Certificación del sistema

Evaluación del sistema completo según UL 9540/IEC 62933, incluyendo integración de componentes, controles y protecciones.

4 Inspección de instalación

Verificación de cumplimiento con códigos locales, NFPA 855 y requisitos específicos del sitio por autoridades competentes.



Principales laboratorios de certificación para BESS:

UL

Underwriters Laboratories - Principal certificador en Norteamérica, desarrollador de los estándares UL 9540/9540A.

TÜV

TÜV Rheinland/TÜV SÜD - Certificadores europeos con reconocimiento global, especializados en IEC.

CSA

Canadian Standards Association - Certificador norteamericano con enfoque en requisitos canadienses.

DNV GL

Especializado en sistemas de energía renovable y almacenamiento, con enfoque en confiabilidad y rendimiento.

NRTL

Nationally Recognized Testing Laboratories - Laboratorios reconocidos por OSHA para certificación de seguridad.

Arquitectura Eléctrica HV: Componentes Básicos

Un BESS de alto voltaje se compone jerárquicamente de:

Celdas → Módulos → Strings → Racks → Sistema

Celdas

Unidad básica electroquímica (3.2-3.7V). Múltiples celdas en serie/paralelo forman un módulo.

Módulos

Conjunto de celdas con voltajes de 20-150V. Incluyen sensores de temperatura y conexiones.

Strings

Cadenas de módulos en serie que alcanzan 400-1500V DC. Un string típico puede tener 100-300 celdas en serie.

Racks/Packs

Gabinets que contienen strings con sus protecciones, BMS local y sistemas de refrigeración.



Rack de baterías de ion-litio de alto voltaje (384V)

Arquitectura Eléctrica HV: Protecciones

Los sistemas BESS de alto voltaje incorporan múltiples capas de protección:

Contactores de potencia

Interruptores controlados por la BMS que conectan o aíslan la batería del sistema. Actúan como desconectores que abren el circuito en eventos de fallo.

Circuitos de pre-carga

Limitan la corriente inicial al conectar la batería, evitando picos de corriente que podrían dañar contactores o provocar arcos eléctricos.

Fusibles HV

Instalados en serie con cada string para desconectar la batería ante cortocircuitos catastróficos que los contactores no alcancen a abrir.

HVIL (High Voltage Interlock Loop)

Circuito de seguridad que detecta accesos o desconexiones peligrosas, desactivando el sistema si se interrumpe el bucle.



Sistema de almacenamiento de alto voltaje con protecciones integradas

Topologías de Conexión en BESS

Las topologías de conexión determinan cómo se organizan las celdas y módulos para lograr el voltaje y capacidad requeridos:

— Conexión en serie

Las celdas se conectan polo positivo con negativo, sumando voltajes para alcanzar el voltaje nominal del sistema (400-1500V).

Ventajas

- Alcanza alto voltaje
- Menor corriente total

Desventajas

- Fallo de una celda afecta todo el string
- Requiere balanceo

= Conexión en paralelo

Las celdas se conectan positivo con positivo y negativo con negativo, sumando capacidades para aumentar la corriente disponible.

Ventajas

- Mayor capacidad
- Redundancia

Desventajas

- No aumenta voltaje
- Riesgo de corrientes circulantes



Conexión serie-paralelo

Combinación de strings en serie para alcanzar el voltaje deseado, conectados en paralelo para aumentar capacidad y redundancia.

Ventajas

- Flexibilidad de diseño
- Balance entre V e I

Desventajas

- Mayor complejidad
- Requiere protecciones adicionales



Topología matricial

Organización en matriz con interruptores que permiten reconfigurar dinámicamente la conexión de módulos, aislando fallos o balanceando cargas.

Ventajas

- Alta tolerancia a fallos
- Optimización dinámica

Desventajas

- Complejidad extrema
- Mayor costo

Consideración clave: En sistemas de alto voltaje (>1000V), se requieren dispositivos de protección adicionales como fusibles en cada string y monitoreo individual para detectar fallos tempranamente.

Componentes de Potencia en BESS

Los sistemas BESS de alto voltaje requieren componentes de potencia especializados para manejar altos voltajes y corrientes:

Contactores de potencia

Dispositivos electromecánicos de alta capacidad (400-1500V, 100-500A) que conectan/desconectan la batería del sistema. Incluyen contactos principales y auxiliares para monitoreo.

Fusibles HV

Dispositivos de protección contra sobrecorriente diseñados específicamente para DC de alto voltaje, con capacidades de interrupción de 10-100kA y clasificaciones de 1000-1500V.

Circuitos de pre-carga

Sistemas que limitan la corriente inicial al conectar la batería, utilizando resistencias en serie y contactores secundarios para evitar picos de corriente.

Sensores de corriente

Dispositivos de medición de alta precisión basados en efecto Hall o shunts, con aislamiento para alto voltaje y capacidad de medición bidireccional.

Conectores HV

Conectores especializados con protección contra arco eléctrico, codificación de colores (naranja para HV), y diseño a prueba de contacto accidental.

Barras colectoras (busbars)

Conductores de cobre o aluminio de alta capacidad que distribuyen la corriente entre módulos y al sistema de conversión, con aislamiento reforzado.

Consideraciones de diseño: Todos los componentes de potencia en sistemas de alto voltaje deben:

- Tener certificación para el voltaje nominal del sistema
- Incluir monitoreo de estado (contactos auxiliares)
- Contar con protección contra sobrecalentamiento
- Tener coordinación con el sistema BMS

Sistema de Conversión de Potencia (PCS)

El Sistema de Conversión de Potencia (PCS) es la interfaz entre las baterías DC y la red AC, gestionando el flujo bidireccional de energía:

Componentes principales

Inversor bidireccional:

Convierte DC a AC (descarga) y AC a DC (carga)

Convertidor DC-DC:

Adapta el voltaje variable de la batería a un nivel DC estable

Filtros:

Reducen armónicos y mejoran la calidad de energía

Transformador:

Aísla galvánicamente y adapta niveles de voltaje

Protecciones:

Interruptores, fusibles y dispositivos de protección

Tecnologías de semiconductores

IGBT:

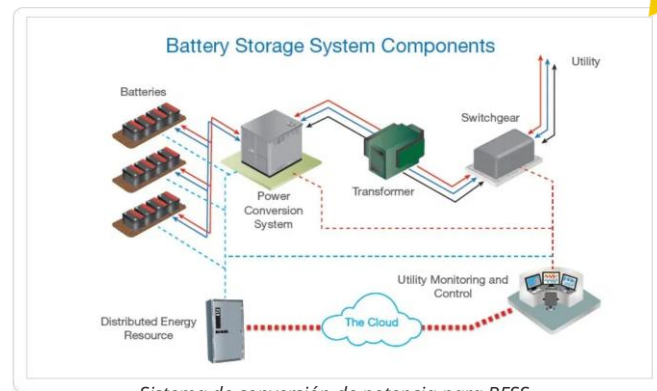
Transistores bipolares de puerta aislada, tecnología madura

SiC MOSFET:

Carburo de silicio, mayor eficiencia y frecuencia

GaN:

Nitruro de galio, emergente para aplicaciones de alta frecuencia



Funcionalidades avanzadas

Regulación de frecuencia

Control de voltaje

Soporte de potencia reactiva

Black start

Formación de red

Anti-islanding

Limitación de rampa

Ride-through de fallas

Consideración clave: Los PCS para sistemas de alto voltaje (1000-1500V) ofrecen mayor eficiencia (>98%) y menor costo por MW, pero requieren componentes especializados con aislamiento reforzado y mayor distancia de separación.

Aislamiento y Seguridad de Alto Voltaje



Los sistemas BESS de alto voltaje (400-1500V) requieren medidas especiales de aislamiento y seguridad para prevenir riesgos eléctricos:

Aislamiento reforzado

Doble capa de aislamiento en componentes críticos, con materiales de alta rigidez dieléctrica y resistencia a la temperatura.

HVIL (High Voltage Interlock Loop)

Circuito de seguridad que detecta aperturas de gabinetes o desconexiones, desactivando el sistema automáticamente si se interrumpe.

Monitoreo de aislamiento (IMD)

Dispositivos que miden continuamente la resistencia de aislamiento entre conductores activos y tierra, detectando fallas incipientes.

Protección contra sobretensiones

Dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) para mitigar picos de voltaje por rayos o conmutaciones.

Requisitos de aislamiento según nivel de voltaje:

Nivel de voltaje	Distancia de aislamiento	Rigidez dieléctrica
400-600V	5-8 mm	2.5 kV
600-1000V	8-14 mm	4 kV
1000-1500V	14-18 mm	6 kV

Codificación de color para alto voltaje:

- Cables y conectores de alto voltaje: **Naranja**
- Etiquetas de advertencia: **Amarillo/Negro**
- Gabinetes con componentes HV: **Señalización específica**

Consideraciones de diseño:

- Segregación física de circuitos HV y LV
- Rutas de cables separadas y protegidas
- Puntos de conexión a tierra claramente identificados
- Procedimientos de bloqueo/etiquetado (LOTO)
- Equipos de protección personal específicos

Sistemas de Distribución Eléctrica en BESS

Los sistemas BESS a gran escala requieren una infraestructura de distribución eléctrica robusta:

Distribución DC

Sistema que conecta los racks de baterías con los inversores:

- Barras colectoras (busbars) de cobre o aluminio
- Cajas de conexión DC con fusibles
- Cables DC de alto voltaje con aislamiento reforzado

Distribución AC

Red que conecta los inversores con el punto de interconexión:

- Transformadores de potencia
- Celdas de media tensión
- Interruptores y protecciones

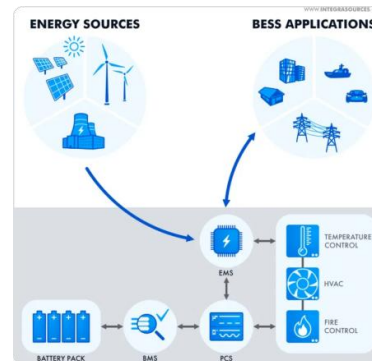


Diagrama de sistema de distribución eléctrica en BESS

Sistemas auxiliares

Servicios esenciales para la operación del BESS:

- Alimentación de respaldo (UPS)
- Distribución de baja tensión para HVAC
- Sistemas de emergencia

Consideraciones para alto voltaje (1000-1500V):

- Mayor distancia de separación entre conductores
- Equipos con clasificación específica para el nivel de voltaje
- Protecciones contra sobretensiones reforzadas

Sistemas de Puesta a Tierra en BESS

Los sistemas de puesta a tierra son críticos para la seguridad y operación confiable de BESS de alto voltaje:



Tierra de seguridad

Conecta todas las partes metálicas no conductoras (gabinetes, estructuras) a tierra para prevenir voltajes peligrosos en caso de fallas.



Tierra de protección

Sistema dedicado para protección contra sobretensiones y descargas atmosféricas, con conductores de baja impedancia.



Tierra de instrumentación

Referencia para sistemas de control y medición, aislada de la tierra de potencia para evitar interferencias.

La configuración IT (aislada) es preferida en BESS porque permite la continuidad de operación ante la primera falla a tierra, dando tiempo para mantenimiento programado.

Configuración	Descripción	Aplicación
IT (Aislada)	Sin conexión directa entre circuitos activos y tierra	Común en BESS
TN-S	Neutro y tierra separados en todo el sistema	Conexión a red
TN-C	Neutro y tierra combinados	Poco común en BESS
TT	Neutro a tierra en fuente, masas a tierra local	Instalaciones rurales

Consideraciones para alto voltaje (1000-1500V):

- Mayor resistencia de aislamiento requerida
- Monitoreo continuo de aislamiento (IMD)
- Electrodos de tierra de baja impedancia
- Mallas de tierra más extensas

Cableado y Conexiones para BESS de Alto Voltaje



El cableado en sistemas BESS de alto voltaje requiere consideraciones especiales de seguridad y rendimiento:

Cables DC de alto voltaje

Cables especializados con clasificación de 1000-1500V DC, doble aislamiento y resistencia a altas temperaturas. Típicamente con codificación de color naranja.

Cables apantallados

Utilizados para señales de control y comunicación, con blindaje para evitar interferencias electromagnéticas de los cables de potencia.

Cables resistentes al fuego

Cables con clasificación LSZH (Low Smoke Zero Halogen) y resistencia al fuego para rutas críticas y sistemas de seguridad.

Buenas prácticas para alto voltaje:

- Separación física entre cables DC y AC
- Rutas de cables dedicadas y etiquetadas
- Uso de bandejas metálicas con puesta a tierra
- Inspección termográfica periódica de conexiones
- Documentación detallada de todas las conexiones

Tipo de conexión	Aplicación	Consideraciones
Terminales de compresión	Conexiones principales DC	Requieren herramientas calibradas
Barras colectoras	Distribución de alta corriente	Aislamiento y separación adecuados
Conectores rápidos	Interconexión de módulos	Certificados para alto voltaje
Conectores de señal	Comunicaciones y control	Blindados y separados de potencia

Gestión Térmica: Métodos de Enfriamiento

La gestión térmica en BESS es crítica para garantizar rendimiento, vida útil y seguridad. Las baterías de iones de litio operan óptimamente entre 20-30°C.

Enfriamiento por aire

Usa aire ambiente impulsado por ventiladores a través de los módulos o racks de baterías.

Ventajas

- Simplicidad
- Menor costo inicial
- Fácil mantenimiento

Limitaciones

- Baja capacidad térmica
- Dependencia de T° ambiente

Enfriamiento líquido

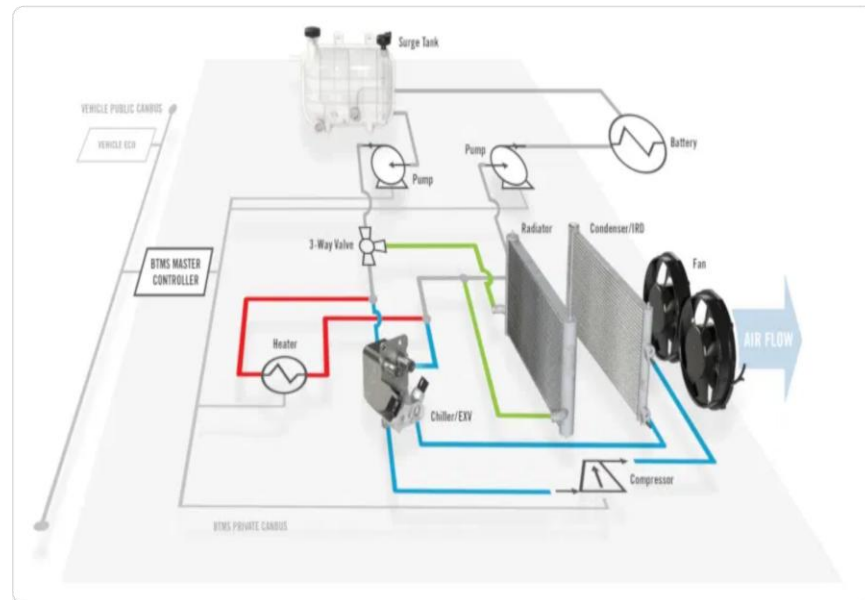
Emplea fluidos (agua-glicol) circulando por intercambiadores o placas frías adosadas a las celdas.

Ventajas

- Alta eficiencia térmica
- Control preciso de temperatura
- Diseños más compactos

Limitaciones

- Mayor complejidad
- Costo inicial más alto



Sistema de gestión térmica para baterías con enfriamiento líquido

Sistemas de Enfriamiento por Aire

Los sistemas de enfriamiento por aire son la solución más común en BESS debido a su simplicidad y costo-efectividad:



Convección natural

Utiliza el flujo natural del aire caliente que sube y es reemplazado por aire frío. Aplicable solo en sistemas de baja potencia o climas muy favorables.



Convección forzada

Emplea ventiladores para impulsar el aire a través de los módulos de baterías. Es la solución más común en BESS comerciales.



Aire acondicionado

Sistemas HVAC completos que controlan tanto temperatura como humedad. Necesarios en climas extremos o aplicaciones críticas.

Para sistemas de alto voltaje, el enfriamiento por aire requiere especial atención a las distancias de aislamiento y la prevención de condensación que podría comprometer la seguridad eléctrica.



Sistema de enfriamiento por aire para BESS con ventiladores redundantes

Consideraciones de diseño:

- Distribución uniforme del flujo de aire entre módulos
- Redundancia en ventiladores ($N+1$ o $2N$)
- Filtración de aire para entornos con polvo
- Monitoreo de temperatura en múltiples puntos
- Control de velocidad variable para eficiencia energética

Sistemas de Enfriamiento Líquido

Los sistemas de enfriamiento líquido ofrecen mayor eficiencia térmica y control de temperatura más preciso para BESS de alto rendimiento:



Placas frías

Placas metálicas con canales internos por donde circula el refrigerante, en contacto directo con los módulos de baterías para máxima transferencia térmica.



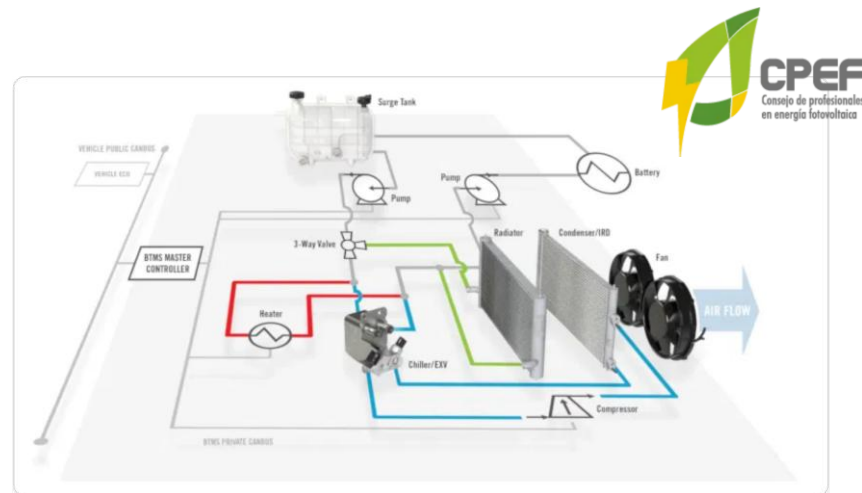
Intercambiadores de calor

Sistemas que transfieren el calor del circuito primario (baterías) a un circuito secundario que lo disipa al exterior mediante radiadores.



Refrigerantes

Mezclas de agua-glicol (más comunes), aceites dieléctricos o refrigerantes especiales con propiedades no conductivas para aplicaciones de alto voltaje.



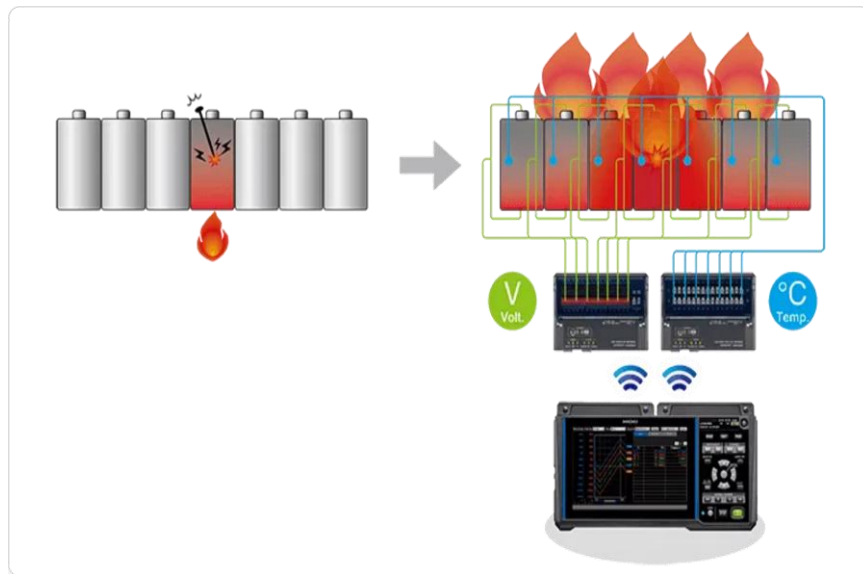
Sistema de enfriamiento líquido con placas frías para baterías de alto voltaje

Característica	Enfriamiento por aire	Enfriamiento líquido
Eficiencia térmica	Moderada	Alta
Uniformidad térmica	Variable	Excelente
Complejidad	Baja	Alta
Costo	Bajo-Medio	Alto
Mantenimiento	Simple	Complejo

Thermal Runaway y su Propagación

Thermal runaway es una reacción en cadena descontrolada donde una celda de batería entra en un ciclo de autocalentamiento que puede llevar a incendio o explosión.

- 1 Inicio:** Causado por defectos internos, sobrecarga, cortocircuito, daño mecánico o sobrecalentamiento externo.
- 2 Reacción:** El electrolito se descompone, generando gases inflamables y aumentando la presión interna.
- 3 Propagación:** El calor liberado ($>600^{\circ}\text{C}$) puede transferirse a celdas adyacentes, iniciando nuevos eventos de thermal runaway.
- 4 Mitigación:** Barreras térmicas entre módulos, materiales ignífugos, distanciamiento físico y sistemas de supresión.



Niveles de prueba de propagación térmica según UL 9540A

Evaluación de propagación

UL 9540A establece un protocolo de prueba para evaluar la propagación de thermal runaway en cuatro niveles: celda, módulo, unidad (rack) e instalación completa.

Monitoreo y Control Térmico

El monitoreo y control térmico es esencial para garantizar la seguridad y rendimiento óptimo de los sistemas BESS de alto voltaje:

Sensores de temperatura

Termistores NTC/PTC, RTDs o termopares distribuidos estratégicamente para monitorear la temperatura de celdas individuales, módulos y componentes críticos.

Cámaras termográficas

Sistemas de monitoreo por infrarrojos que detectan puntos calientes y distribución térmica anormal, permitiendo identificar problemas antes de que sean críticos.

Algoritmos de control

Software especializado que ajusta dinámicamente los sistemas de enfriamiento según la carga, temperatura ambiente y estado de las baterías.

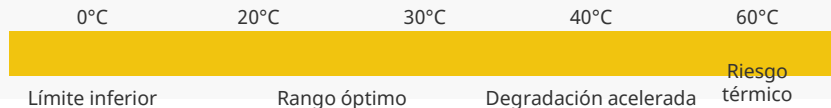
Estrategias de control

Control PID, predictivo o adaptativo para mantener temperaturas óptimas con mínimo consumo energético. Incluye modos de operación normal, alta potencia y emergencia.

Sistemas de alarma

Alertas tempranas para desviaciones de temperatura, gradientes térmicos anormales o fallos en el sistema de enfriamiento, con múltiples niveles de severidad.

Rangos de temperatura para baterías de ion-litio:



Nota: Para sistemas de alto voltaje, el monitoreo térmico debe integrarse con el sistema BMS y tener redundancia para garantizar la detección temprana de anomalías que podrían comprometer la seguridad eléctrica.

Diseño Térmico para Sistemas de Alto Voltaje



Los sistemas BESS de alto voltaje (400-1500V) presentan desafíos térmicos específicos que requieren consideraciones especiales de diseño:

Aislamiento térmico-eléctrico

Materiales que combinan alta conductividad térmica con excelente aislamiento eléctrico, como alúmina, nitruro de boro o compuestos cerámicos especiales.

Control de humedad

Sistemas de deshumidificación y prevención de condensación para evitar arcos eléctricos o corrientes de fuga en componentes de alto voltaje.

Distribución térmica

Diseño que garantiza uniformidad térmica entre celdas conectadas en serie para evitar desequilibrios de voltaje que podrían comprometer la seguridad.

Desafíos específicos de alto voltaje

Mayor densidad de energía = mayor concentración de calor

Restricciones en materiales conductores para refrigeración

Distancias de aislamiento que limitan la transferencia térmica

Compatibilidad electromagnética con sensores térmicos

Soluciones de diseño

Refrigerantes dieléctricos con alta rigidez dieléctrica

Interfaces térmicas eléctricamente aislantes

Sensores de temperatura con aislamiento reforzado

Redundancia en sistemas de monitoreo térmico

Simulación CFD (Computational Fluid Dynamics) para optimización

Consideración clave: El diseño térmico para sistemas de alto voltaje debe equilibrar la eficiencia de enfriamiento con los requisitos de seguridad eléctrica, priorizando siempre la integridad del aislamiento.

Materiales de Interfaz Térmica (TIM)

Los materiales de interfaz térmica son críticos para la transferencia eficiente de calor entre las celdas de batería y los sistemas de enfriamiento:

Pastas térmicas

Compuestos viscosos con alta conductividad térmica que rellenan los espacios microscópicos entre superficies. Ideales para contactos irregulares pero requieren aplicación precisa.

Almohadillas térmicas

Materiales flexibles preformados que se comprimen entre superficies. Ofrecen buena conductividad térmica y aislamiento eléctrico, ideales para sistemas de alto voltaje.

Adhesivos térmicos

Combinan propiedades adhesivas con conductividad térmica. Proporcionan fijación mecánica además de transferencia de calor, simplificando el ensamblaje.

Consideraciones para alto voltaje (1000-1500V):

- Priorizar materiales con alta rigidez dieléctrica (>10 kV/mm)
- Verificar compatibilidad con temperaturas de operación extendidas
- Considerar degradación a largo plazo del aislamiento eléctrico
- Evaluar resistencia a ciclos térmicos sin comprometer propiedades

Material	Conductividad térmica	Resistencia eléctrica	Aplicación en HV
Pasta de silicona	3-5 W/mK	Media-Alta	Con precaución
Almohadilla cerámica	2-6 W/mK	Muy alta	Recomendada
Grafito flexible	5-10 W/mK	Baja	No recomendada
Compuesto de BN	8-15 W/mK	Muy alta	Óptima
Fase cambio (PCM)	1-3 W/mK	Media	Limitada

Simulación y Modelado Térmico

La simulación y modelado térmico son herramientas esenciales para el diseño óptimo de sistemas de gestión térmica en BESS de alto voltaje:



CFD (Dinámica de Fluidos Computacional)

Simulación del comportamiento de fluidos (aire, líquidos refrigerantes) para optimizar el diseño de sistemas de enfriamiento y predecir puntos calientes.



FEA (Análisis de Elementos Finitos)

Modelado de la conducción térmica a través de materiales sólidos para evaluar la distribución de temperatura en componentes críticos.

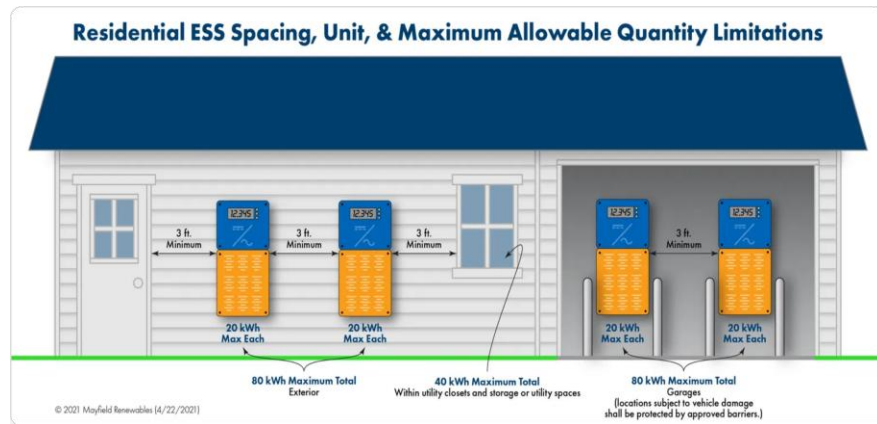


Modelos electro-térmicos

Simulaciones que integran comportamiento eléctrico y térmico para predecir la generación de calor bajo diferentes perfiles de carga y descarga.

Beneficios del modelado térmico:

- Reducción de tiempo y costo de desarrollo
- Optimización de diseño antes de la fabricación
- Evaluación de escenarios de fallo y condiciones extremas
- Validación de estrategias de control térmico



Simulación CFD de distribución térmica en un sistema BESS

Proceso de diseño basado en simulación

- 1 Modelado 3D
- 2 Simulación
- 3 Análisis
- 4 Optimización
- 5 Validación

Pruebas y Validación Térmica

La validación experimental del diseño térmico es crucial para garantizar el rendimiento y la seguridad de los sistemas BESS de alto voltaje:

Pruebas de perfil térmico

Mapeo detallado de la distribución de temperatura en el sistema bajo diferentes condiciones de operación, utilizando múltiples sensores y cámaras termográficas.

Pruebas de ciclo térmico

Exposición del sistema a ciclos repetidos de temperatura extrema para evaluar la durabilidad de los componentes y la integridad del sistema de enfriamiento.

Pruebas de estrés térmico

Operación del sistema bajo condiciones extremas (alta potencia, alta temperatura ambiente) para verificar los límites de seguridad y la efectividad de los sistemas de protección.

Tipo de prueba	Parámetros	Criterios de aceptación
Uniformidad térmica	ΔT entre celdas	$< 5^{\circ}\text{C}$ en operación normal
Capacidad de enfriamiento	Tmax bajo carga máxima	$< 45^{\circ}\text{C}$ con $T_{\text{amb}} = 40^{\circ}\text{C}$
Respuesta dinámica	Tiempo de estabilización	< 30 min tras cambio de carga
Fallo de enfriamiento	Tiempo hasta $T_{\text{crítica}}$	> 15 min para activar protecciones

Consideraciones para alto voltaje:

Verificar que el aislamiento eléctrico no se comprometa a temperaturas extremas

Evaluar la resistencia de aislamiento en función de la temperatura

Comprobar la efectividad de los sistemas de monitoreo térmico con aislamiento reforzado

Validar la coordinación entre protecciones térmicas y eléctricas

BMS: Arquitectura y Funciones

El **Sistema de Gestión de Baterías (BMS)** es el "cerebro" del BESS, monitoreando y controlando todos los aspectos operativos para garantizar seguridad y rendimiento óptimo.

Arquitectura Centralizada

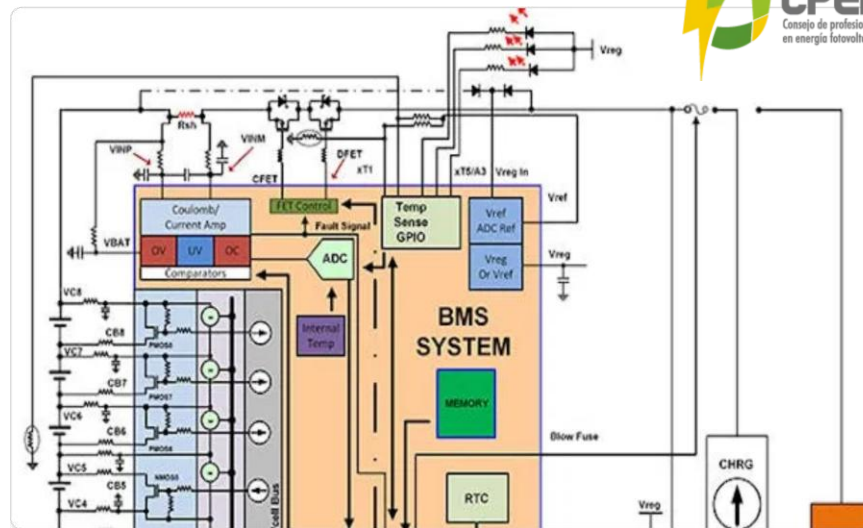
Un único controlador maestro gestiona todas las celdas. Simple pero limitado en escalabilidad.

Arquitectura Modular

Controladores locales por módulo/rack conectados a un BMS maestro. Balance entre complejidad y escalabilidad.

Arquitectura Distribuida

Cada módulo tiene su propio BMS con comunicación entre pares. Máxima redundancia y escalabilidad.



Arquitectura típica de un sistema BMS para baterías de alto voltaje

Monitoreo de voltaje

Control de temperatura

Balanceo de celdas

Estimación SoC/SoH

Protección eléctrica

Diagnóstico

BMS: Seguridad Funcional

La **seguridad funcional** garantiza que el BMS opere correctamente incluso ante fallos, previniendo situaciones peligrosas como incendios o electrocución.

ISO
26262

Estándar automotriz adaptado a BESS que define niveles ASIL de integridad de seguridad

IEC
61508

Estándar industrial que define niveles SIL para sistemas electrónicos de seguridad



Análisis de fallos (HARA)

Identificación de peligros potenciales y evaluación de riesgos para asignar niveles de criticidad.



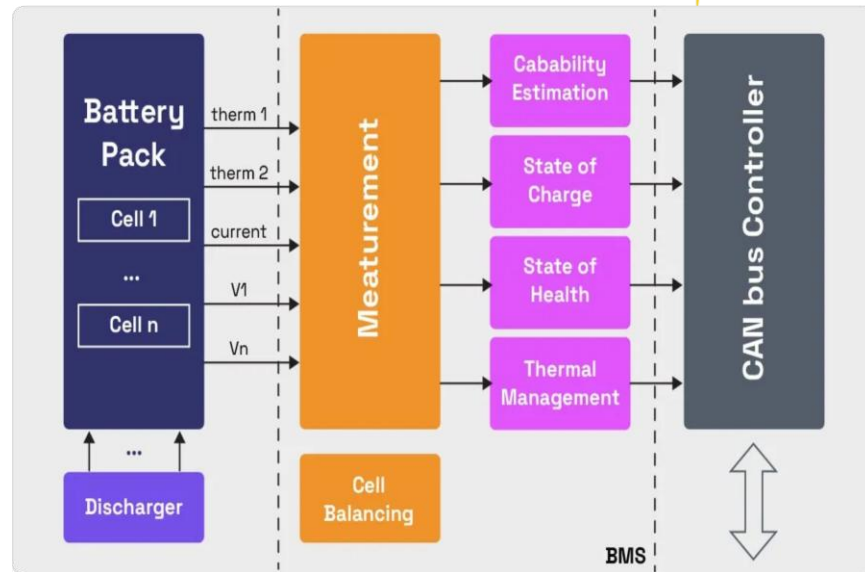
Diseño redundante

Sensores duplicados, caminos independientes para apagar contactores y sistemas de monitoreo cruzado.



Estado seguro

Definición de estados seguros ante fallos (ej. batería desconectada) y transiciones controladas.



Componentes de un sistema BMS para baterías de ion-litio con enfoque en seguridad funcional

Topologías de BMS para Alto Voltaje

Las topologías de BMS determinan cómo se organizan los componentes de monitoreo y control en sistemas de baterías de alto voltaje:

★ Topología centralizada

Un único controlador gestiona todas las funciones del BMS, conectado directamente a sensores en cada celda.

Ventajas

- Diseño simple
- Menor costo

Desventajas

- Limitado a sistemas pequeños
- Problemas de aislamiento HV

👤 Topología distribuida

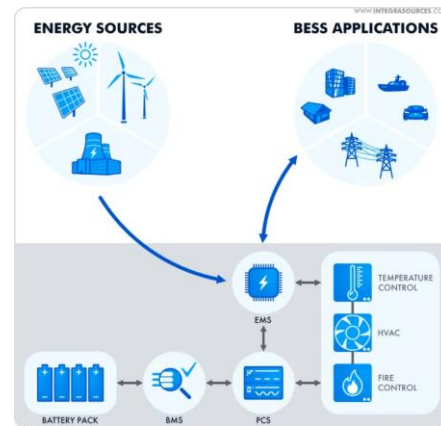
Múltiples módulos de adquisición de datos locales conectados a un controlador maestro.

Ventajas

- Escalable
- Mejor aislamiento

Desventajas

- Mayor complejidad
- Más puntos de fallo



Arquitectura de BMS distribuido para sistemas de alto voltaje

📦 Topología modular jerárquica

Estructura multinivel con BMS locales por módulo, BMS de rack y BMS maestro de sistema.

Ventajas

- Alta escalabilidad
- Redundancia

Desventajas

- Mayor costo
- Complejidad de comunicación

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje (1000-1500V), la topología modular jerárquica es la más adecuada, ya que proporciona aislamiento galvánico entre niveles y permite gestionar grandes cantidades de celdas con redundancia.

Monitoreo de Celdas en Sistemas de Alto Voltaje

El monitoreo preciso de cada celda es fundamental para la seguridad y rendimiento de los sistemas BESS de alto voltaje:

Medición de voltaje

Monitoreo del voltaje de cada celda individual con alta precisión ($\pm 2\text{mV}$) para detectar desbalances y prevenir sobrecarga o sobredescarga.

Medición de temperatura

Sensores distribuidos estratégicamente para detectar puntos calientes y gradientes térmicos anormales que podrían indicar problemas.

Medición de corriente

Sensores de corriente de alta precisión para monitorear flujos de carga/descarga y detectar corrientes anómalas o cortocircuitos.

Para sistemas de 1000-1500V, se requieren circuitos integrados especializados con capacidad de medición de alta tensión en modo común y aislamiento reforzado entre etapas de adquisición y procesamiento.

Parámetro	Precisión típica	Frecuencia de muestreo
Voltaje de celda	$\pm 2\text{-}5\text{ mV}$	10-100 Hz
Temperatura	$\pm 1^\circ\text{C}$	1-10 Hz
Corriente	$\pm 0.5\text{-}1\%$	100-1000 Hz
Impedancia interna	$\pm 5\%$	Periódica

Desafíos en sistemas de alto voltaje:

- Aislamiento galvánico entre circuitos de medición
- Rechazo al ruido electromagnético
- Precisión en largas cadenas de celdas en serie
- Comunicación segura entre niveles de BMS
- Redundancia en mediciones críticas

Balanceo de Celdas en Sistemas de Alto Voltaje

El balanceo de celdas es crítico en sistemas de alto voltaje para maximizar la capacidad utilizable y prevenir fallos por sobrecarga o sobredescarga:

➡ Balanceo pasivo

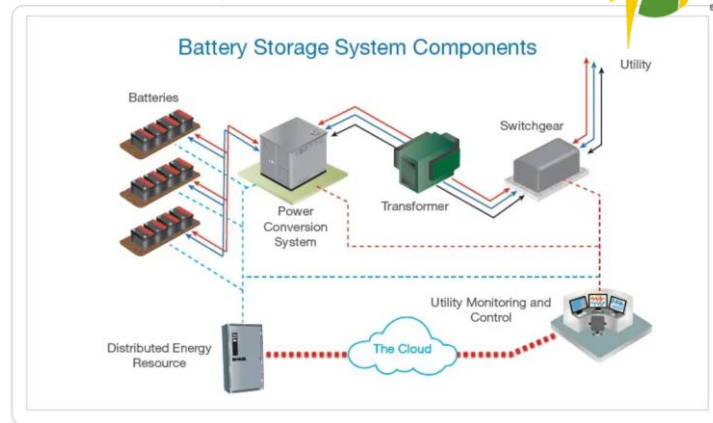
Disipa el exceso de energía de las celdas con mayor carga como calor a través de resistencias. Simple pero ineficiente energéticamente, adecuado para pequeños desbalances.

↔ Balanceo activo

Transfiere energía desde celdas con mayor carga hacia celdas con menor carga mediante convertidores DC-DC. Mayor eficiencia pero mayor complejidad y costo.

🕒 Estrategias de balanceo

Incluyen balanceo continuo, durante carga, durante reposo o basado en eventos. La selección depende de la aplicación y el nivel de desbalance típico.



Circuito de balanceo activo para sistemas de alto voltaje

Característica	Balanceo pasivo	Balanceo activo
Eficiencia energética	Baja	Alta
Velocidad de balanceo	Lenta	Rápida
Complejidad	Simple	Compleja
Costo	Bajo	Alto
Idoneidad para HV	Limitada	Óptima

Estimación de Estado de Baterías

La estimación precisa del estado de las baterías es fundamental para la operación segura y eficiente de sistemas BESS de alto voltaje:

Estado de Carga (SOC)

Estimación del porcentaje de energía disponible respecto a la capacidad total. Crítico para gestión de energía y prevención de sobredescarga.

Estado de Salud (SOH)

Evaluación de la degradación de la batería respecto a su condición inicial. Determina la capacidad real y potencia disponible.

Estado de Potencia (SOP)

Determinación de la potencia máxima de carga/descarga disponible en cada momento, considerando limitaciones de voltaje, corriente y temperatura.

Métodos de estimación de SOC

Coulomb counting:

Integración de corriente en el tiempo

OCV (Open Circuit Voltage): Relación voltaje-SOC

Filtro de Kalman: Modelo dinámico con corrección

Redes neuronales: Aprendizaje de patrones

Métodos de estimación de SOH

Medición de capacidad: Ciclos completos

Impedancia interna: EIS o pulsos de corriente

Análisis de curvas de carga: Cambios en perfiles

Modelos de envejecimiento: Basados en históricos

Consideración para alto voltaje: En sistemas de 1000-1500V, la estimación debe realizarse a nivel de módulo y sistema, con algoritmos que consideren el desbalance entre celdas y la influencia de la temperatura en largas cadenas en serie.

Comunicaciones en BMS de Alto Voltaje

Los sistemas de comunicación en BMS de alto voltaje deben garantizar la transmisión confiable y segura de datos entre los diferentes niveles:

Comunicación interna

Entre módulos de adquisición de datos y controladores locales. Requiere alta inmunidad al ruido y aislamiento galvánico para atravesar barreras de alto voltaje.

Comunicación entre niveles

Entre BMS locales, BMS de rack y BMS maestro. Necesita redundancia y detección de errores para garantizar la integridad de los datos críticos.

Comunicación externa

Entre el BMS maestro y sistemas externos como EMS (Energy Management System), SCADA o interfaces de usuario. Requiere protocolos estandarizados y ciberseguridad.

Protocolo	Nivel de aplicación	Características
SPI/I²C	Chip a chip	Alta velocidad, corta distancia
CAN/CAN-FD	Módulo a controlador	Robusto, determinístico
RS-485	Entre racks	Larga distancia, multipoint
Ethernet/IP	Sistema a EMS	Alta velocidad, estándar
Modbus TCP	Sistema a SCADA	Compatible con industria

Consideraciones para alto voltaje:

- Aislamiento galvánico reforzado (2500-4000V)
- Fibra óptica para atravesar barreras de potencial
- Redundancia en comunicaciones críticas
- Detección y corrección de errores avanzada
- Protección contra interferencias electromagnéticas

Algoritmos de Protección en BMS

Los algoritmos de protección son críticos para garantizar la operación segura de sistemas BESS de alto voltaje:

Protección contra sobrevoltaje

Monitoreo continuo del voltaje de cada celda y módulo, con múltiples umbrales de advertencia y acción para prevenir daños por sobrecarga.

Protección contra bajo voltaje

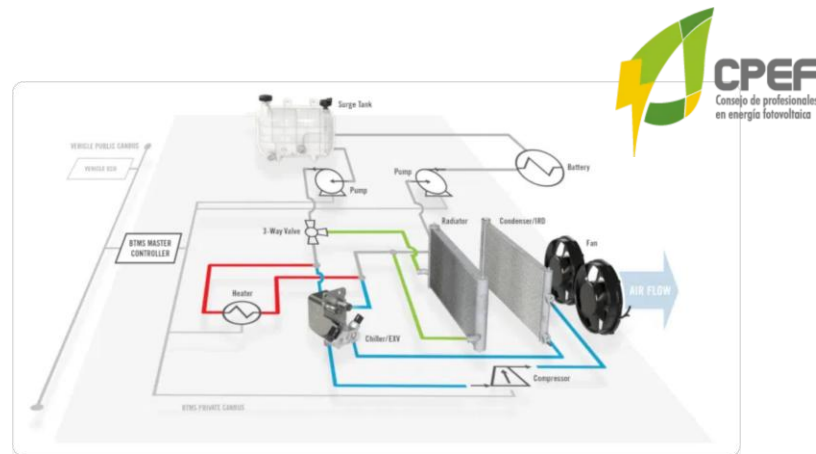
Prevención de descarga excesiva que podría causar daño permanente a las celdas, con umbrales adaptativos según temperatura y corriente.

Protección térmica

Algoritmos que detectan sobrecalentamiento y gradientes térmicos anormales, con capacidad predictiva para anticipar eventos de thermal runaway.

Protección contra sobrecorriente

Limitación dinámica de corriente basada en temperatura, SOC y SOH, con respuesta rápida ante cortocircuitos o demandas excesivas.



Sistema de protección multinivel para BESS de alto voltaje

1 Niveles de protección

Advertencia: Notificación sin interrupción

Limitación: Reducción de potencia disponible

Protección: Desconexión parcial o temporal

Emergencia: Desconexión completa y aislamiento

Consideraciones para alto voltaje: En sistemas de 1000-1500V, los algoritmos de protección deben considerar la propagación de fallos en largas cadenas de celdas en serie y contar con redundancia para garantizar la actuación incluso ante fallos de comunicación.

Diagnóstico y Mantenimiento del BMS

Las capacidades de diagnóstico y mantenimiento son esenciales para garantizar la fiabilidad a largo plazo de los sistemas BESS de alto voltaje:

Autodiagnóstico

Rutinas periódicas que verifican la integridad de sensores, actuadores y comunicaciones del BMS, con capacidad para detectar desviaciones y fallos incipientes.

Registro de eventos

Almacenamiento cronológico de alarmas, advertencias y eventos operativos con timestamp y datos contextuales para análisis posterior y trazabilidad.

Análisis predictivo

Algoritmos que identifican tendencias y patrones para predecir fallos antes de que ocurran, permitiendo mantenimiento preventivo y optimización de operaciones.

Mantenimiento del BMS

Calibración periódica:

De sensores de voltaje, corriente y temperatura

Actualización de firmware:

Para mejorar algoritmos y corregir bugs

Verificación de aislamiento:

Entre circuitos de alto y bajo voltaje

Pruebas funcionales:

De sistemas de protección y redundancia

Herramientas de diagnóstico

Software de servicio:

Interfaces especializadas para técnicos

Analizadores de protocolo:

Para verificar comunicaciones

Simuladores de carga:

Para pruebas sin riesgo

Equipos de medición:

Calibrados para verificación externa

Consideraciones para alto voltaje: El mantenimiento de sistemas de 1000-1500V requiere procedimientos especiales de seguridad, personal certificado y herramientas con aislamiento reforzado. Las pruebas funcionales deben realizarse con equipos específicos para alto voltaje.

Diseño Mecánico y Validación

Los aspectos mecánicos en un sistema BESS son fundamentales para garantizar la integridad y seguridad del almacenamiento durante toda su vida útil.



Estructuras de racks

Marcos de acero diseñados para soportar el peso de las baterías, fijarlas firmemente y facilitar el mantenimiento. Deben considerar rigidez, aislamiento eléctrico y modularidad.



Contenedores

Envoltorios que proporcionan protección ambiental, seguridad, ventilación y contención de eventos. Muchos BESS utilizan contenedores ISO modificados con sistemas integrados.



Contenedor BESS con sistemas integrados de protección y control



Ensayos mecánicos principales

Vibración (7-200 Hz, 3 horas/eje)

Choque mecánico (50g, 11 ms)

Resistencia sísmica (IEEE 693)

Exposición al fuego externo

Estructuras de Soporte para BESS

Las estructuras de soporte para sistemas BESS de alto voltaje deben proporcionar estabilidad mecánica y seguridad eléctrica:



Racks de baterías

Estructuras modulares diseñadas para soportar el peso de los módulos de baterías y proporcionar aislamiento eléctrico adecuado.



Sistemas de fijación

Mecanismos de anclaje y sujeción que aseguran los módulos contra vibraciones, movimientos sísmicos y fuerzas durante el transporte.



Barreras de aislamiento

Separadores entre módulos y racks para prevenir la propagación de fallos eléctricos y térmicos, con materiales resistentes al fuego.



Estructura de rack para baterías de alto voltaje

Material	Aplicación	Características
Acero galvanizado	Estructura principal	Alta resistencia
Aluminio	Componentes ligeros	Peso reducido

Polímeros reforzados	Aislamiento eléctrico	No conductivos
----------------------	-----------------------	----------------

Consideración clave: Las estructuras para sistemas de 1000-1500V deben incluir distancias de aislamiento mayores y materiales con rigidez dieléctrica superior.

Protección Ambiental para BESS

Los sistemas BESS de alto voltaje requieren protección contra factores ambientales para garantizar su seguridad y durabilidad:

Protección contra agua

Gabinetes con sellos y juntas que previenen la entrada de agua, humedad y condensación que podría comprometer el aislamiento eléctrico.

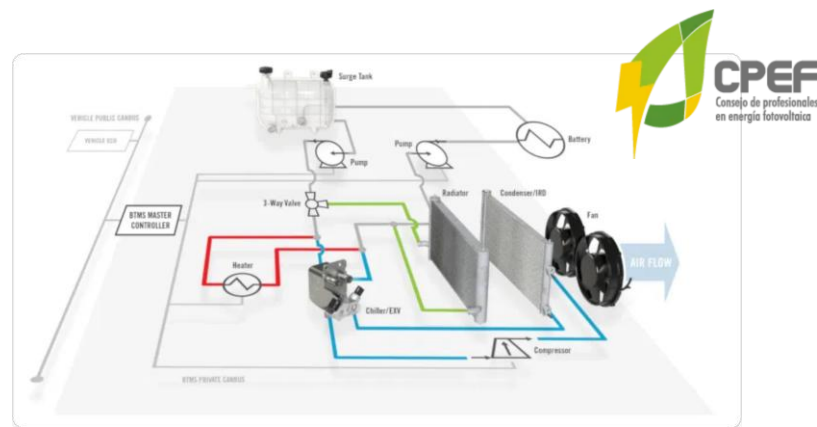
Protección contra radiación UV

Materiales resistentes a la degradación por exposición solar para instalaciones exteriores, con recubrimientos especiales para prevenir deterioro.

Control de temperatura

Aislamiento térmico y sistemas de ventilación que mantienen condiciones óptimas de operación y previenen estrés térmico en componentes.

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, la protección ambiental debe considerar también la prevención de arcos eléctricos y la disipación segura de gases en caso de fallo.



Gabinete con protección ambiental para BESS de alto voltaje

Clasificación IP	Descripción	Aplicación típica
IP20	Protección contra objetos >12mm	Interior controlado
IP54	Protección contra polvo y salpicaduras	Interior industrial
IP65	Hermético al polvo y chorros de agua	Exterior estándar
IP67	Inmersión temporal	Zonas inundables

Contención de Incendios en BESS

El diseño mecánico para contención de incendios es crítico en sistemas BESS de alto voltaje para mitigar riesgos de propagación:

Barreras cortafuegos

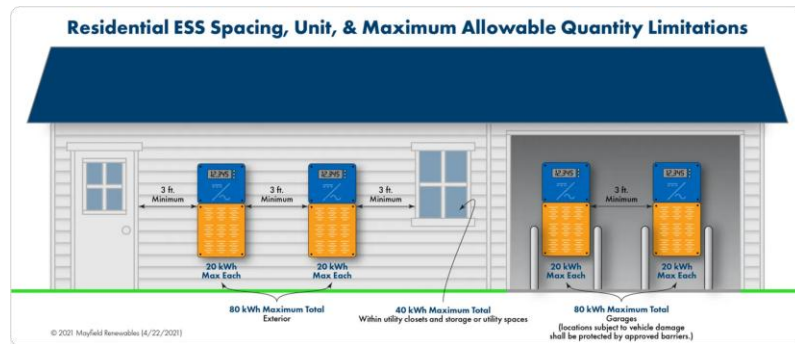
Separaciones físicas entre módulos, racks y contenedores fabricadas con materiales resistentes al fuego que limitan la propagación de incendios.

Sistemas de ventilación

Conductos y compuertas diseñados para evacuar gases tóxicos y calor, con capacidad de sellado automático para contener el fuego cuando sea necesario.

Compartimentación

División del sistema en zonas aisladas que contienen el fuego y los gases dentro de un área limitada, reduciendo el impacto en el sistema completo.



Sistema de contención de incendios con compartimentación

Material	Clasificación	Aplicación
Panel de silicato	Hasta 4 horas	Barreras principales
Lana mineral	2-3 horas	Aislamiento térmico
Selladores intumescentes	1-2 horas	Penetraciones
Compuertas cortafuego	1-3 horas	Conductos de ventilación

Consideración clave: Los sistemas de alto voltaje requieren especial atención a la contención de arcos eléctricos que podrían iniciar incendios, con materiales que soporten altas temperaturas instantáneas.

Pruebas Mecánicas para BESS

Las pruebas mecánicas son esenciales para validar la robustez y seguridad de los sistemas BESS de alto voltaje:

Pruebas de vibración

Simulación de condiciones de transporte y sísmicas para verificar la integridad estructural y la resistencia de conexiones eléctricas y mecánicas.

Pruebas de carga estática

Verificación de la capacidad de las estructuras para soportar el peso de los componentes bajo condiciones normales y extremas.

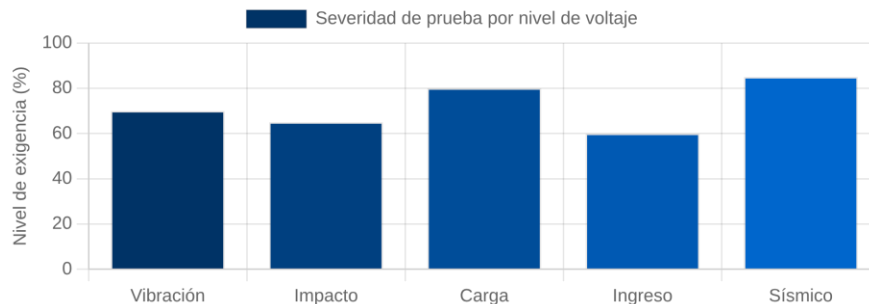
Pruebas de impacto

Evaluación de la resistencia a golpes y caídas para garantizar la protección de componentes críticos y la contención de materiales peligrosos.

Pruebas de ingreso

Verificación de la efectividad de sellos y juntas contra agua, polvo y otros contaminantes según clasificaciones IP requeridas.

Exigencia de pruebas mecánicas para BESS de alto voltaje



Estándar	Alcance	Aplicación
IEC 60068-2-6	Vibración sinusoidal	Transporte
IEC 60068-2-27	Choque mecánico	Impactos
IEC 60068-2-64	Vibración aleatoria	Operación
IEC 60529	Protección de ingreso	Gabinets

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, las pruebas mecánicas deben verificar que las distancias de aislamiento se mantengan bajo todas las condiciones de estrés mecánico.

Consideraciones Sísmicas para BESS

El diseño sísmico es crucial para sistemas BESS de alto voltaje, especialmente en regiones con actividad sísmica como México:

Anclaje y fijación

Sistemas de anclaje dimensionados según la zona sísmica, con capacidad para resistir fuerzas laterales y verticales durante eventos sísmicos.

Amortiguación

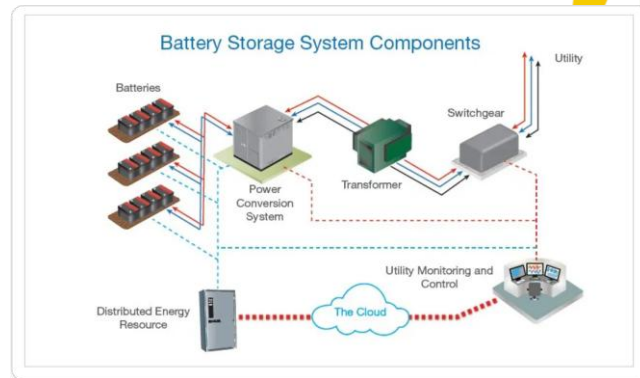
Sistemas de amortiguación y aislamiento sísmico que reducen la transmisión de vibraciones a componentes sensibles como celdas y conexiones.

Análisis estructural

Modelado por elementos finitos para simular respuesta dinámica ante diferentes escenarios sísmicos, verificando integridad estructural.

Sistemas de seguridad

Mecanismos de desconexión automática y contención que se activan durante eventos sísmicos para prevenir daños mayores.



Sistema de anclaje sísmico para BESS de alto voltaje

Zona sísmica	Aceleración (g)	Requisitos
Baja (A)	< 0.1g	Anclaje estándar
Media (B)	0.1g - 0.3g	Refuerzo estructural
Alta (C)	0.3g - 0.5g	Aislamiento sísmico
Muy alta (D)	> 0.5g	Diseño especial

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, el diseño sísmico debe garantizar que las distancias de aislamiento eléctrico se mantengan incluso durante el movimiento máximo esperado.

Transporte y Manipulación de BESS

El diseño mecánico debe considerar los requisitos de transporte y manipulación de sistemas BESS de alto voltaje:



Puntos de izaje

Elementos estructurales diseñados específicamente para soportar el peso total durante operaciones de elevación y posicionamiento.



Acceso para montacargas

Aberturas y refuerzos estructurales que permiten la manipulación segura con equipos de elevación estándar como montacargas.



Sistemas de fijación

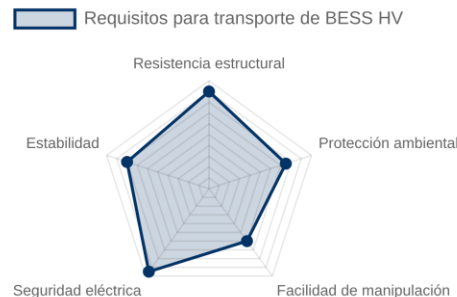
Puntos de anclaje para asegurar el sistema durante el transporte, evitando movimientos que podrían dañar componentes internos.



Distribución de peso

Diseño que considera el centro de gravedad para mantener estabilidad durante el transporte y manipulación, evitando vuelcos.

Factores críticos en transporte de BESS



Elemento	Requisito	Normativa
Puntos de izaje	Factor de seguridad 5:1	ISO 3266
Embalaje	Protección IP54 mínimo	IEC 60529
Fijación	Resistencia 2G lateral	ISO 1496
Señalización	Símbolos de advertencia	ISO 7010

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, se requieren procedimientos especiales de manipulación que garanticen la seguridad eléctrica durante todas las fases de

Accesibilidad y Mantenimiento



El diseño mecánico debe facilitar el acceso seguro para mantenimiento y reparación de sistemas BESS de alto voltaje:

Paneles de acceso

Puertas y paneles desmontables estratégicamente ubicados que permiten acceder a componentes críticos sin desmontar todo el sistema.

Modularidad

Diseño que permite extraer y reemplazar módulos individuales sin afectar al resto del sistema, reduciendo tiempos de mantenimiento.

Conectores rápidos

Sistemas de conexión eléctrica que permiten desconectar y reconectar componentes de forma segura sin herramientas especiales.

Zonas de trabajo seguras

Espacios designados con aislamiento reforzado donde el personal puede realizar tareas de mantenimiento con riesgo eléctrico minimizado.

Característica	Beneficio
Módulos extraíbles	Reduce tiempo de reparación en 70%
Puntos de prueba accesibles	Facilita diagnóstico sin desmontaje
Etiquetado claro	Minimiza errores de mantenimiento
Rutas de cableado organizadas	Simplifica identificación de problemas
Sistemas de bloqueo	Garantiza seguridad durante intervenciones

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, el diseño debe incluir procedimientos de descarga y verificación de ausencia de tensión antes de permitir el acceso a zonas de mantenimiento.

Integración de Sistemas Mecánicos

La integración efectiva de los sistemas mecánicos es fundamental para el funcionamiento óptimo de BESS de alto voltaje:



Coordinación interdisciplinaria

Diseño que integra requisitos eléctricos, térmicos, estructurales y de seguridad desde las primeras etapas del proyecto.



Interfaces estandarizadas

Conexiones mecánicas y eléctricas normalizadas que facilitan la integración de componentes de diferentes fabricantes y tecnologías.



Escalabilidad

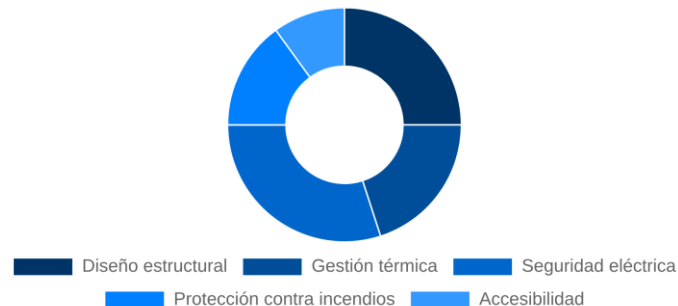
Diseño modular que permite la expansión futura del sistema sin comprometer la integridad estructural o la seguridad operativa.



Compatibilidad de sistemas

Verificación de que todos los subsistemas (refrigeración, protección contra incendios, BMS) funcionan coordinadamente sin interferencias.

Distribución de prioridades en integración mecánica



Desafío de integración	Solución
Interferencias espaciales	Modelado 3D integrado (BIM)
Compatibilidad térmica-eléctrica	Simulación multifísica
Rutas de cableado seguras	Canalizaciones dedicadas con separación
Acceso para mantenimiento	Diseño por capas con priorización
Expansión futura	Previsión de espacios y conexiones

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, la integración debe priorizar la seguridad eléctrica, manteniendo separaciones adecuadas entre sistemas de potencia y control.

Procesos de Manufactura para BESS

La fabricación de sistemas BESS de alto voltaje requiere procesos especializados para garantizar calidad y seguridad:

Ensamblaje de módulos

Integración de celdas individuales en módulos con sistemas de monitoreo y control, en ambientes controlados de humedad y temperatura.

Conexiones de alto voltaje

Técnicas especializadas para conexiones eléctricas de alta tensión, con materiales y métodos que garantizan aislamiento y durabilidad.

Aplicación de aislamiento

Procesos para aplicar materiales aislantes en componentes críticos, con técnicas que previenen la formación de burbujas o imperfecciones.

Control de calidad

Inspecciones y pruebas en cada etapa del proceso, con verificación de especificaciones eléctricas, mecánicas y térmicas.



Línea de ensamblaje de módulos de baterías de alto voltaje



Consideraciones para alto voltaje:

Áreas de fabricación con control de descarga electrostática (ESD)

Personal certificado para trabajo con alto voltaje

Equipos de prueba especializados para tensiones de 1000-1500V

Trazabilidad completa de componentes y procesos

Control de Calidad en BESS de Alto Voltaje

El control de calidad riguroso es esencial para garantizar la seguridad y fiabilidad de los sistemas BESS de alto voltaje:

Inspección de componentes

Verificación detallada de cada componente antes del ensamblaje, con especial atención a materiales aislantes y conexiones eléctricas.

Pruebas de aislamiento

Medición de resistencia de aislamiento y pruebas de rigidez dieléctrica para verificar la capacidad de soportar altos voltajes sin fugas.

Pruebas térmicas

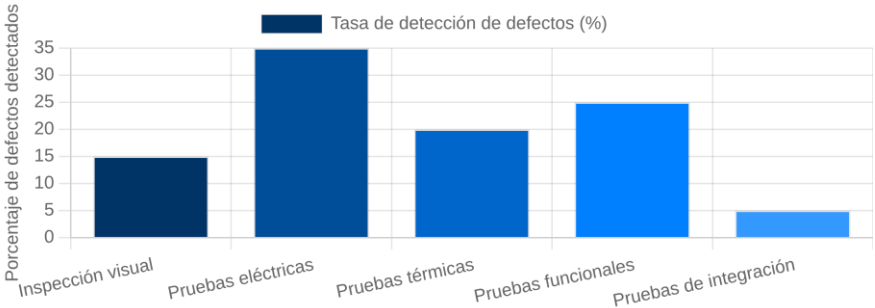
Verificación del comportamiento térmico bajo diferentes condiciones de carga, identificando puntos calientes y validando sistemas de refrigeración.

Trazabilidad

Documentación completa de todos los componentes, procesos y pruebas, permitiendo rastrear cualquier problema hasta su origen.

Consideración clave: Para sistemas de 1000-1500V, las pruebas de aislamiento deben realizarse con equipos especializados y bajo estrictos protocolos de seguridad.

Efectividad de métodos de control de calidad



Prueba	Parámetro	Criterio de aceptación
Hipot	Rigidez dieléctrica	2x voltaje nominal + 1000V
Megger	Resistencia de aislamiento	> 10 MΩ a 1000V
Termografía	Puntos calientes	ΔT < 10°C sobre ambiente
Funcional BMS	Respuesta a fallos	< 100ms para desconexión

Selección de Materiales para BESS

La selección adecuada de materiales es crítica para el rendimiento y seguridad de los sistemas BESS de alto voltaje:

⚡ Materiales aislantes

Polímeros de alta rigidez dieléctrica como poliimidas, resinas epóxicas y cerámicas especiales que mantienen propiedades aislantes a altas temperaturas.

🔥 Materiales ignífugos

Compuestos retardantes de llama y materiales con clasificación UL 94 V-0 para minimizar la propagación de incendios en caso de fallo.

🌡️ Materiales de gestión térmica

Compuestos con alta conductividad térmica para disipación eficiente del calor, como aluminios tratados, grafito y compuestos cerámicos.

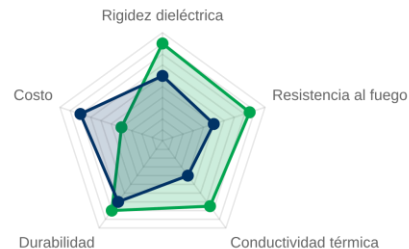
🔌 Materiales conductores

Aleaciones de cobre y aluminio con tratamientos superficiales para minimizar resistencia de contacto y prevenir corrosión en conexiones de potencia.

Consideración clave: Para sistemas de 1000-1500V, los materiales deben mantener sus propiedades durante toda la vida útil del sistema (10-20 años) bajo condiciones variables de temperatura y humedad.

Comparativa de materiales por aplicación

■ Materiales convencionales ■ Materiales para alto voltaje



Material	Aplicación	Propiedad clave
Poliimida (Kapton)	Aislamiento eléctrico	Rigidez dieléctrica >300 kV/mm
FR-4 reforzado	PCBs de BMS	CTI >600V, autoextinguible
Silicona modificada	Sellado y juntas	Estabilidad -40°C a +150°C
Cobre estañado	Barras colectoras	Conductividad >58 MS/m
Compuesto de BN	Interfaz térmica	Conductividad >8 W/mK

Automatización y Robótica en Fabricación de BESS



La automatización y robótica son fundamentales para la fabricación consistente y segura de sistemas BESS de alto voltaje:



Ensamblaje robotizado

Robots de precisión para manipulación y posicionamiento de celdas y componentes, garantizando consistencia y minimizando daños por manipulación manual.



Sistemas de visión artificial

Inspección automatizada mediante cámaras de alta resolución y algoritmos de procesamiento de imágenes para detectar defectos imperceptibles al ojo humano.



Pruebas automatizadas

Sistemas automatizados para pruebas eléctricas y térmicas que minimizan la exposición humana a altos voltajes y garantizan la repetibilidad de resultados.



Trazabilidad digital

Sistemas MES (Manufacturing Execution System) que registran cada paso del proceso, componentes utilizados y resultados de pruebas para completa trazabilidad.

Beneficio	Impacto
Precisión de ensamblaje	Reducción de defectos en 85%
Seguridad del personal	Minimización de exposición a HV
Consistencia de calidad	Variación de parámetros <1%
Velocidad de producción	Incremento de 300% vs. manual
Trazabilidad	100% de componentes y procesos

Consideración clave: La automatización para sistemas de alto voltaje requiere equipos especializados con aislamiento reforzado y protocolos de seguridad específicos para manipulación de componentes de 1000-1500V.

Seguridad en Planta de Fabricación de BESS

La fabricación de sistemas BESS de alto voltaje requiere protocolos estrictos de seguridad para proteger al personal y las instalaciones:

Seguridad eléctrica

Zonas de trabajo con aislamiento reforzado, equipos de protección especializada y procedimientos de bloqueo/etiquetado (LOTO) para prevenir accidentes eléctricos.

Protección contra incendios

Sistemas de detección temprana, supresión automática con agentes limpios y protocolos de respuesta específicos para incendios de baterías de litio.

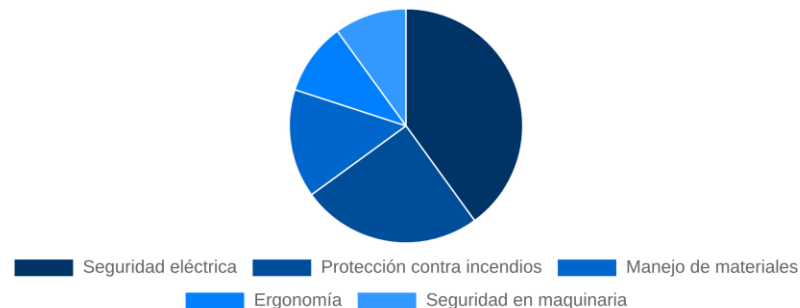
Equipamiento de protección

EPP especializado para alto voltaje, incluyendo guantes dieléctricos clase 2-4, protección facial con arco eléctrico y calzado aislante certificado.

Capacitación especializada

Programas de formación y certificación para trabajo con alto voltaje, manejo de materiales peligrosos y respuesta ante emergencias específicas.

Distribución de riesgos en fabricación de BESS



Protocolo

Aplicación

NFPA 70E

Seguridad eléctrica en lugar de trabajo

LOTO
(Lockout/Tagout)

Control de energías peligrosas

NFPA 855

Sistemas de almacenamiento de energía

UN 38.3

Transporte de baterías de litio

ISO 45001

Sistemas de gestión de seguridad

Certificación de Producto para BESS

La certificación de sistemas BESS de alto voltaje es un proceso riguroso que garantiza el cumplimiento de estándares de seguridad y rendimiento:

Certificación de componentes

Verificación de que cada componente crítico (celdas, BMS, convertidores) cumple con sus respectivos estándares antes de la integración en el sistema.

Pruebas de seguridad

Evaluación de respuesta ante condiciones de fallo, incluyendo cortocircuitos, sobrecargas, impactos mecánicos y exposición a condiciones ambientales extremas.

Pruebas de rendimiento

Verificación de capacidad, eficiencia, respuesta dinámica y comportamiento bajo diferentes perfiles de carga y descarga según aplicación final.

Certificación regional

Cumplimiento con requisitos específicos de cada mercado, como UL en Norteamérica, CE en Europa o CQC en China, para permitir la comercialización.

1	2	3	4
Revisión de diseño	Pruebas de tipo	Evaluación de fábrica	Certificación
Estándar	Alcance	Aplicación	
UL 1973	Baterías para uso estacionario	Norteamérica	
UL 9540	Sistemas completos BESS	Norteamérica	
IEC 62619	Seguridad de celdas y baterías	Internacional	
IEC 62933	Sistemas de almacenamiento	Internacional	
NOM-001-SEDE	Instalaciones eléctricas	México	

Logística y Transporte de BESS

El transporte y manejo logístico de sistemas BESS de alto voltaje presenta desafíos únicos que requieren consideraciones especiales:

Embalaje especializado

Contenedores con protección contra impactos, vibraciones y variaciones de temperatura, diseñados específicamente para baterías de alto voltaje.

Transporte de mercancías peligrosas

Cumplimiento con regulaciones internacionales para transporte de baterías de litio (UN 3480/3481), incluyendo documentación, etiquetado y capacitación.

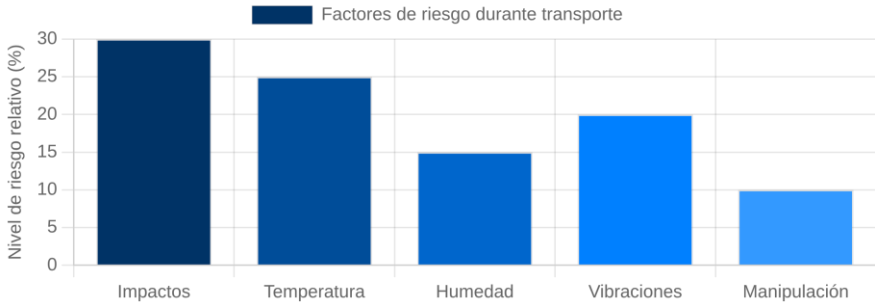
Control de condiciones

Monitoreo y control de temperatura, humedad y vibraciones durante el transporte para prevenir daños a los sistemas de alto voltaje.

Documentación y trazabilidad

Registros detallados de la cadena de custodia, condiciones de transporte y verificaciones de integridad en cada punto de transferencia.

Factores de riesgo en transporte de BESS



Regulación	Alcance	Requisitos clave
UN 38.3	Pruebas de transporte	8 pruebas de seguridad
IATA DGR	Transporte aéreo	Limitación de capacidad
ADR/RID	Transporte terrestre (Europa)	Clasificación y embalaje
IMDG	Transporte marítimo	Estiba y segregación
NOM-003-SCT	Transporte terrestre (México)	Documentación y señalización

Consideración clave: Para sistemas de 1000-1500V, se requiere descarga parcial a un estado de carga (SOC) del 30-50% para transporte, reduciendo riesgos pero manteniendo la salud de las baterías.

Sostenibilidad y Reciclaje de BESS

La sostenibilidad y el reciclaje son aspectos cada vez más importantes en el diseño y fabricación de sistemas BESS de alto voltaje:

Diseño para reciclaje

Consideraciones de diseño que facilitan el desmontaje, separación de materiales y recuperación de componentes valiosos al final de la vida útil.

Materiales sostenibles

Selección de materiales con menor impacto ambiental, reducción de elementos críticos o tóxicos, y uso de componentes reciclados cuando es posible.

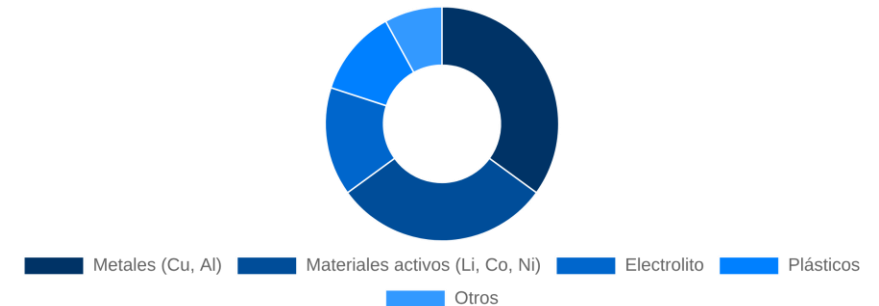
Procesos eficientes

Optimización de procesos de fabricación para reducir consumo energético, emisiones y residuos, con sistemas de gestión ambiental certificados.

Segunda vida

Estrategias para reutilización de baterías en aplicaciones menos exigentes cuando ya no cumplen requisitos para almacenamiento a gran escala.

Composición material de BESS para reciclaje



Material	Tasa de recuperación	Método
Cobalto	95-98%	Hidrometalurgia
Níquel	90-95%	Pirometalurgia
Litio	50-70%	Precipitación química
Cobre	>99%	Separación mecánica
Aluminio	>95%	Fundición

Consideración clave: Los sistemas de alto voltaje requieren protocolos especiales de descarga completa y verificación de seguridad antes del desmontaje para reciclaje, con personal certificado para manipulación de alto voltaje.

Tendencias Futuras en Fabricación de BESS

La fabricación de sistemas BESS de alto voltaje está evolucionando rápidamente con nuevas tecnologías:



Industria 4.0

Integración de IoT, inteligencia artificial y análisis de datos en tiempo real para optimizar procesos.



Nuevas químicas de baterías

Adaptación para tecnologías como estado sólido, litio-azufre y sodio-ion con requisitos específicos.

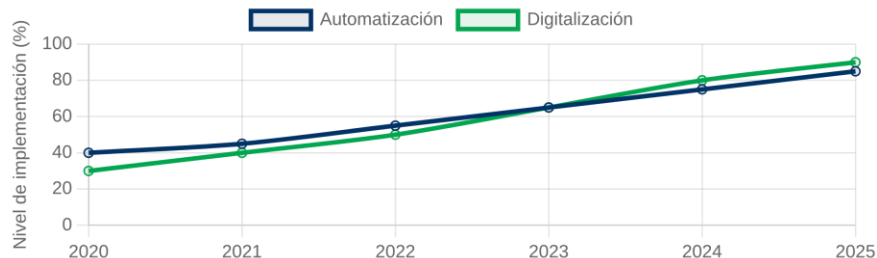


Fabricación aditiva

Uso de impresión 3D para componentes complejos, reduciendo tiempos y permitiendo personalización.

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, las tendencias incluyen mayor automatización en pruebas de aislamiento y seguridad.

Evolución de tecnologías en fabricación de BESS



Tecnología emergente

Impacto en fabricación

Gemelos digitales

Simulación y optimización en tiempo real

Robótica colaborativa

Mayor flexibilidad en líneas de producción

Blockchain

Trazabilidad completa de componentes

Arquitectura de Integración de BESS

La integración efectiva de sistemas BESS de alto voltaje requiere una arquitectura bien definida que conecte todos los componentes:

Arquitectura por capas

Organización jerárquica desde componentes físicos hasta sistemas de gestión de alto nivel, con interfaces estandarizadas entre capas.

Interfaces de comunicación

Protocolos estandarizados como Modbus, DNP3 o IEC 61850 que permiten la interoperabilidad entre componentes de diferentes fabricantes.

Seguridad integrada

Mecanismos de ciberseguridad incorporados en cada nivel de la arquitectura, con autenticación, encriptación y monitoreo de intrusiones.

Escalabilidad

Diseño modular que permite la expansión del sistema sin cambios fundamentales en la arquitectura, facilitando actualizaciones futuras.

Capa	Componentes	Protocolos
Física	Celdas, módulos, racks	I²C, SPI, CAN
Control	BMS, PCS, EMS	Modbus, CANopen
Supervisión	SCADA, HMI	IEC 61850, DNP3
Gestión	EMS, DERMS	MQTT, REST API
Empresarial	ERP, análisis de datos	HTTPS, OPC UA

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje (1000-1500V), la arquitectura debe incluir aislamiento galvánico entre capas de control y potencia, con redundancia en comunicaciones críticas.

Integración de BESS con Red Eléctrica

La integración de sistemas BESS de alto voltaje con la red eléctrica requiere consideraciones técnicas específicas:



Punto de interconexión

Diseño del punto de acoplamiento común (PCC) con equipos de protección, medición y sincronización que cumplen con requisitos del operador de red.



Sincronización

Sistemas de sincrofasores y control de frecuencia que permiten la conexión segura a la red y la operación en paralelo con otras fuentes de generación.



Protecciones eléctricas

Relés de protección adaptados a sistemas de alto voltaje que detectan condiciones anormales y desconectan el sistema para prevenir daños.

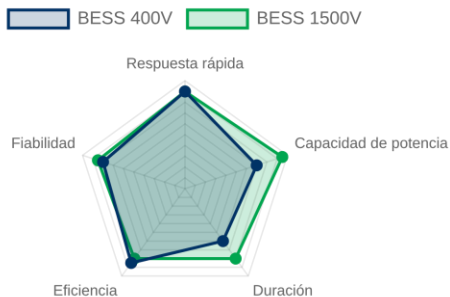


Calidad de energía

Filtros y sistemas de control que minimizan armónicos, fluctuaciones de voltaje y otros problemas de calidad de energía asociados con convertidores de potencia.

Consideración clave: Los sistemas de 1000-1500V requieren transformadores específicos para interconexión con redes de media tensión, con aislamiento reforzado y protecciones coordinadas.

Comparativa de capacidades para servicios de red



Servicio de red	Requisito técnico	Beneficio
Regulación de frecuencia	Respuesta <500ms	Estabilidad de red
Soporte de voltaje	Control de potencia reactiva	Calidad de suministro
Arranque en negro	Operación en isla	Resiliencia
Reserva rodante	Disponibilidad inmediata	Confiabilidad
Arbitraje energético	Alta eficiencia round-trip	Economía

Integración de BESS con Energías Renovables

Los sistemas BESS de alto voltaje son clave para maximizar el valor de las energías renovables:



Acoplamiento con solar fotovoltaica

Integración DC-coupled o AC-coupled con plantas solares para almacenamiento de excedentes y firming de potencia.



Complemento a energía eólica

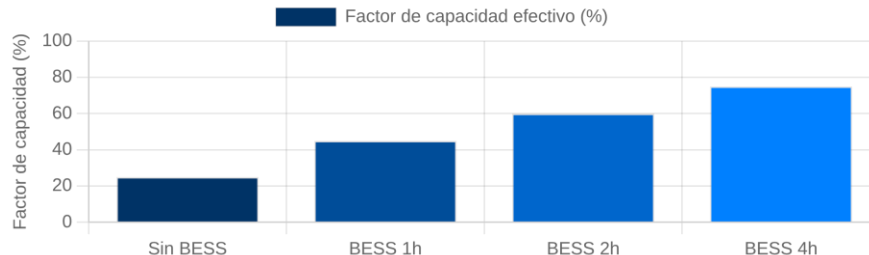
Sistemas que compensan la variabilidad del viento, almacenando energía durante picos de producción.



Microrredes híbridas

Sistemas integrados que combinan múltiples fuentes renovables con BESS para crear redes autónomas.

Mejora del factor de capacidad solar con BESS



Configuración	Ventajas	Aplicación óptima
DC-coupled	Mayor eficiencia	Plantas solares nuevas
AC-coupled	Flexibilidad, retrofit	Plantas existentes
Híbrido solar-eólico	Complementariedad	Microrredes aisladas

Consideración clave: Los sistemas de alto voltaje (1000-1500V) son ideales para grandes instalaciones renovables, reduciendo pérdidas y costos de cableado.

Sistemas de Control para BESS

Los sistemas de control son fundamentales para la operación segura y eficiente de BESS de alto voltaje:



Sistema de Gestión de Energía (EMS)

Plataforma de alto nivel que optimiza la operación del BESS según objetivos económicos y técnicos, coordinando con otros recursos.



Sistema de Control de Potencia (PCS)

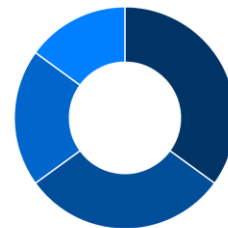
Controla los convertidores para regular flujos de potencia activa/reactiva según consignas del EMS o señales de la red.



Sistemas de Seguridad

Monitoreo continuo de parámetros críticos con capacidad de desconexión automática ante condiciones anormales.

Jerarquía de sistemas de control en BESS



■ BMS (nivel celda) ■ PCS (nivel potencia) ■ EMS (nivel sistema) ■ SCADA (nivel planta)

Nivel de control	Función principal	Tiempo de respuesta
BMS	Protección de celdas	<10 ms
PCS	Control de potencia	10-100 ms
EMS	Optimización	1-5 segundos

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, la arquitectura de control debe incluir aislamiento galvánico entre niveles y redundancia en sistemas críticos de seguridad.

Sistemas de Comunicación para BESS

Las comunicaciones son críticas para la operación integrada de sistemas BESS de alto voltaje:



Comunicaciones internas

Redes de alta velocidad y baja latencia entre BMS, PCS y sistemas de control, con redundancia para garantizar operación continua.



Comunicaciones externas

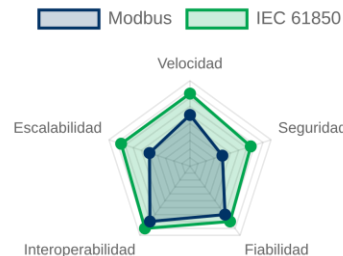
Enlaces con operadores de red, centros de control y sistemas de gestión de mercado, con protocolos estandarizados.



Ciberseguridad

Protección contra accesos no autorizados mediante firewalls, encriptación y autenticación multinivel para prevenir ataques.

Comparativa de protocolos de comunicación



Protocolo	Aplicación	Ventajas
Modbus TCP/IP	Control local	Simplicidad, amplio soporte
IEC 61850	Integración con subestaciones	Estandarizado, alta velocidad
DNP3	Comunicación con SCADA	Robusto, reportes por excepción

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, se requiere aislamiento galvánico en interfaces de comunicación para prevenir daños por diferencias de potencial.

Integración de BESS con Microrredes

Los sistemas BESS de alto voltaje son componentes fundamentales en microrredes modernas:



Formación de red

Capacidad para establecer referencia de tensión y frecuencia en modo isla, actuando como fuente principal cuando no hay conexión a red.



Transición suave

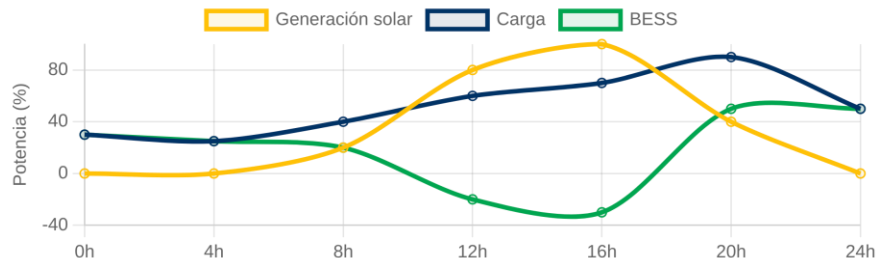
Sistemas de control que permiten transiciones sin interrupciones entre modos conectado a red y aislado, manteniendo estabilidad.



Balance energético

Gestión dinámica de flujos de potencia entre generación renovable, cargas y almacenamiento para mantener equilibrio en tiempo real.

Balance energético en microrred con BESS



Modo de operación

Función del BESS

Control principal

Conectado a red

Optimización económica P-Q

Transición

Estabilización

Droop + P-Q

Isla

Formación de red

V-f

Consideración clave: Los sistemas de alto voltaje requieren convertidores especiales con capacidad de formación de red (grid-forming) para microrredes de mayor potencia.

Integración de BESS con Mercados Eléctricos

Los sistemas BESS de alto voltaje pueden participar en múltiples mercados eléctricos para maximizar su valor:

Arbitraje energético

Compra de energía en horas de bajo precio y venta en horas de alto precio, aprovechando la volatilidad del mercado spot.

Servicios auxiliares

Participación en mercados de regulación de frecuencia, reservas y soporte de voltaje, aprovechando la respuesta rápida del BESS.

Capacidad firme

Oferta de potencia garantizada en mercados de capacidad, contribuyendo a la seguridad de suministro del sistema eléctrico.

Valor potencial por servicio de mercado



Servicio	Requisito técnico	Valor relativo
Regulación primaria	Respuesta <1s	Alto
Regulación secundaria	Sostenibilidad 15-30min	Medio-alto
Arbitraje energético	Eficiencia round-trip	Medio

Consideración clave: Los sistemas de alto voltaje (1000-1500V) ofrecen mayor eficiencia para arbitraje energético y mayor capacidad para servicios que requieren potencias elevadas.

Integración con Sistemas de Gestión de Edificios

Los sistemas BESS de alto voltaje pueden integrarse con BMS (Building Management Systems) para optimizar el consumo energético:



Gestión de demanda

Coordinación con sistemas HVAC, iluminación y otros consumos para reducir picos de demanda y optimizar autoconsumo solar.



Respaldo de emergencia

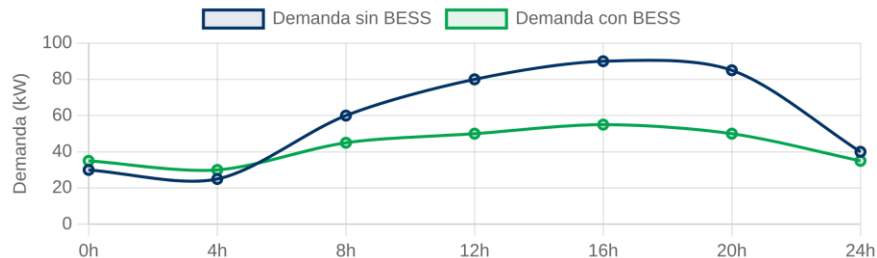
Alimentación de cargas críticas durante cortes de suministro, con transición automática y priorización inteligente de consumos.



Optimización tarifaria

Algoritmos que analizan tarifas eléctricas, previsión de consumo y generación para minimizar costos energéticos del edificio.

Perfil de demanda con y sin BESS



Aplicación	Beneficio principal	ROI estimado
Edificio comercial	Reducción de demanda pico	3-5 años
Centro de datos	Continuidad operativa	2-4 años
Industria	Calidad de energía	3-6 años

Consideración clave: Para aplicaciones en edificios, los sistemas de alto voltaje requieren convertidores específicos y aislamiento reforzado para cumplir normativas de seguridad en entornos ocupados.

Desafíos de Integración de BESS

La integración de sistemas BESS de alto voltaje presenta varios desafíos técnicos y operativos:

Interoperabilidad

Compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes y generaciones, especialmente en protocolos de comunicación y control.

Ciberseguridad

Protección contra amenazas cibernéticas en sistemas críticos conectados a redes, con múltiples puntos de acceso potenciales.

Complejidad operativa

Gestión de múltiples objetivos y restricciones técnicas, a menudo contrapuestos, que requieren algoritmos avanzados de optimización.

Comparativa de enfoques de integración



Desafío

Solución

Interoperabilidad Adopción de estándares abiertos (IEC 61850)

Ciberseguridad Arquitectura de defensa en profundidad

Complejidad Sistemas expertos y machine learning

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, la integración debe considerar aspectos de seguridad eléctrica reforzados y coordinación de protecciones específicas para estos niveles de tensión.

Estrategias de Operación de BESS

La operación eficiente de sistemas BESS de alto voltaje requiere estrategias específicas:

Gestión de estado de carga (SOC)

Mantenimiento del SOC en rangos óptimos para maximizar vida útil y disponibilidad, evitando estados extremos prolongados.

Programación de ciclos

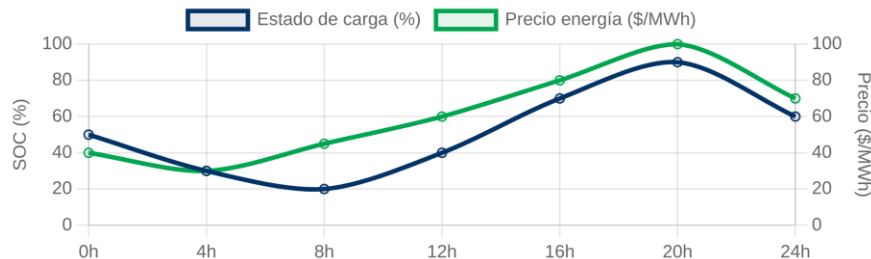
Planificación de ciclos de carga/descarga según previsiones de precios, demanda y generación renovable para maximizar valor.

Balanceo de objetivos

Equilibrio entre objetivos técnicos (vida útil, eficiencia) y económicos (ingresos, servicios) mediante algoritmos de optimización.

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje (1000-1500V), las estrategias operativas deben incluir monitoreo térmico reforzado y gestión de estrés en componentes de aislamiento.

Estrategia de arbitraje energético



Modo operativo	Aplicación principal	Consideración clave
----------------	----------------------	---------------------

Arbitraje	Mercados mayoristas	Eficiencia round-trip
-----------	---------------------	-----------------------

Peak shaving	Industria/comercial	Previsión de demanda
--------------	---------------------	----------------------

Regulación	Servicios auxiliares	Respuesta dinámica
------------	----------------------	--------------------

Monitoreo y Diagnóstico de BESS

El monitoreo continuo y diagnóstico avanzado son esenciales para la operación segura de sistemas BESS de alto voltaje:

Monitoreo térmico

Seguimiento de temperaturas en celdas, módulos y componentes de potencia para detectar anomalías y prevenir thermal runaway.

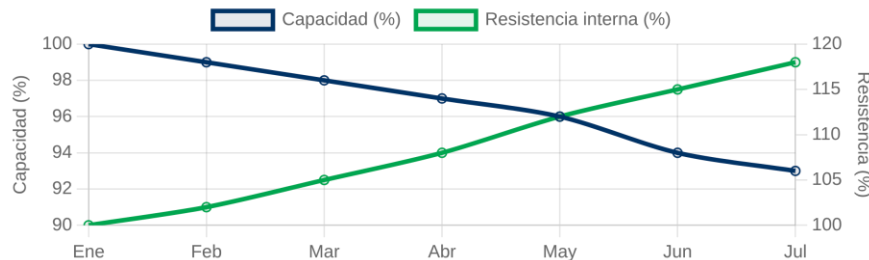
Diagnóstico de estado de salud

Algoritmos que evalúan capacidad, resistencia interna y otros parámetros para determinar degradación y vida útil restante.

Detección de anomalías

Sistemas basados en IA que identifican patrones anormales de comportamiento antes de que se conviertan en fallos críticos.

Evolución de parámetros de salud



Parámetro	Frecuencia	Valor crítico
Temperatura de celda	Continuo	>60°C
Desbalance de voltaje	Cada ciclo	>50mV
Resistencia interna	Semanal	+30% del valor inicial

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, el monitoreo debe incluir aislamiento eléctrico y detección de arcos, con redundancia en sensores críticos.

Mantenimiento Preventivo de BESS

El mantenimiento preventivo es fundamental para garantizar la seguridad y rendimiento de sistemas BESS de alto voltaje:

Inspecciones periódicas

Revisiones visuales y termográficas para detectar signos de deterioro, conexiones sueltas o puntos calientes en componentes.

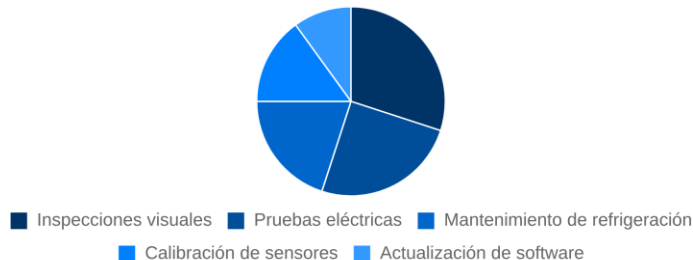
Pruebas eléctricas

Verificación de aislamiento, resistencia de contacto y funcionamiento de protecciones para prevenir fallos eléctricos.

Mantenimiento de sistemas auxiliares

Limpieza y verificación de sistemas de refrigeración, ventilación y control para garantizar su correcto funcionamiento.

Distribución de actividades de mantenimiento



Actividad	Frecuencia	Personal requerido
Inspección visual	Mensual	Técnico general
Termografía	Trimestral	Especialista
Pruebas eléctricas	Semestral	Ingeniero certificado HV

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, el mantenimiento debe realizarse por personal con certificación específica y siguiendo procedimientos de seguridad reforzados.

Mantenimiento Predictivo de BESS

El mantenimiento predictivo utiliza análisis avanzado de datos para anticipar fallos en sistemas BESS de alto voltaje:

Análisis de tendencias

Seguimiento de la evolución de parámetros clave para identificar degradaciones graduales antes de que afecten al rendimiento.

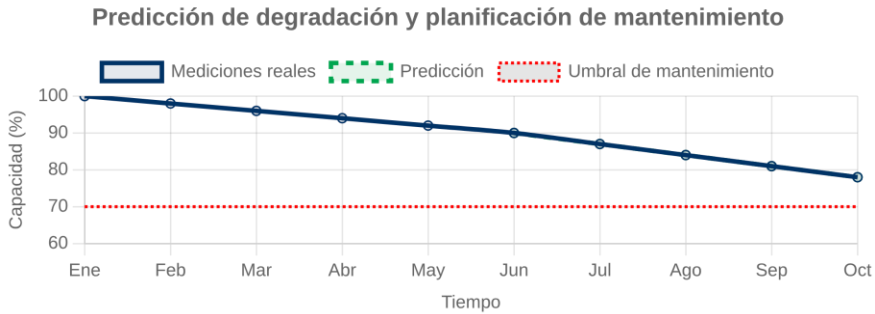
Modelos de vida útil

Algoritmos que predicen la vida restante de componentes basándose en condiciones reales de operación y estrés acumulado.

Mantenimiento basado en condición

Programación de intervenciones según el estado real de los componentes, optimizando recursos y minimizando paradas.

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, el mantenimiento predictivo debe incluir análisis específicos de componentes de aislamiento y conexiones de potencia.



Técnica	Aplicación	Beneficio
Machine Learning	Detección de anomalías	Identificación temprana
Gemelo digital	Simulación de degradación	Predicción precisa
Análisis de impedancia	Evaluación de celdas	Diagnóstico no invasivo

Gestión de Incidentes en BESS

La gestión efectiva de incidentes es crítica para la seguridad y disponibilidad de sistemas BESS de alto voltaje:

⚠️ Protocolos de respuesta

Procedimientos detallados para diferentes tipos de incidentes, con roles y responsabilidades claramente definidos.

🚒 Respuesta a emergencias

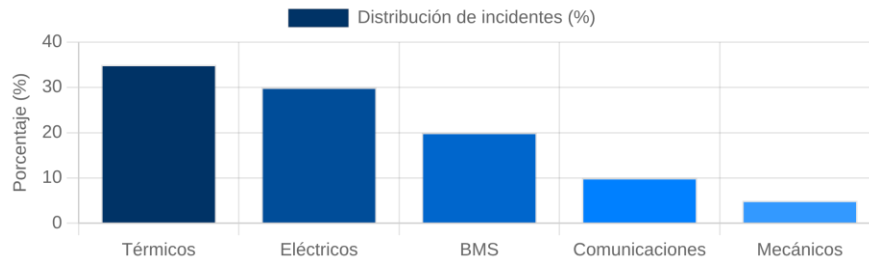
Planes específicos para incidentes críticos como incendios, fugas térmicas o fallos eléctricos, con coordinación con servicios externos.

🔍 Análisis de causa raíz

Metodología estructurada para investigar incidentes, identificar causas fundamentales y prevenir recurrencias.

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, los protocolos de respuesta deben incluir procedimientos específicos de desenergización segura y verificación de ausencia de tensión.

Distribución típica de incidentes en BESS



Tipo de incidente	Tiempo de respuesta	Acción principal
Alarma térmica	Inmediato	Desconexión y refrigeración
Fallo eléctrico	<5 minutos	Aislamiento y diagnóstico
Degradación de rendimiento	<24 horas	Análisis y reconfiguración

Gestión del Ciclo de Vida de BESS

La gestión del ciclo de vida optimiza el valor y rendimiento de sistemas BESS de alto voltaje a lo largo del tiempo:

Estrategias de operación adaptativas

Ajuste de parámetros operativos según la edad del sistema para maximizar valor mientras se preserva la vida útil restante.

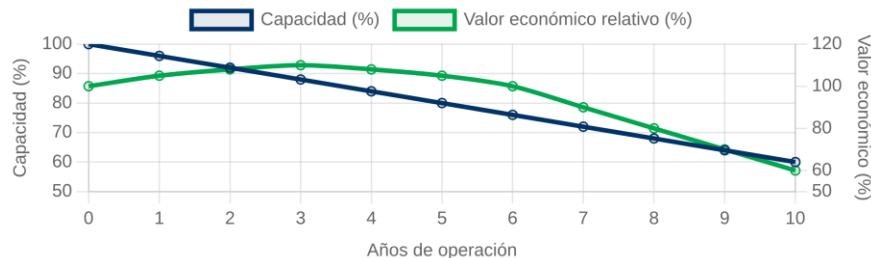
Gestión de degradación

Técnicas para mitigar y compensar la pérdida gradual de capacidad y aumento de resistencia interna con el envejecimiento.

Planificación de fin de vida

Estrategias para reemplazo, repotenciación o reciclaje de componentes al final de su vida útil, minimizando impacto ambiental.

Evolución de capacidad y valor económico



Evolución de capacidad y valor económico		
Etapa	Estrategia principal	Objetivo
Inicial (0-2 años)	Optimización de rendimiento	Maximizar ingresos
Media (3-7 años)	Balance rendimiento/vida	Optimizar ROI
Final (8+ años)	Preservación de capacidad	Extender vida útil

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, la gestión del ciclo de vida debe incluir evaluación periódica de componentes de aislamiento y conexiones de potencia.

Seguridad Operativa en BESS

La seguridad operativa es prioritaria en sistemas BESS de alto voltaje debido a los riesgos inherentes:



Procedimientos de trabajo seguro

Protocolos específicos para operaciones en sistemas de alto voltaje, incluyendo bloqueo/etiquetado y verificación de ausencia de tensión.



Capacitación especializada

Formación continua del personal en riesgos específicos de sistemas BESS de alto voltaje y procedimientos de emergencia.

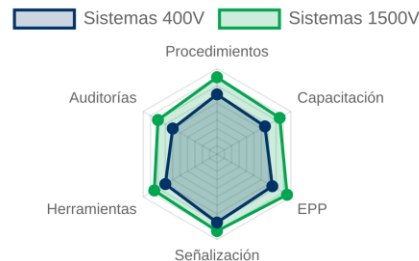


Auditorías de seguridad

Evaluaciones periódicas de cumplimiento de procedimientos, estado de equipos de seguridad y cultura de seguridad del personal.

Consideración clave: Para sistemas de 1000-1500V, se requieren procedimientos específicos de alto voltaje y EPP con clasificación adecuada para estos niveles de tensión.

Requisitos de seguridad por nivel de voltaje



Actividad	Requisito de seguridad	EPP específico
Inspección visual	Capacitación básica	Gafas de seguridad
Mantenimiento eléctrico	Certificación HV	Guantes dieléctricos clase 2
Respuesta a emergencias	Entrenamiento avanzado	Equipo completo + respirador

Optimización de Rendimiento de BESS

La optimización continua del rendimiento maximiza el valor de los sistemas BESS de alto voltaje:

Análisis de rendimiento

Evaluación continua de KPIs operativos como eficiencia, disponibilidad y tasa de degradación para identificar oportunidades de mejora.

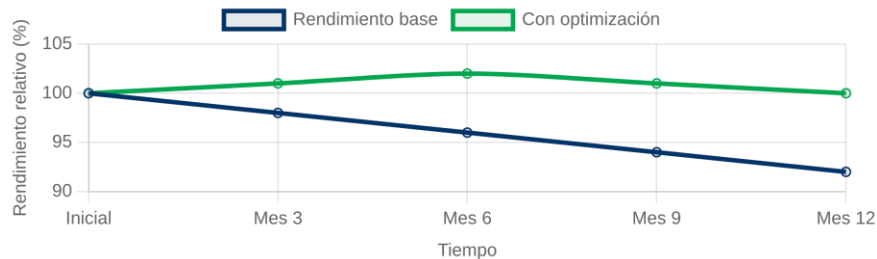
Ajuste de parámetros

Optimización de límites operativos, estrategias de carga/descarga y configuraciones de control para maximizar rendimiento y vida útil.

Actualización de algoritmos

Implementación de mejoras en software de control, estimación de estado y optimización para incorporar avances tecnológicos.

Impacto de la optimización en el rendimiento



Técnica	Beneficio principal	Mejora típica
Balanceo avanzado	Capacidad efectiva	+3-5%
Gestión térmica activa	Vida útil	+10-15%
Optimización de SOC	Eficiencia	+2-4%

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, la optimización debe equilibrar el rendimiento con consideraciones de seguridad específicas para estos niveles de tensión.

Documentación y Registros de BESS

La gestión documental es esencial para la operación segura y eficiente de sistemas BESS de alto voltaje:

Documentación técnica

Manuales, planos, especificaciones y procedimientos actualizados que reflejen la configuración real del sistema y sus componentes.

Registros operativos

Históricos de operación, alarmas, eventos y cambios de configuración que permiten análisis de tendencias y resolución de problemas.

Registros de mantenimiento

Documentación detallada de todas las actividades de mantenimiento, hallazgos, acciones correctivas y piezas reemplazadas.

Consideración clave: Para sistemas de alto voltaje, la documentación debe incluir certificaciones específicas de componentes HV y registros detallados de pruebas dieléctricas.

Distribución de documentación en sistemas BESS



Tipo de documento	Frecuencia de actualización	Responsable
Procedimientos operativos	Anual o tras cambios	Ingeniero de operaciones
Registros de mantenimiento	Tras cada intervención	Técnico de mantenimiento
Análisis de rendimiento	Mensual	Analista de datos

Casos de Estudio: Aplicaciones Utility-Scale

Los sistemas BESS de alto voltaje (1000-1500V) son ideales para aplicaciones a gran escala:

Proyecto Hornsdale Power Reserve (Australia)

Sistema de 150MW/194MWh con baterías de alto voltaje que proporciona servicios de estabilización de frecuencia y respaldo a la red.

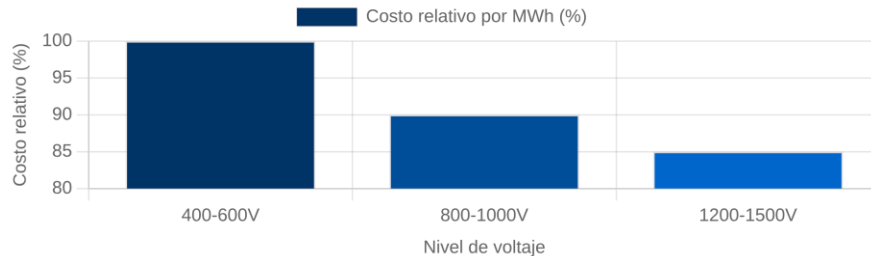
Gateway Energy Storage (EE.UU.)

Sistema de 250MW con arquitectura de 1500V que optimiza la integración de energía renovable en California y proporciona servicios auxiliares.

Minera Escondida (Chile)

Sistema BESS de 1000V y 50MW que mejora la confiabilidad del suministro y reduce costos operativos en operaciones mineras remotas.

Costo relativo por nivel de voltaje en proyectos utility-scale



Proyecto	Voltaje	Beneficio principal
Hornsdale	1000V	Regulación de frecuencia
Gateway	1500V	Integración renovable
Escondida	1000V	Confiabilidad industrial

Lecciones aprendidas: Los proyectos utility-scale con sistemas de alto voltaje demuestran mayor eficiencia y menor costo por MWh instalado, con reducción de hasta 15% en costos de cableado.

Casos de Estudio: Aplicaciones C&I

Los sistemas BESS de alto voltaje también se implementan en entornos comerciales e industriales:

Planta automotriz (México)

Sistema BESS de 5MW/10MWh a 1000V que reduce demanda pico y proporciona respaldo a líneas críticas de producción, con ROI de 4 años.

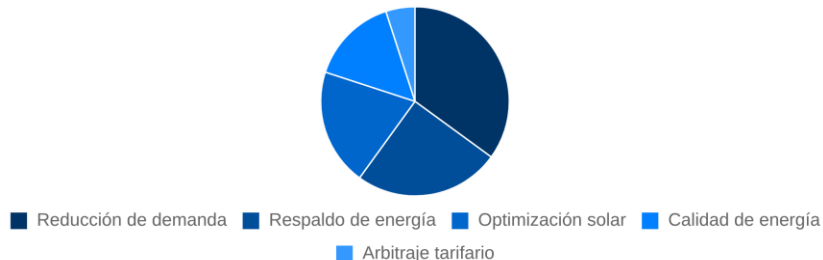
Centro de datos (España)

Sistema de 2MW/4MWh con arquitectura de 800V que mejora la calidad de energía y proporciona respaldo ante microcortes.

Centro comercial con solar (Brasil)

Sistema híbrido solar+BESS de 1.5MW/3MWh que optimiza autoconsumo y reduce costos energéticos en más de 30%.

Distribución de aplicaciones C&I por valor económico



Aplicación	Beneficio principal	ROI típico
Reducción de demanda	Ahorro en tarifas	3-5 años
Calidad de energía	Continuidad operativa	2-4 años
Autoconsumo solar	Optimización energética	4-6 años

Lecciones aprendidas: En aplicaciones C&I, los sistemas de alto voltaje requieren consideraciones adicionales de seguridad y aislamiento, pero ofrecen mayor densidad de energía y eficiencia.

Casos de Estudio: Microrredes

Los sistemas BESS de alto voltaje son componentes clave en microrredes modernas:

Isla de Ta'u (Samoa Americana)

Microrred con 1.4MW solar y 6MWh de almacenamiento a 1000V que proporciona energía 24/7 a una comunidad insular remota.

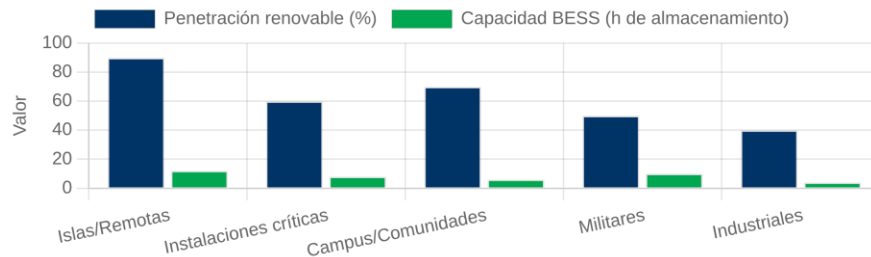
Hospital universitario (Puerto Rico)

Sistema resiliente con 2MW/4MWh BESS que garantiza operación continua de instalaciones críticas durante emergencias y huracanes.

Campus universitario (California)

Microrred con 4MW/8MWh BESS a 1000V integrada con solar y cogeneración que reduce costos y emisiones de carbono.

Características por tipo de microrred



Tipo de microrred	Beneficio principal	Desafío clave
Islas/Remotas	Independencia energética	Durabilidad
Instalaciones críticas	Resiliencia	Confiabilidad
Campus/Comunidades	Sostenibilidad	Optimización

Lecciones aprendidas: En microrredes, los sistemas BESS de alto voltaje deben tener capacidad de formación de red (grid-forming) y control avanzado para gestionar transiciones suaves entre modos de operación.

Tendencias Tecnológicas en BESS

El futuro de los sistemas BESS de alto voltaje estará marcado por importantes avances tecnológicos:

Química de baterías avanzada

Evolución hacia tecnologías de estado sólido, litio-azufre y sodio-ion que ofrecen mayor densidad energética, seguridad y sostenibilidad.

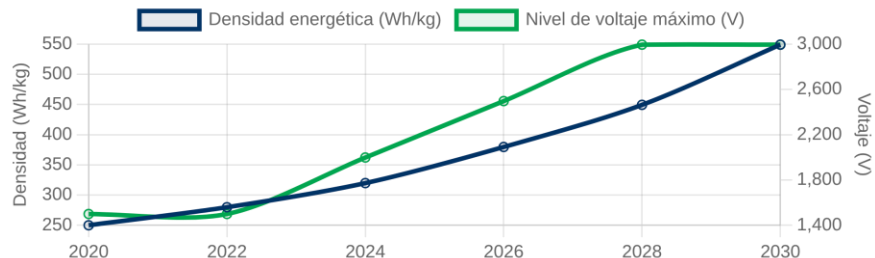
Sistemas de ultra-alto voltaje

Desarrollo de arquitecturas de 2000-3000V para aplicaciones utility-scale que reducen costos de infraestructura y mejoran eficiencia.

BMS con IA integrada

Sistemas de gestión con algoritmos avanzados de aprendizaje automático para optimización predictiva y adaptativa en tiempo real.

Proyección de avances tecnológicos



Tecnología	Horizonte	Impacto potencial
Baterías estado sólido	3-5 años	Seguridad mejorada
Sistemas 3000V	2-4 años	Reducción de costos
BMS con IA	1-3 años	Optimización avanzada

Consideración clave: La evolución hacia voltajes más altos requerirá nuevos estándares de seguridad, componentes especializados y personal con mayor nivel de capacitación.

Tendencias del Mercado de BESS

El mercado de sistemas BESS de alto voltaje muestra tendencias claras de crecimiento y evolución:



Crecimiento acelerado

Proyecciones de crecimiento anual compuesto (CAGR) de 25-30% hasta 2030, impulsado por la transición energética y electrificación.



Reducción de costos

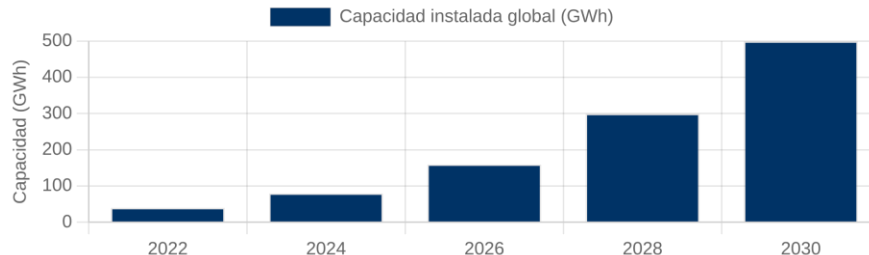
Tendencia continua de reducción de costos, con proyecciones de disminución del 40-50% para 2030 en sistemas de alto voltaje.



Expansión geográfica

Crecimiento más allá de mercados tradicionales (EE.UU., Europa, China) hacia América Latina, Sudeste Asiático y África.

Proyección de capacidad instalada global



Región	CAGR proyectado	Impulsores principales
América del Norte	25%	Resiliencia de red
Europa	30%	Integración renovable
Asia-Pacífico	35%	Electrificación

Consideración clave: Los sistemas de alto voltaje (1000-1500V) dominarán el segmento utility-scale, representando más del 80% del mercado en capacidad instalada para 2030.

Desafíos y Oportunidades en BESS

Desafíos

Seguridad y certificación

Desarrollo de estándares específicos para sistemas de ultra-alto voltaje y nuevas tecnologías de baterías.

Sostenibilidad y reciclaje

Establecimiento de cadenas de valor circulares para recuperación de materiales y reducción de impacto ambiental.

Capacitación especializada

Formación de personal técnico con competencias específicas para sistemas de alto voltaje y nuevas tecnologías.

Marco regulatorio

Adaptación de normativas para facilitar la integración de sistemas BESS en mercados eléctricos y valorar todos sus servicios.

Oportunidades

Descarbonización acelerada

Habilitación de mayor penetración renovable y electrificación de sectores industriales y de transporte.

Nuevos modelos de negocio

Desarrollo de servicios de flexibilidad, almacenamiento como servicio y aplicaciones de valor agregado.

Desarrollo industrial

Creación de cadenas de valor locales para fabricación de componentes y sistemas completos.

Resiliencia energética

Fortalecimiento de infraestructura crítica y comunidades frente a eventos climáticos extremos y interrupciones.

El futuro de los sistemas BESS de alto voltaje dependerá de la capacidad de la industria para superar estos desafíos y aprovechar las oportunidades emergentes, con un enfoque en innovación, colaboración y sostenibilidad.

Conclusiones

Ventajas del alto voltaje

Los sistemas BESS de alto voltaje (400-1500V) ofrecen ventajas significativas en eficiencia, densidad de potencia y costos para aplicaciones a gran escala, con reducción de pérdidas y optimización de infraestructura.

Seguridad como prioridad

El diseño de sistemas de alto voltaje requiere consideraciones específicas de seguridad, incluyendo aislamiento reforzado, protecciones coordinadas y gestión térmica avanzada para prevenir eventos de propagación.

Integración de sistemas

El éxito de los sistemas BESS depende de una integración efectiva de componentes eléctricos, térmicos, mecánicos y de control, con especial atención a la interoperabilidad y escalabilidad.

Futuro prometedor

La evolución hacia sistemas de mayor voltaje, nuevas químicas de baterías y algoritmos avanzados de control posicionan a los BESS como componentes fundamentales de la transición energética global.

Contacto

 baezfranco@yahoo.com.mx

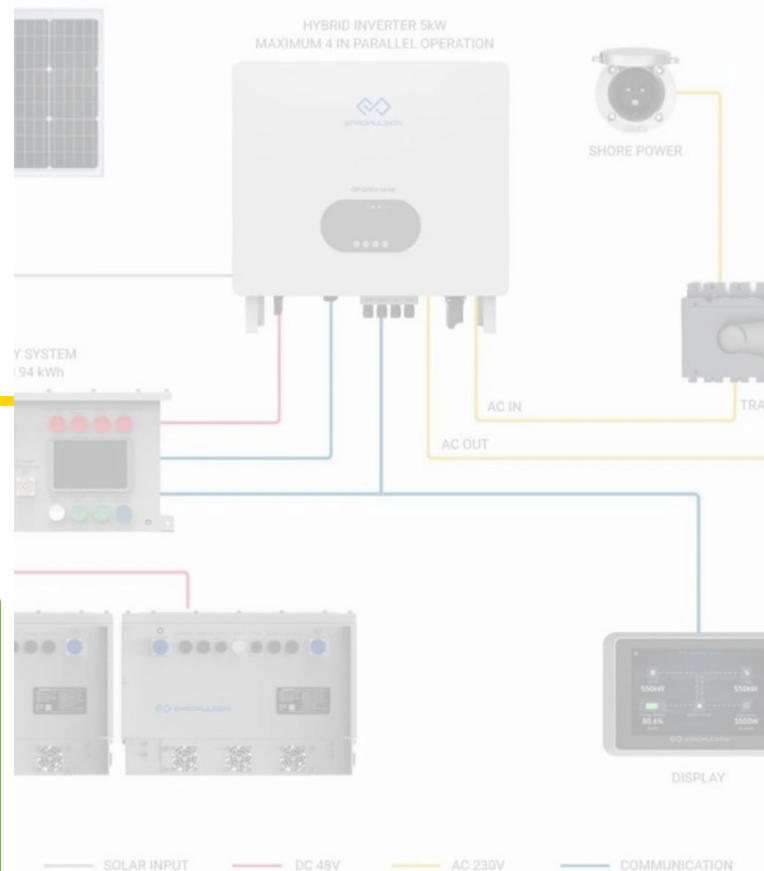
 +52 378 111 38 00

Diseño de bancos de baterías a 48 VCD

Fundamentos, aplicaciones y Casos de estudio



2025

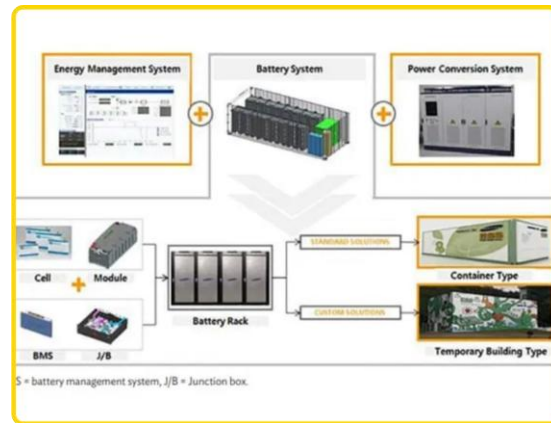


Introducción a los Sistemas BESS

BESS (Battery Energy Storage System) es un sistema integrado que almacena energía eléctrica en baterías para su posterior uso, proporcionando flexibilidad y estabilidad a la red eléctrica.

Importancia en el Contexto Energético Actual

- ⚡ **Integración de Renovables:** Facilita la incorporación masiva de energías solar y eólica al compensar su intermitencia natural.
- 📉 **Estabilización de Red:** Proporciona servicios auxiliares como regulación de frecuencia y control de voltaje.
- 🕒 **Gestión de Demanda:** Permite almacenar energía en horas de baja demanda y liberarla en picos de consumo.
- 🛡️ **Respaldo Energético:** Garantiza continuidad del suministro eléctrico en caso de interrupciones de la red.



Componentes Principales de un Sistema BESS

Baterías (Núcleo del Sistema)

Almacenan la energía eléctrica en forma química. En sistemas de 48V, las baterías LFP proporcionan alta densidad energética, larga vida útil y excelente estabilidad térmica.

Sistema de Gestión de Baterías (BMS)

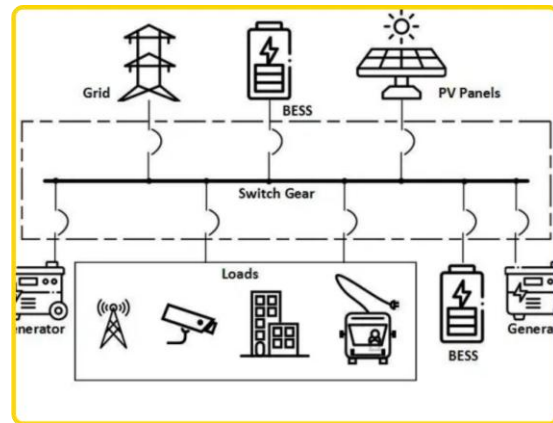
Monitorea y controla parámetros críticos como voltaje, corriente, temperatura y estado de carga. Garantiza operación segura y optimiza la vida útil de las baterías.

Inversores/Convertidores

Realizan la conversión bidireccional entre corriente continua (DC) de las baterías y corriente alterna (AC) de la red eléctrica, controlando el flujo de energía.

Sistemas Auxiliares

Incluyen refrigeración, protecciones eléctricas, sistemas de control y monitoreo remoto, garantizando operación óptima y segura del conjunto.



Baterías LFP: Características y Ventajas

04

¿Qué son las baterías LFP?

Las baterías de Litio-Ferrofosfato (LiFePO_4 o LFP) utilizan fosfato de hierro y litio como material catódico, ofreciendo mayor estabilidad térmica y química que otras tecnologías de litio.

✓ Ventajas Principales

🛡️ Alta Seguridad:

Extremadamente estable térmicamente, resistente al fuego.

🕒 **Larga Vida Útil:** 2,000-7,000 ciclos de carga/descarga.

⚡ **Alta Tasa de Descarga:** Capacidad para entregar altas corrientes.

🌿 **Ecológicas:** No contienen cobalto ni metales pesados tóxicos.

⚡ Aplicabilidad en Sistemas de 48V

Los sistemas de 48V con baterías LFP son ideales para:

- ✓ Almacenamiento residencial
- ✓ Sistemas de telecomunicaciones
- ✓ Respaldo para infraestructura
- ✓ Integración con renovables



Batería LiFePO_4 de 48V 120Ah para almacenamiento energético

Sistemas BESS de 48 VCD

05

⚡ ¿Por qué 48 VCD?

Los sistemas de almacenamiento de energía de 48 voltios de corriente continua representan un estándar ampliamente adoptado en múltiples industrias por su equilibrio óptimo entre seguridad, eficiencia y aplicabilidad.

✓ Ventajas Técnicas

🛡️ **Seguridad:** Por debajo del umbral de 60V considerado como baja tensión, reduciendo riesgos eléctricos y requisitos de aislamiento.

⚙️ **Eficiencia:** Menor pérdida por resistencia en comparación con sistemas de 12V o 24V, permitiendo cables más delgados para la misma potencia.

📶 **Compatibilidad:** Estándar en telecomunicaciones, energía solar y sistemas de respaldo, facilitando integración con equipos comerciales.

⚡ **Escalabilidad:** Facilita configuraciones serie-paralelo para adaptarse a diferentes requerimientos de capacidad y potencia.

🏠 Aplicaciones Principales

Telecomunicaciones, sistemas fotovoltaicos residenciales, microrredes, respaldo para instalaciones críticas y aplicaciones de movilidad eléctrica ligera.



Dimensionamiento de Sistemas BESS

06

El dimensionamiento adecuado de un sistema BESS de 48V es crucial para garantizar que cumpla con los requisitos específicos, optimizando costos y rendimiento.

Factores Clave a Considerar

Demanda Energética

Análisis del perfil de consumo, potencia pico y energía total requerida.

Autonomía Requerida

Tiempo de operación sin recarga externa en condiciones críticas.

Factores de Seguridad

Sobredimensionamiento para compensar degradación e ineficiencias.

Condiciones Ambientales

Temperatura, humedad y otros factores que afectan el rendimiento.

Proceso de Dimensionamiento

- 1 Cálculo de energía diaria requerida (kWh/día)
- 2 Determinación de capacidad nominal considerando DoD
- 3 Configuración serie-paralelo para 48V
- 4 Selección de componentes auxiliares



Cálculo de Capacidad de Baterías

📊 Fórmula Principal

$$C_{Ah} = \frac{E_{diaria} \times D_{autonomia}}{V_{sistema} \times DOD \times \eta}$$

Donde:

C Capacidad de la batería en Amperios-hora (Ah)

E Energía diaria requerida en Watt-hora (Wh)

D Días de autonomía deseados

V Voltaje del sistema (48V)

DOD Profundidad de descarga máxima (0.5-0.8 para LFP)

η Eficiencia del sistema (típicamente 0.85-0.95)

Consideraciones Adicionales

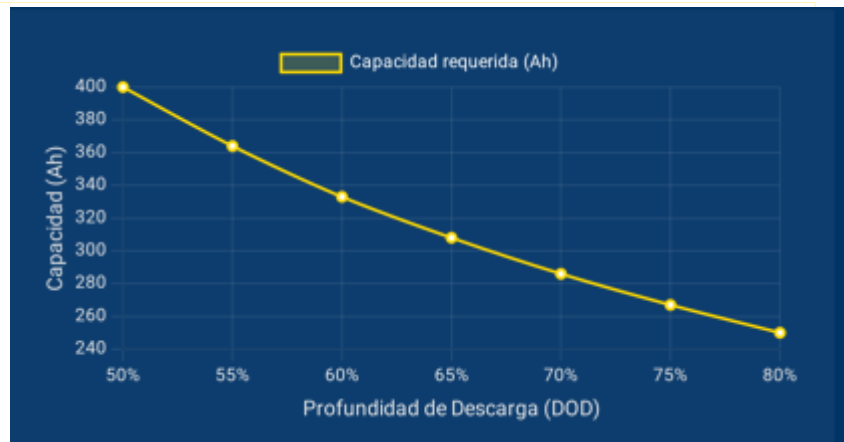
Aplicar factor de corrección por temperatura (0.8-1.0)

Considerar degradación a lo largo de la vida útil (20-30%)

Incluir factor de seguridad (1.1-1.25) para demandas imprevistas

Verificar compatibilidad con corrientes de carga/descarga

Relación entre Capacidad y Variables Críticas



Ejemplo de Cálculo

Para una demanda diaria de 5 kWh, 2 días de autonomía, DOD de 0.7 y eficiencia de 0.9:

$$C_{Ah} = \frac{5000 \times 2}{48 \times 0.7 \times 0.9} \approx 331 \text{ Ah}$$

Sistemas de Gestión de Baterías (BMS) para 48V

El BMS es el **cerebro del sistema BESS** , especialmente crítico en configuraciones de 48V con baterías LFP para garantizar seguridad, rendimiento y longevidad.

Protecciones Críticas

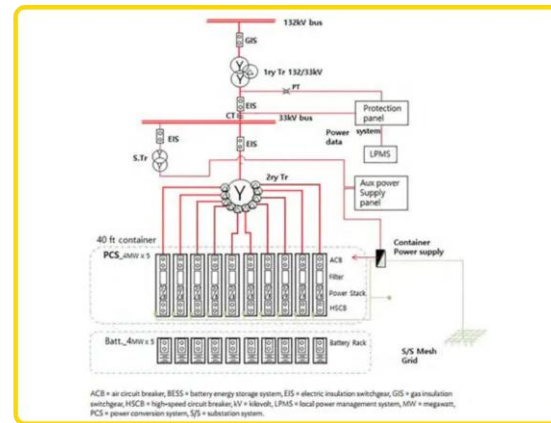
Monitoreo continuo contra sobrecarga, sobredescarga, sobrecorriente y cortocircuito. En sistemas de 48V, implementa desconexión automática ante condiciones peligrosas.

Balanceo de Celdas

Equalización activa o pasiva entre celdas para mantener voltajes uniformes. Especialmente importante en baterías LFP de 48V que requieren precisión de $\pm 0.01V$ por celda.

Control Térmico

Gestión de temperatura para mantener operación entre 0°C y 45°C, activando sistemas de refrigeración o calefacción según necesidad para optimizar rendimiento y vida útil.



Estimación de Estado

Cálculo preciso de SOC (Estado de Carga), SOH (Estado de Salud) y SOF (Estado de Función) mediante algoritmos avanzados adaptados a la química LFP.

Integración con Inversores y Convertidores

Los inversores y convertidores son componentes críticos que determinan la **eficiencia y versatilidad** de los sistemas BESS de 48V, permitiendo la interacción con cargas AC y otras fuentes de energía.

↔ Inversores Híbridos

Permiten la integración de múltiples fuentes (red, solar, baterías) y optimizan el flujo de energía. Ideales para sistemas BESS de 48V en aplicaciones residenciales.

🔌 Inversores Off-Grid

Diseñados para sistemas autónomos, con capacidad de arranque en negro y gestión avanzada de baterías LFP de 48V.

↻ Convertidores DC-DC

Adaptan el voltaje de 48V a otros niveles requeridos por equipos específicos, manteniendo alta eficiencia y aislamiento galvánico.

Consideraciones de Integración

- ✓ Compatibilidad con BMS
- ✓ Eficiencia >95%
- ✓ Capacidad de sobrecarga
- ✓ Respuesta dinámica

Aplicación: Sistemas Residenciales

Los sistemas BESS de 48V son óptimos para aplicaciones residenciales, permitiendo almacenar energía solar durante el día para su uso nocturno, reducir costos eléctricos y proporcionar respaldo ante cortes.

🏠 Caso de Estudio: Vivienda Unifamiliar

⚡ **Consumo:** 12-15 kWh/día

🏠 **Sistema FV:** 5 kWp



Aplicación: Sistemas Comerciales

11

Caso de Estudio: Centro Comercial

⚡ **Demanda pico:** 120 kW durante 6 horas diarias

🔋 **Consumo promedio diario:** 560 kWh

🏠 **Integración:** Sistema fotovoltaico de 80 kWp



Topologías de Sistemas BESS de 48V

13

La selección de la topología adecuada es fundamental para optimizar el rendimiento, confiabilidad y escalabilidad de los sistemas BESS de 48V.

Topología Centralizada

Un único banco de baterías de 48V con BMS centralizado y sistema de conversión común.

Ventajas: Menor costo, control simplificado. **Desventajas:** Punto único de falla.

Topología Distribuida

Múltiples módulos de 48V independientes con BMS individuales conectados en paralelo.

Ventajas: Alta redundancia, escalabilidad modular. **Desventajas:** Mayor complejidad.



Conexiones Serie-Paralelo en Baterías LFP

Las configuraciones serie-paralelo permiten adaptar las celdas LFP individuales (3.2V) para crear sistemas BESS de 48V con la capacidad y redundancia requeridas.

🔗 Conexión en Serie

Para sistemas de 48V, se requieren 15-16 celdas LFP (3.2V) en serie. El voltaje total es la suma de los voltajes individuales, mientras que la capacidad (Ah) se mantiene constante.

🔌 Conexión en Paralelo

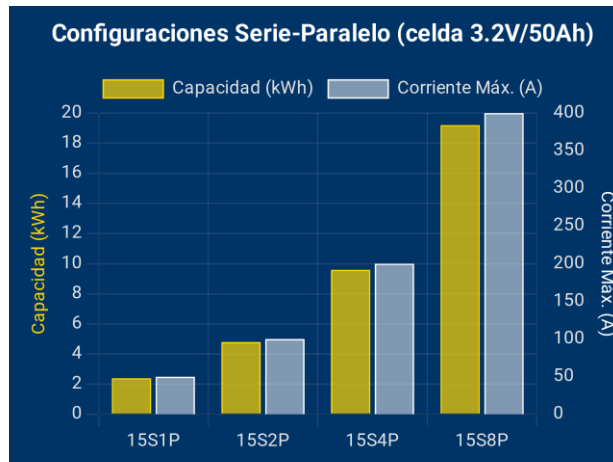
Conecta múltiples cadenas de 48V para aumentar la capacidad total. La capacidad (Ah) se suma, mientras que el voltaje se mantiene constante en 48V.

⚖️ Consideraciones de Balanceo

Las conexiones serie requieren balanceo activo entre celdas para evitar sobrecarga/sobredescarga. Las conexiones paralelo necesitan equalización de corriente para prevenir circulación parásita.

Fórmula para Configuración 48V

- Número de celdas en serie = $48V \div 3.2V = 15$ celdas
- Número de cadenas en paralelo = $\text{Capacidad total (Ah)} \div \text{Capacidad de celda (Ah)}$



Comparativa de configuraciones serie-paralelo para sistemas BESS de 48V

Sistemas de Protección para BESS de 48V

Los sistemas BESS de 48V requieren múltiples capas de protección para garantizar la seguridad operativa, prevenir daños en componentes y mitigar riesgos potenciales asociados con el almacenamiento de energía.

⚡ Protecciones Eléctricas

Dispositivos que interrumpen el flujo de corriente ante condiciones anómalas, protegiendo contra sobrecorrientes, cortocircuitos y sobretensiones.

- Fusibles DC clase R/J (80-125A)
- Interruptores termomagnéticos
- Descargadores de sobretensión
- Contactores de aislamiento

🔧 Protecciones Electrónicas (BMS)

Monitoreo y control activo mediante sistemas electrónicos que detectan condiciones peligrosas y actúan preventivamente.

- Limitación de corriente
- Corte por sobrecarga
- Protección contra sobredescarga
- Monitoreo térmico

🛡️ Protecciones Físicas

Barreras y sistemas que contienen y mitigan los efectos de fallos catastróficos, protegiendo el entorno y personal.

- Gabinetes ignífugos
- Sistemas de extinción
- Aislamiento IP54/IP65
- Ventilación controlada



Sistemas de Refrigeración y Control Térmico

El control térmico es crítico en sistemas BESS de 48V con baterías LFP, ya que la temperatura afecta directamente la seguridad, eficiencia, vida útil y rendimiento del sistema. El rango óptimo de operación es 15-35°C.

Refrigeración Pasiva

Utiliza convección natural y disipadores térmicos sin componentes móviles. Ideal para sistemas pequeños y medianos con densidad de potencia moderada. Ventajas: silencioso, sin mantenimiento, confiable.

Refrigeración Activa por Aire

Emplea ventiladores para forzar el flujo de aire a través del sistema. Adecuado para sistemas de media y alta potencia. Requiere filtros y mantenimiento periódico para evitar acumulación de polvo.

Refrigeración Líquida

Utiliza fluidos refrigerantes para extraer calor. Necesaria para sistemas de alta densidad de potencia. Mayor eficiencia térmica pero incrementa complejidad, costo y riesgo de fugas.

Consideraciones de Diseño

📊 Monitoreo de temperatura en múltiples puntos

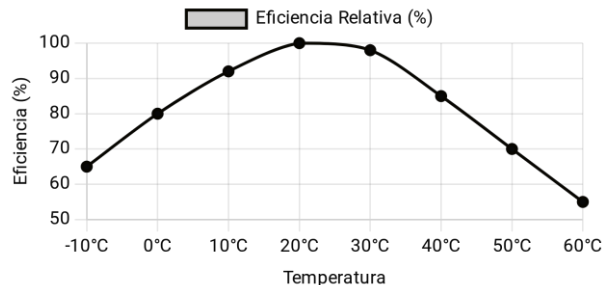
🔄 Distribución térmica uniforme

⚠️ Sistemas de alerta y corte térmico

📈 Dimensionamiento para picos de carga



Eficiencia vs. Temperatura en Baterías LFP



Seguridad en Sistemas BESS de 48V

17

La seguridad es un aspecto crítico en el diseño, instalación y operación de sistemas BESS de 48V. Aunque las baterías LFP son inherentemente más seguras que otras químicas de litio, se requieren medidas específicas para mitigar riesgos potenciales.

Riesgos Principales

-  Sobrecalentamiento y embalamiento térmico
-  Cortocircuitos y arcos eléctricos
-  Fugas de electrolito
-  Sobrepresión en celdas

Medidas Preventivas

-  BMS con múltiples niveles de protección
-  Aislamiento y separación de celdas
-  Materiales ignífugos en gabinetes
-  Sistemas de detección temprana

Protocolo de Emergencia

-  Desconexión inmediata del sistema mediante interruptores de emergencia
-  Uso de extintores clase D o agentes específicos para baterías de litio
-  Evacuación y ventilación del área afectada

Sistemas de Monitoreo y Control

Los sistemas de monitoreo y control son componentes críticos en BESS de 48V, permitiendo supervisión en tiempo real, detección temprana de anomalías y optimización del rendimiento durante toda la vida útil del sistema.

Parámetros Críticos Monitoreados

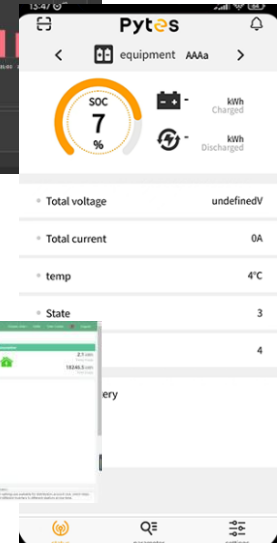
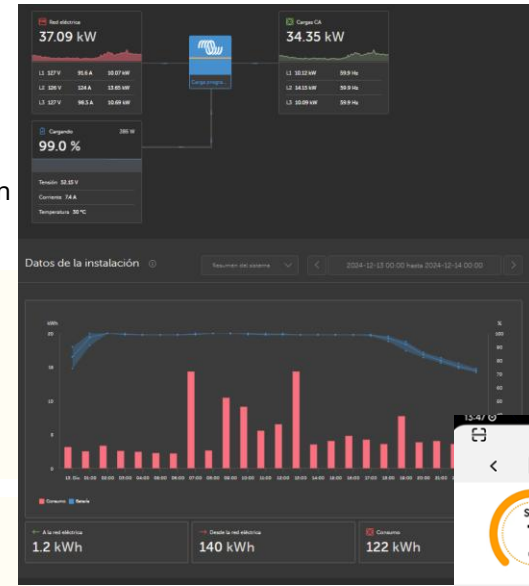
- ⚡ Voltaje (total y por celda)
- 🔌 Corriente de carga/descarga
- 🌡️ Temperatura (múltiples puntos)
- 🔋 Estado de carga (SOC)
- 💓 Estado de salud (SOH)
- ⚖️ Balanceo entre celdas

Tecnologías de Comunicación

- 📡 Modbus RTU/TCP
- 📶 CAN Bus
- 🌐 Ethernet Industrial
- 📶 Comunicación inalámbrica

Sistemas de Control Avanzados

Los sistemas modernos incorporan algoritmos predictivos y aprendizaje automático para optimizar la operación, predecir fallos y extender la vida útil mediante estrategias de carga/descarga adaptativas basadas en condiciones reales.



Normativas y Estándares Aplicables

El diseño e implementación de sistemas BESS de 48V debe cumplir con diversas normativas y estándares internacionales que garantizan la seguridad, compatibilidad y rendimiento de estos sistemas.

⚡ Seguridad Eléctrica

IEC 62619: Seguridad de baterías Li-ion

UL 1973: Baterías para aplicaciones estacionarias

IEC 62477-1: Convertidores electrónicos

UL 1741: Inversores y controladores

🔋 Almacenamiento de Energía

IEC 62933: Sistemas de almacenamiento

IEEE 1547: Interconexión con la red

IEC 61427: Acumuladores para SFCR

UL 9540: Sistemas de almacenamiento

🔥 Protección contra Incendios

NFPA 855: Instalación de BESS

UL 9540A: Pruebas de propagación térmica

IEC 62897: Requisitos de protección

IFC 2018: Código internacional de incendios

↔ Comunicación y Control

IEC 61850: Comunicación en subestaciones

Modbus: Protocolo de comunicación industrial

SunSpec: Estándares para energía solar

CAN/CANopen: Comunicación entre BMS



Los sistemas BESS de 48V son ideales para infraestructuras de telecomunicaciones, proporcionando respaldo crítico para estaciones base, torres de transmisión y centros de datos, garantizando operación continua durante interrupciones eléctricas.

📶 Caso de Estudio: Estación Base Remota

⚡ **Consumo:** 2.5-4 kW continuo

🏠 **Sistema FV:** 2 kWp

🔋 **Consumo promedio diario:** 59.2 kWh

🕒 **Autonomía:** 24h sin recarga

✅ Consideraciones Específicas

🌡️ **Temperatura:** -20°C a +55°C

🛡️ **Protección:** IP65 mínimo

📶 **Monitoreo:** Remoto 24/7

🔧 **Mantenimiento:** Mínimo anual

⚠️ **Nota crítica:** tiempo de transferencia 0 ms para garantizar operación ininterrumpida.

Aplicación: Integración con Energías Renovables

17

Los sistemas BESS de 48V son ideales para la integración con fuentes de energía renovable, permitiendo almacenar el excedente de generación para su uso posterior, estabilizando la producción intermitente y maximizando el autoconsumo.

Integración con Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas BESS de 48V permiten almacenar la energía solar generada durante el día para su uso nocturno. La compatibilidad directa con inversores solares de 48V simplifica la integración y reduce costos de conversión.

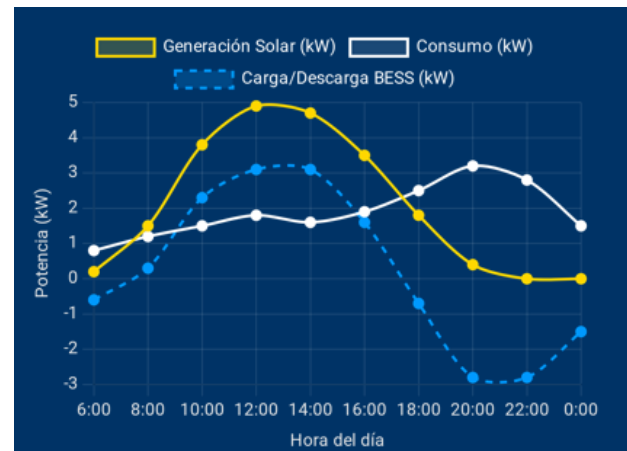
Integración con Sistemas Eólicos de Pequeña Escala

Los aerogeneradores de pequeña potencia (1-5kW) con salida de 48V DC pueden conectarse directamente a sistemas BESS, almacenando energía durante periodos de viento para uso en momentos de calma.

Sistemas Híbridos Renovables

La combinación de múltiples fuentes renovables con BESS de 48V permite crear sistemas más resilientes y con mayor factor de capacidad, aprovechando la complementariedad estacional y diaria de diferentes recursos.

- ✓ Aumento del autoconsumo (70-90%)
- ✓ Reducción de picos de demanda
- ✓ Estabilización de frecuencia
- ✓ Respaldo ante intermitencia



Optimización del aprovechamiento de energía solar con sistema BESS de 48V

Cálculo de Eficiencia en Sistemas BESS de 48V

17

La eficiencia energética es un parámetro crítico en sistemas BESS de 48V, ya que determina la cantidad real de energía disponible respecto a la almacenada. Los sistemas modernos con baterías LFP alcanzan eficiencias de ciclo completo entre 85% y 95%.

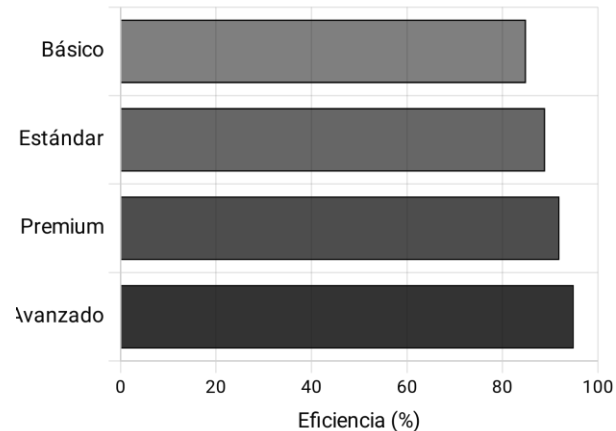
Fórmulas de Eficiencia

$$\eta_{\text{ciclo}} = (E_{\text{descarga}} / E_{\text{carga}}) \times 100\%$$

$$\eta_{\text{RT}} = \eta_{\text{carga}} \times \eta_{\text{descarga}} \times \eta_{\text{almacenamiento}}$$

Donde η_{RT} es la eficiencia round-trip (ciclo completo), que considera las pérdidas en cada etapa del proceso.

- Temperatura:** La eficiencia óptima se alcanza entre 20-30°C. Por debajo de 10°C o por encima de 40°C, la eficiencia puede reducirse hasta un 15%.
- Tasa C:** Tasas de carga/descarga elevadas (>0.5C) reducen la eficiencia debido al aumento de la resistencia interna y generación de calor.
- Electrónica de potencia:** Los convertidores DC-DC e inversores introducen pérdidas adicionales (2-5% cada uno), afectando la eficiencia global del sistema.
- Estado de carga (SOC):** La eficiencia es máxima en el rango medio (30-70% SOC) y disminuye en los extremos del rango de carga.



Comparativa de eficiencia round-trip en diferentes configuraciones de sistemas BESS de 48V

Análisis de Demanda Energética

25

El análisis de demanda energética es fundamental para el dimensionamiento correcto de sistemas BESS de 48V, permitiendo identificar patrones de consumo, picos de demanda y requerimientos de autonomía específicos para cada aplicación.

📈 Demanda Base (Carga Continua)

Consumo constante y predecible que representa el nivel mínimo de energía requerido durante las 24 horas. Típicamente 40-60% del consumo total.

⚠️ Demanda Pico (Carga Máxima)

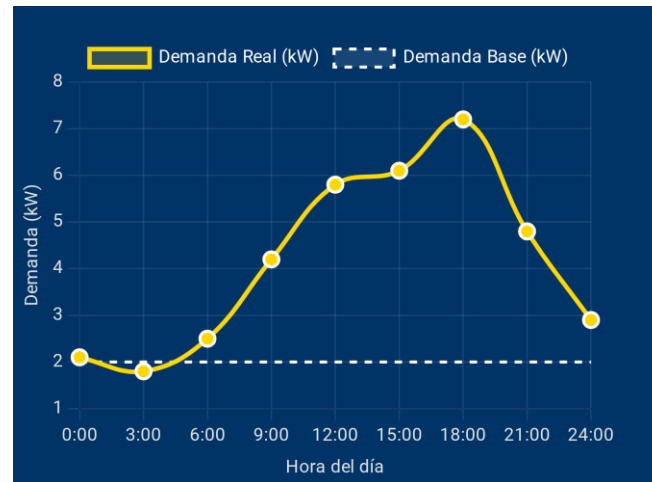
Consumo máximo instantáneo que puede ser 2-5 veces superior a la demanda base. Determina la potencia máxima del sistema BESS.

📊 Demanda Variable (Carga Intermitente)

Consumo fluctuante según horarios, estaciones o actividades específicas. Requiere análisis estadístico para dimensionamiento óptimo.

Metodología de Análisis

- 1 Medición de consumo histórico
- 2 Identificación de patrones
- 3 Análisis estadístico de datos
- 4 Proyección de crecimiento



Perfil típico de demanda energética diaria para aplicación comercial

Cálculo de Autonomía

26

La autonomía de un sistema BESS de 48V representa el tiempo que puede suministrar energía a las cargas sin recarga externa. Su cálculo preciso es esencial para garantizar la continuidad del servicio durante interrupciones eléctricas.

Fórmula Básica de Autonomía

$$t = (C \times V \times \text{DOD} \times \eta) / P$$

Donde: t = tiempo (h), C = capacidad (Ah), V = voltaje (48V), DOD = profundidad de descarga (0.8-0.9 para LFP), η = eficiencia del sistema (0.85-0.95), P = potencia de carga (W)

Ejemplo Práctico

Sistema: 48V 200Ah LFP, Carga: 2000W

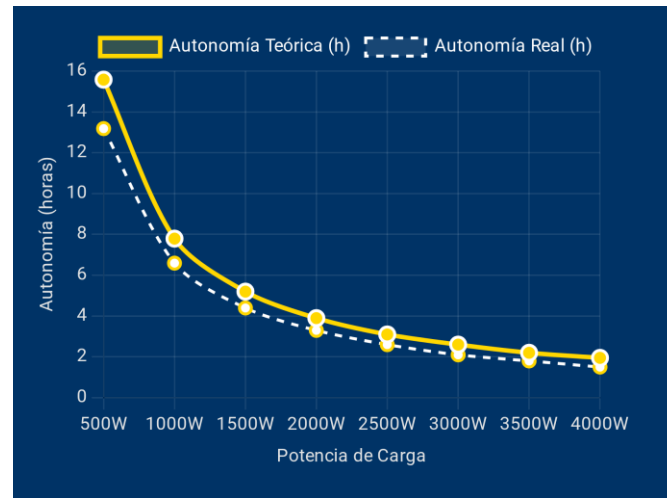
$$t = (200 \times 48 \times 0.9 \times 0.9) / 2000 = 3.89 \text{ h}$$

Temperatura Ambiente

Temperaturas bajas reducen la capacidad efectiva hasta 20% a -10°C

Envejecimiento de Baterías

La capacidad se reduce 2-3% anual, afectando la autonomía real



Autonomía vs. Potencia de carga para sistema BESS 48V 200Ah

Cálculo de Demanda Energética

El cálculo preciso de la demanda energética es fundamental para dimensionar correctamente un sistema BESS de 48V, evitando tanto el sobredimensionamiento costoso como el subdimensionamiento que compromete la funcionalidad.

Metodología de Cálculo

$$E_{\text{diaria}} = \sum (P_i \times t_i) \times F_s \times F_c$$

Donde: E_{diaria} = energía diaria (Wh), P_i = potencia de cada carga (W), t_i = tiempo de uso diario (h), F_s = factor de simultaneidad (0.5-0.8), F_c = factor de crecimiento (1.2-1.5)

- Factor de Simultaneidad:** Considera que no todas las cargas operan simultáneamente. Típicamente 0.6-0.7 para residencial, 0.7-0.8 para comercial.
- Factor de Crecimiento:** Prevé el aumento futuro de la demanda. Recomendado 20-30% para 5 años.
- Factor de Temperatura:** Ajusta la capacidad según condiciones ambientales. Reducción de 1% por cada °C sobre 25°C.

Ejemplo Práctico

Sistema residencial con consumo diario de 12 kWh, factor de simultaneidad 0.7, factor de crecimiento 1.3:

$$E_{\text{dimensionada}} = 12 \text{ kWh} \times 0.7 \times 1.3 = 10.92 \text{ kWh}$$

Para sistema BESS 48V con DOD 80% y eficiencia 90%:

$$\text{Capacidad} = 10920 \text{ Wh} \div (48\text{V} \times 0.8 \times 0.9) = 316 \text{ Ah}$$



Comparativa de demanda calculada vs. real en diferentes escenarios

Autonomía en Sistemas BESS de 48V

La autonomía es un parámetro crítico en sistemas BESS de 48V que determina el tiempo durante el cual el sistema puede suministrar energía a las cargas sin recibir recarga externa. Su optimización requiere equilibrar capacidad, costo y vida útil.

Capacidad Nominal vs. Efectiva

La capacidad efectiva disponible es menor que la nominal debido a factores como temperatura, tasa de descarga y envejecimiento. Para baterías LFP, considerar 85-90% de la capacidad nominal.

Profundidad de Descarga (DOD)

Las baterías LFP permiten DOD de 80-90% sin afectar significativamente su vida útil. Limitar la DOD aumenta la longevidad pero reduce la autonomía disponible.

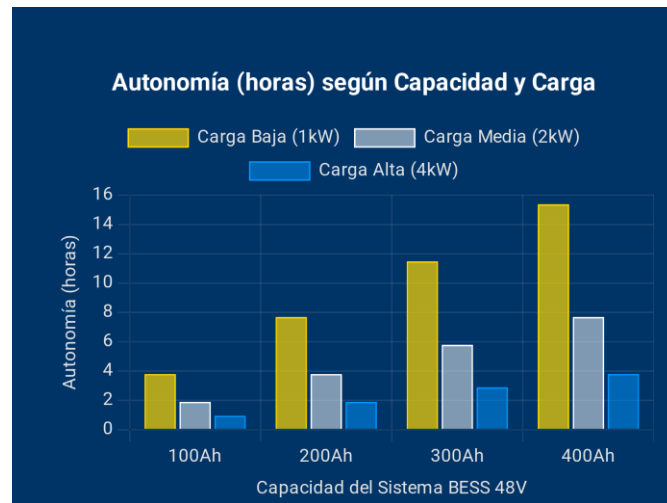
Perfil de Carga Variable

La autonomía real varía según el perfil de consumo. Sistemas con cargas variables deben dimensionarse para el escenario más desfavorable o implementar gestión de cargas.

Optimización de Autonomía

Para maximizar la relación costo-beneficio, se recomienda:

- Dimensionar para 80% de la demanda pico
- Implementar gestión inteligente de cargas
- Considerar hibridación con generadores para autonomías extendidas



Comparativa de autonomía para diferentes configuraciones de sistemas BESS de 48V

Vida Útil y Degradación de Baterías

La vida útil de las baterías LFP en sistemas BESS de 48V se define típicamente como el tiempo hasta que la capacidad se reduce al 80% de su valor nominal. Las baterías LFP modernas ofrecen entre 3,000-6,000 ciclos completos o 7-15 años de operación bajo condiciones óptimas.

🔧 Temperatura de Operación

Temperaturas elevadas ($>35^{\circ}\text{C}$) aceleran la degradación química. Cada 10°C por encima de 25°C reduce la vida útil aproximadamente un 50%.

🔋 Profundidad de Descarga (DOD)

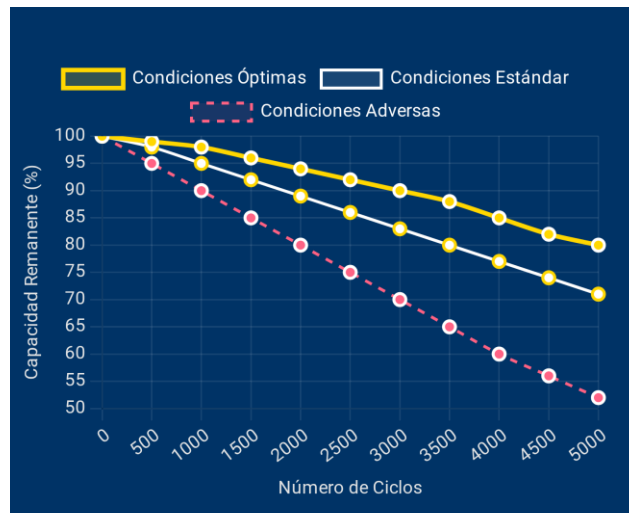
Ciclos profundos ($>80\%$ DOD) reducen la vida útil. Limitar la descarga al 70-80% puede duplicar el número de ciclos disponibles.

⚡ Tasa de Carga/Descarga

Corrientes elevadas ($>0.5\text{C}$) generan estrés térmico y mecánico en las celdas. Tasas moderadas (0.2-0.3C) maximizan la longevidad.

Estrategias para Maximizar la Vida Útil

- ✓ Control térmico activo ($20\text{-}25^{\circ}\text{C}$)
- ✓ Balanceo de celdas preciso
- ✓ Limitación de DOD al 70-80%
- ✓ Algoritmos de carga adaptativa



Degradación de capacidad en baterías LFP según ciclos y condiciones de operación

Análisis de ROI en Sistemas BESS de 48V

El análisis del Retorno de Inversión (ROI) es fundamental para evaluar la viabilidad económica de los sistemas BESS de 48V, considerando costos iniciales, gastos operativos y beneficios económicos a lo largo de su vida útil.

Fórmulas de Análisis Económico

$$\text{ROI (\%)} = (\text{Beneficio Neto} / \text{Inversión Total}) \times 100$$

$$\text{Tiempo de Recuperación (años)} = \text{Inversión Total} / \text{Ahorro Anual}$$

$$\text{LCOE (\$/kWh)} = \text{Costo Total} / \text{Energía Total Suministrada}$$

📦 CAPEX (Inversión Inicial)

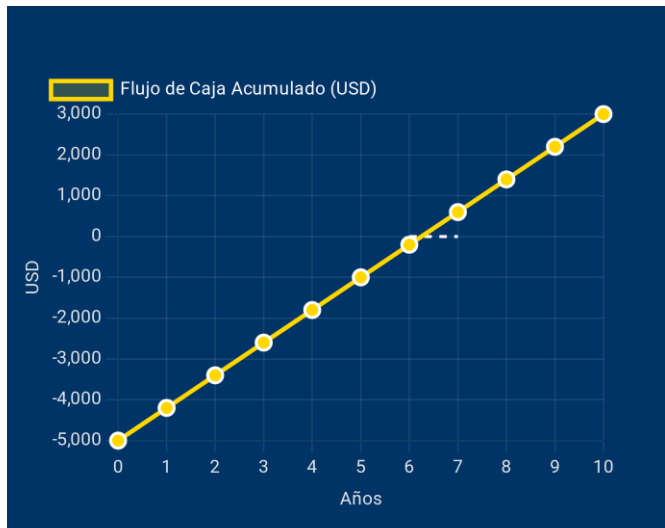
Incluye baterías LFP (250-400 \$/kWh), BMS (10-15% del costo de baterías), inversores/convertidores (0.15-0.25 \$/W), instalación y puesta en marcha (15-20% del hardware).

✂️ OPEX (Costos Operativos)

Mantenimiento preventivo (2-3% del CAPEX anual), reemplazo de componentes (inversores: 10-15 años, baterías: degradación parcial), seguros y monitoreo.

📈 Beneficios Económicos

Ahorro en factura eléctrica (arbitraje de precios), reducción de demanda pico, ingresos por servicios de red, aumento de autoconsumo solar, respaldo ante cortes.



Análisis de flujo de caja acumulado para sistema BESS de 48V
10kWh

Dimensionamiento Avanzado

El dimensionamiento avanzado de sistemas BESS de 48V requiere un enfoque holístico que considere múltiples variables técnicas y económicas para optimizar el rendimiento, vida útil y retorno de inversión del sistema.

Método de Análisis Probabilístico

Utiliza distribuciones estadísticas de demanda y generación para calcular la probabilidad de pérdida de suministro (LPSP) y dimensionar el sistema para un nivel de confiabilidad específico (típicamente 95-99%).

Método de Simulación Dinámica

Modela el comportamiento del sistema en intervalos cortos (1-15 min) durante periodos extendidos (1-5 años), considerando variaciones estacionales y degradación progresiva.

Método de Optimización Multi-objetivo

Busca el equilibrio óptimo entre capacidad, costo, vida útil y confiabilidad mediante algoritmos de optimización (genéticos, enjambre de partículas, etc.).

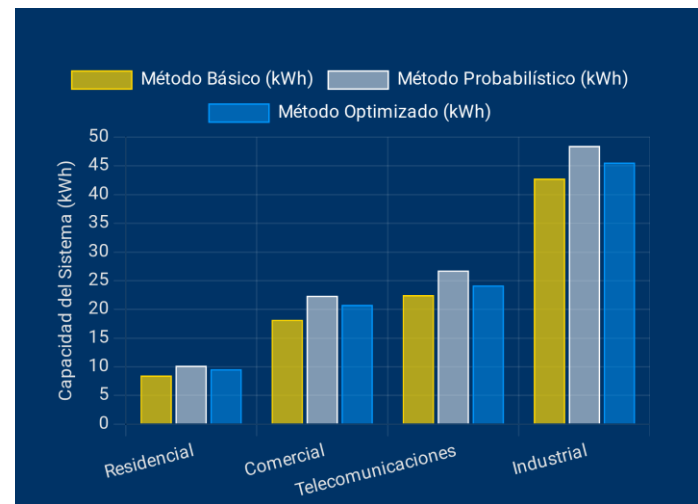
Factores Críticos de Dimensionamiento

 Picos de potencia instantáneos

 Condiciones ambientales extremas

 Degradación a largo plazo

 Crecimiento futuro de demanda



Comparativa de capacidad requerida según diferentes metodologías de dimensionamiento

Simulación de Sistemas BESS de 48V

La simulación computacional es una herramienta esencial para predecir el comportamiento de sistemas BESS de 48V bajo diferentes escenarios operativos, permitiendo optimizar el diseño y validar el dimensionamiento antes de la implementación física.

Herramientas de Simulación

Software especializado como HOMER Pro, PVsyst, MATLAB/Simulink y Python con bibliotecas específicas (PyBESS, StorageSim) permiten modelar el comportamiento eléctrico, térmico y económico de sistemas BESS.

Modelos de Simulación

Los modelos más precisos combinan circuitos equivalentes (Thévenin, PNGV), modelos electroquímicos y térmicos, con resolución temporal de 1-15 minutos para capturar dinámicas rápidas del sistema.

Análisis de Resultados

La simulación proporciona métricas clave como estado de carga (SOC), profundidad de descarga (DOD), temperatura de celdas, eficiencia energética y estimación de vida útil bajo diferentes perfiles de uso.

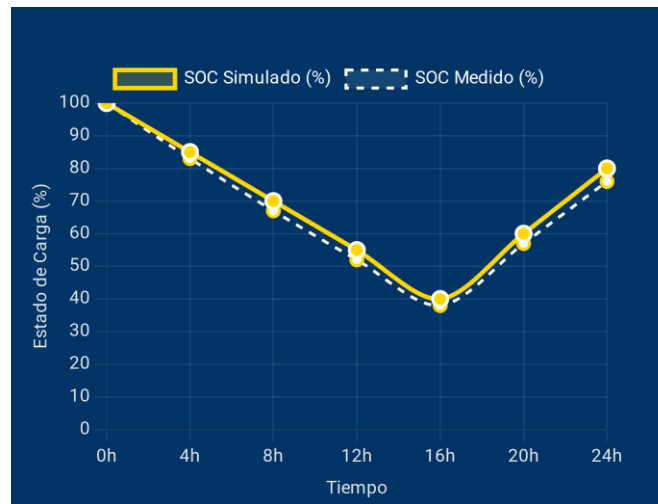
Parámetros Críticos para Simulación

Modelo de capacidad vs. temperatura

Resistencia interna dinámica

Modelo de envejecimiento

Disipación y transferencia térmica



Comparativa entre resultados simulados y medidos en un sistema BESS de 48V 200Ah

Aplicación: Entornos Industriales

Los sistemas BESS de 48V ofrecen soluciones efectivas para entornos industriales, permitiendo gestionar picos de demanda, proporcionar respaldo crítico, mejorar la calidad de energía y optimizar el consumo de fuentes renovables en instalaciones manufactureras.

🏭 Caso de Estudio: Planta Manufacturera

⚡ **Consumo base:** 25-40 kW continuo

⬆️ **Picos:** 60-80 kW (arranque maquinaria)

🔋 **BESS:** 196 kWh

🌞 **Sistema FV:** 50 kWp

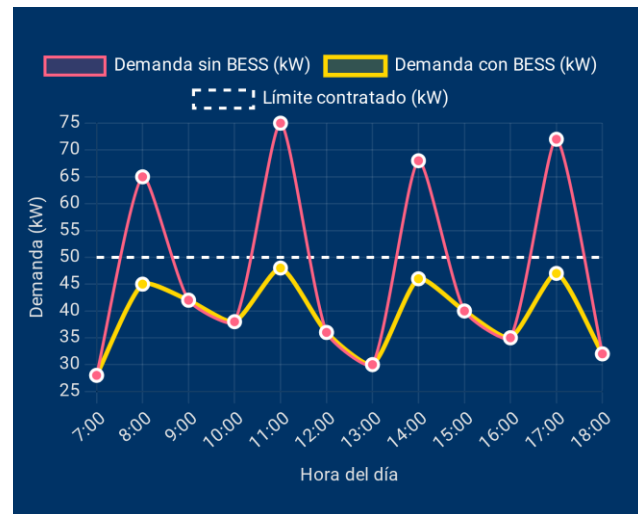
✅ Consideraciones Específicas

🔗 **Ambiente:** Resistencia a polvo y vibraciones

🛡️ **Protección:** IP54 mínimo, ATEX en zonas críticas

🔄 **Respuesta:** <20ms para cargas críticas

⚠️ **Nota crítica:** La configuración modular con múltiples bancos de 48V en paralelo permite escalabilidad y redundancia N+1, esencial para procesos industriales continuos.



Impacto del sistema BESS en la gestión de picos de demanda industrial

Aplicación: Microrredes

Las microrredes son sistemas energéticos locales que pueden operar conectados a la red principal o de forma aislada (modo isla). Los sistemas BESS de 48V son componentes fundamentales en microrredes, proporcionando estabilidad, almacenamiento y gestión de energía.

⚡ Estabilización de Frecuencia y Voltaje

Los sistemas BESS de 48V proporcionan inercia sintética y regulación de frecuencia/voltaje, compensando las fluctuaciones de generación renovable y manteniendo la calidad de energía en la microrred.

↔ Transición Suave entre Modos

Permiten transiciones rápidas y sin interrupciones entre modo conectado y modo isla, con tiempos de respuesta inferiores a 20ms gracias a inversores avanzados y BMS de alta velocidad.

⚙ Control Jerárquico Inteligente

Integración con sistemas de gestión energética (EMS) para optimizar el flujo de potencia, maximizar el uso de renovables y minimizar costos operativos mediante algoritmos predictivos.

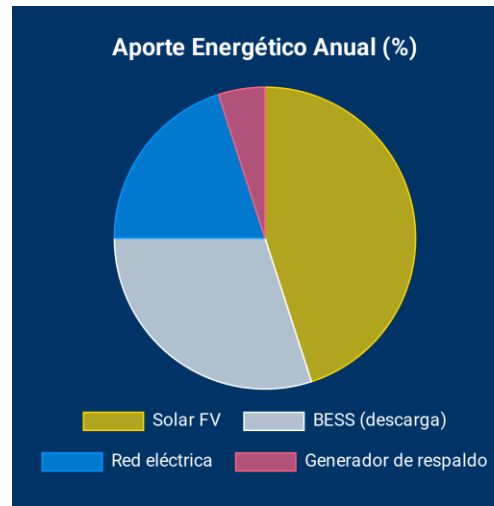
📍 Caso de Estudio: Microrred Comunitaria

🏠 **FV:** 50 kWp

🔋 **BESS:** 48V 2000Ah (96 kWh)

👤 **Usuarios:** 12 viviendas

🕒 **Autonomía:** 18h (cargas críticas)



Distribución de fuentes de energía en una microrred con BESS de 48V

Optimización de Sistemas BESS de 48V

29

La optimización de sistemas BESS de 48V busca maximizar el rendimiento, vida útil y retorno económico mediante estrategias avanzadas de gestión energética, configuración técnica y algoritmos de control inteligente.

Optimización de Ciclos de Carga/Descarga

Implementación de algoritmos que determinan los momentos óptimos para cargar y descargar el sistema, considerando tarifas eléctricas, generación renovable y demanda prevista.

Gestión Térmica Adaptativa

Sistemas de refrigeración que ajustan su operación según condiciones ambientales y estado de carga, activándose solo cuando es necesario para reducir consumo energético.

Balanceo Predictivo de Celdas

Algoritmos que anticipan el desbalance entre celdas y aplican correcciones preventivas, reduciendo estrés en componentes y extendiendo vida útil.

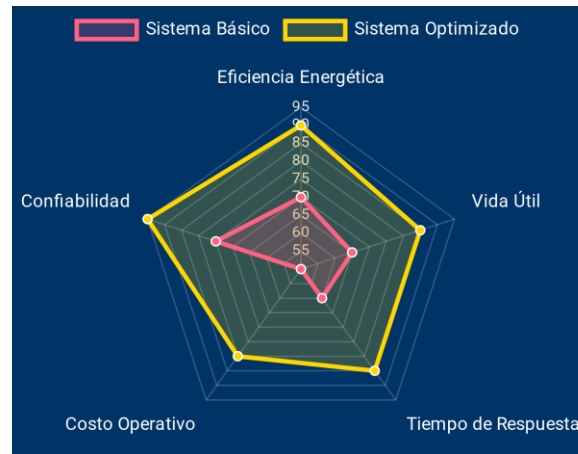
Herramientas de Simulación y Optimización

HOMER Energy

PVsyst

MATLAB/Simulink

OpenDSS



Comparativa de rendimiento entre sistemas BESS de 48V con diferentes niveles de optimización

Diagnóstico de Fallas

El diagnóstico efectivo de fallas en sistemas BESS de 48V requiere un enfoque sistemático y herramientas especializadas. La identificación temprana de problemas minimiza el tiempo de inactividad y previene daños mayores a los componentes del sistema.

🔍 Análisis de Registros del BMS

Revisión de registros históricos de voltaje, corriente y temperatura para identificar patrones anómalos. Atención especial a desviaciones de voltaje $>50\text{mV}$ entre celdas y gradientes térmicos $>5^{\circ}\text{C}$.

⚡ Pruebas de Capacidad y Resistencia

Medición de capacidad real mediante ciclos controlados de descarga. Determinación de resistencia interna con pulsos de corriente (1C durante 10s). Valores $>20\%$ sobre especificaciones indican degradación.

📷 Inspección Termográfica

Uso de cámaras térmicas para detectar puntos calientes en conexiones y celdas. Diferencias $>10^{\circ}\text{C}$ entre componentes similares indican problemas de conexión o celdas defectuosas.

📡 Verificación de Comunicaciones

Análisis de protocolos de comunicación entre BMS, inversores y sistema de monitoreo. Verificación de latencia ($<100\text{ms}$) y tasa de errores ($<0.1\%$) en transmisión de datos.

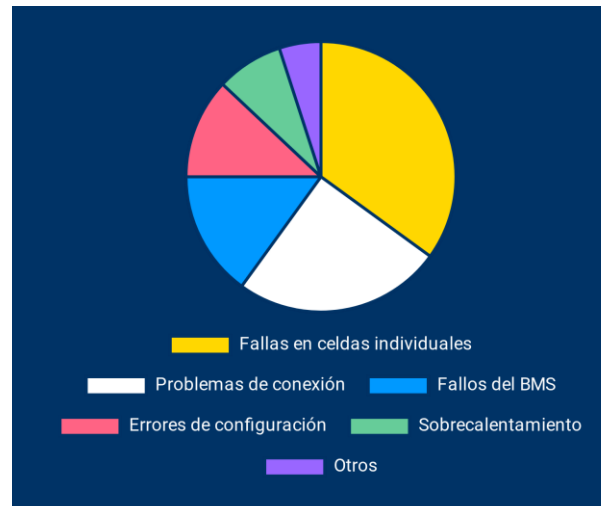
Herramientas Especializadas

🔋 Analizador de baterías

💻 Software de diagnóstico BMS

📷 Cámara termográfica

📡 Osciloscopio digital



Distribución de causas comunes de fallas en sistemas BESS de 48V

Caso de Estudio: Electrificación Rural

Proyecto de electrificación en la comunidad rural de San Miguel de Allende, México. Sistema híbrido solar-almacenamiento implementado para proporcionar energía confiable a 25 hogares y un centro comunitario sin acceso previo a la red eléctrica.

Especificaciones del Sistema

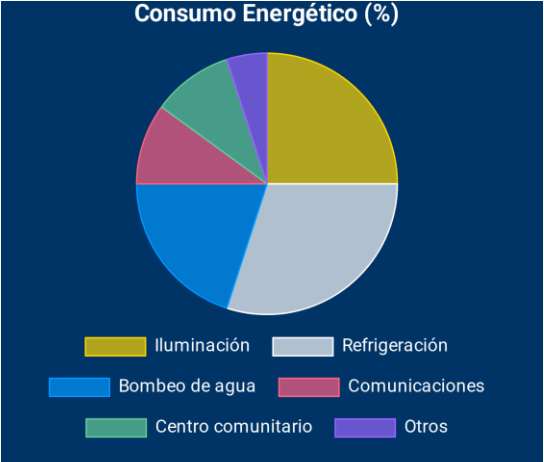
-  **Generación:** 15 kWp fotovoltaica
-  **BESS:** 48V 1000Ah (48 kWh)
-  **Inversores:** 3 x 5kW, 48VDC/220VAC
-  **BMS:** Distribuido con monitoreo remoto
-  **Distribución:** Microrred local 220V
-  **Autonomía:** 2.5 días (carga promedio)

Desafíos y Soluciones

-  **Temperaturas elevadas:** Sistema de refrigeración pasiva con ventilación cruzada y monitoreo térmico continuo.
-  **Picos de demanda:** Algoritmo de gestión de cargas con priorización y limitadores inteligentes.
-  **Mantenimiento remoto:** Capacitación de técnicos locales y sistema de diagnóstico remoto vía satélite.

Resultados

El sistema ha operado durante 3 años con disponibilidad del 99.2%, proporcionando acceso confiable a electricidad para iluminación, refrigeración de alimentos y medicamentos, comunicaciones y bombeo de agua. El ROI proyectado es de 7 años considerando costos evitados de combustible para generadores.



Distribución de consumo energético en la comunidad

Caso de Estudio: Sistemas de Respaldo

Centro de datos de nivel TIER III con requerimientos críticos de continuidad operativa implementó un sistema BESS de 48V como respaldo a su infraestructura UPS tradicional, logrando mayor confiabilidad y reducción de costos operativos.

Especificaciones del Sistema

 **Capacidad:** 48V 2000Ah (96 kWh)

 **Potencia:** 50 kW continua, 75 kW pico

 **Autonomía:** 45 min a plena carga

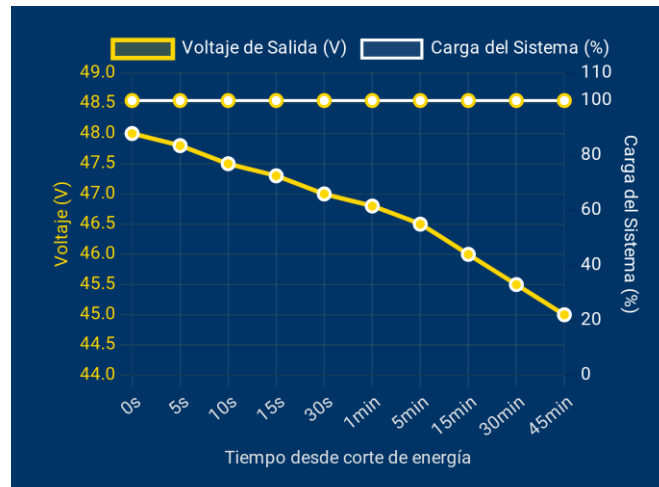
 **Tiempo de respuesta:** <10 ms

 **Refrigeración:** Activa con redundancia N+1

 **Monitoreo:** SNMP, Modbus TCP/IP

Resultados y Beneficios

- ✓ Reducción del 99.8% en tiempo de inactividad durante eventos de corte de energía
- ✓ Disminución del 35% en costos operativos comparado con UPS tradicionales
- ✓ Tiempo de respuesta 8 veces más rápido que sistemas UPS convencionales
- ✓ ROI alcanzado en 3.5 años, con vida útil proyectada de 10+ años



Rendimiento durante eventos de corte de energía (2023-2024)

Caso de Estudio: Integración con Energías Renovables

Proyecto implementado en 2023 para una instalación agroindustrial en Sonora, México. El sistema BESS de 48V se integró con generación fotovoltaica para maximizar el autoconsumo, reducir costos energéticos y proporcionar respaldo ante cortes de suministro.

Configuración del Sistema

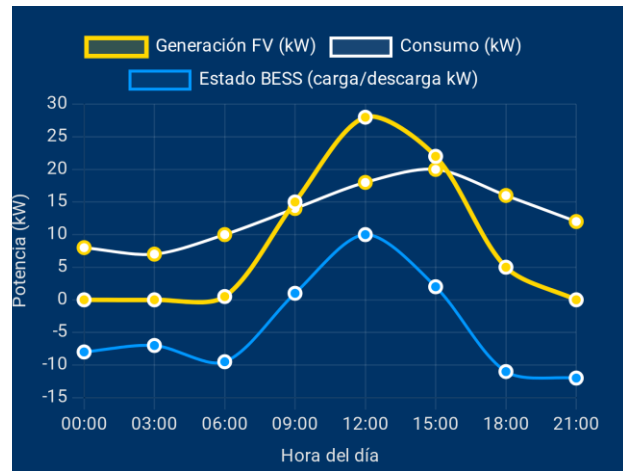
Sistema FV: 30 kWp (90 paneles de 335W)
BESS: 48V 1500Ah (72 kWh) con baterías LFP
Inversores híbridos: 3 x 8kW con MPPT integrado
BMS: Monitoreo por celda con balanceo activo

Objetivos y Desafíos

Reducir factura eléctrica en >70%
Garantizar operación continua de equipos críticos
Gestionar picos de demanda (>25kW)
Operar en condiciones ambientales extremas (hasta 45°C)

Resultados y Lecciones Aprendidas

- ✓ Reducción de factura eléctrica: 78%
- ✓ ROI alcanzado: 4.2 años
- ⚠ Refrigeración adicional requerida
- ⚠ Sobredimensionar BMS para expansión



Distribución diaria promedio de flujos energéticos en el sistema híbrido

Caso de Estudio: Aplicación Industrial

Implementación de un sistema BESS de 48V en una planta manufacturera de autopartes en Querétaro, México. El objetivo principal fue reducir los picos de demanda eléctrica, proporcionar respaldo a equipos críticos y optimizar el consumo energético para reducir costos operativos.

Especificaciones del Sistema

BESS: 48V 3000Ah (144 kWh)

Potencia: 80 kW continua, 120 kW pico

BMS: Redundante con monitoreo por celda

Refrigeración: Activa con filtración HEPA

Desafíos y Soluciones

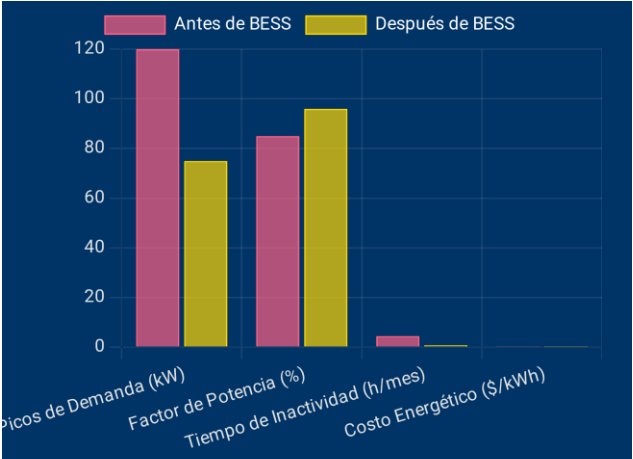
Ambiente industrial: Diseño IP54 con protección adicional contra partículas metálicas y vibraciones de maquinaria pesada.

Picos de arranque: Algoritmo predictivo para anticipar arranques de motores de 50HP y preparar el sistema para suministrar potencia pico.

Operación continua: Configuración modular con mantenimiento en caliente que permite intervenciones sin detener la producción.

Resultados

Tras 18 meses de operación, el sistema logró una reducción del 42% en la factura eléctrica, principalmente por eliminación de penalizaciones por factor de potencia y demanda pico. El ROI proyectado es de 3.2 años, con ahorros anuales de aproximadamente \$85,000 USD.



Comparativa antes y después de la implementación del sistema BESS

Caso de Estudio: Aplicación Comercial

Centro comercial de 15,000 m² en Monterrey, México, implementó un sistema BESS de 48V para gestión de demanda, reducción de costos energéticos y respaldo de áreas críticas. El proyecto, completado en 2022, ha demostrado beneficios económicos significativos y mejora en la calidad del servicio.

Especificaciones del Sistema

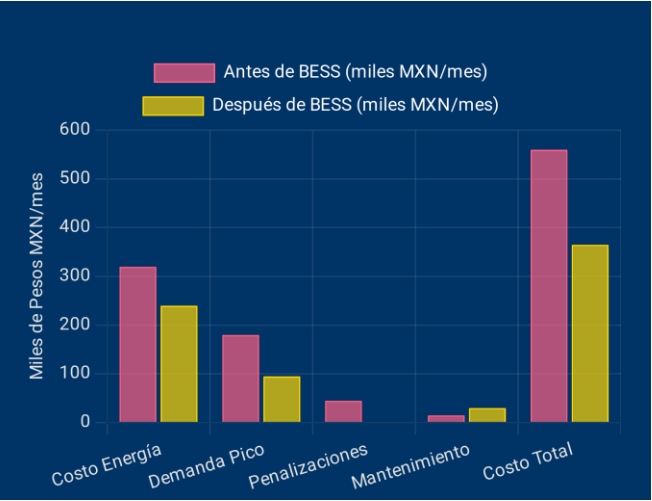
- BESS:** 48V 3000Ah (144 kWh)
- Potencia:** 80 kW máxima
- Integración:** Sistema FV 120 kWp
- BMS:** Distribuido con balanceo activo
- Respaldo:** 3h para áreas críticas
- Tiempo de respuesta:** <20ms

Desafíos y Soluciones

- Picos de demanda:** Algoritmo predictivo para recorte de picos basado en históricos de consumo y previsión de ocupación.
- Temperatura ambiente:** Sistema de refrigeración activa con redundancia y monitoreo térmico por celda.
- Espacio limitado:** Diseño compacto con configuración modular y distribución optimizada.

Resultados

Reducción del 35% en facturación eléctrica, eliminación de penalizaciones por factor de potencia, y ROI proyectado de 4.2 años. Adicionalmente, el sistema ha proporcionado respaldo durante 8 eventos de interrupción eléctrica, manteniendo operativas las áreas críticas.



Comparativa de costos energéticos antes y después de la implementación del sistema BESS

Bloque 5: Tendencias y Tecnologías Emergentes

El Futuro de los Sistemas BESS de 48V

Innovaciones que Transformarán el Almacenamiento de Energía

En este bloque exploraremos las tendencias emergentes y tecnologías disruptivas que están redefiniendo el panorama de los sistemas de almacenamiento de energía BESS de 48V. Desde avances en química de baterías hasta la integración con inteligencia artificial y IoT.



Nuevas Químicas de Baterías

Tecnologías emergentes como baterías de estado sólido, sodio-ion y litio-azufre que prometen mayor densidad energética y seguridad.



IA y Machine Learning

Algoritmos inteligentes para optimización predictiva, mantenimiento proactivo y gestión autónoma de sistemas BESS.



IoT y Conectividad

Sistemas hiperconectados con monitoreo en tiempo real, diagnóstico remoto e integración con redes inteligentes.

Objetivos del Bloque



Identificar tecnologías emergentes relevantes



Evaluar impacto en diseño y operación



Analizar tendencias de mercado y adopción



Proyectar escenarios futuros de aplicación

Sistemas BMS Avanzados

Los sistemas de gestión de baterías (BMS) están evolucionando rápidamente, incorporando inteligencia artificial, conectividad avanzada y capacidades predictivas que transforman los sistemas BESS de 48V en plataformas inteligentes con mayor eficiencia, seguridad y vida útil.

BMS con Inteligencia Artificial

Algoritmos de aprendizaje automático que optimizan la carga/descarga basados en patrones de uso, condiciones ambientales y estado de salud. Mejoran precisión en estimación de SOC/SOH del 92% al 98% y extienden vida útil hasta un 20%.

Análisis Predictivo Avanzado

Predicción de fallos con 7-14 días de anticipación mediante análisis de tendencias y anomalías. Reducción del 85% en tiempo de inactividad no planificado y optimización de mantenimiento basado en condición real.

Arquitectura Distribuida

Monitoreo a nivel de celda con procesamiento local y comunicación centralizada. Redundancia N+1 con tolerancia a fallos y capacidad de aislamiento selectivo de módulos defectuosos sin interrumpir operación.

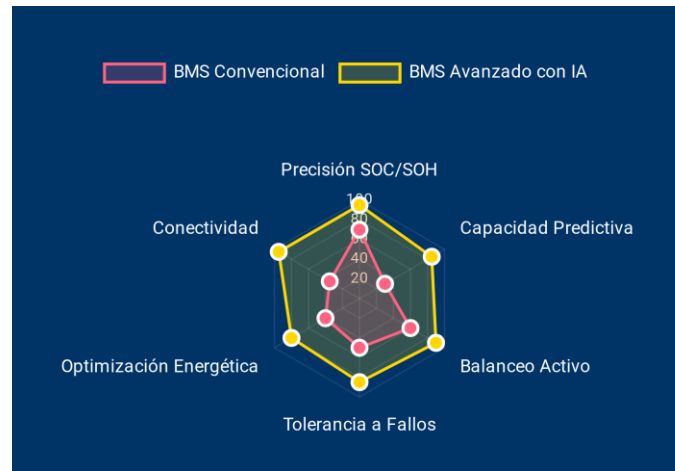
Beneficios Cuantificables

 +15-25% capacidad utilizable

 +30% vida útil del sistema

 -12% pérdidas energéticas

 99.99% disponibilidad



Comparación de capacidades entre BMS convencionales y avanzados

Integración IoT en Sistemas BESS

La integración de tecnologías IoT (Internet de las Cosas) está transformando los sistemas BESS de 48V, permitiendo monitoreo en tiempo real, mantenimiento predictivo y optimización automática. Esta conectividad avanzada mejora significativamente la eficiencia operativa y extiende la vida útil de los sistemas.

Sensores Avanzados

Sensores de última generación para monitoreo de temperatura ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$), voltaje ($\pm 1\text{mV}$), corriente ($\pm 0.1\text{A}$) e impedancia interna. Permiten detección temprana de anomalías y degradación de celdas individuales.

Conectividad Multimodo

Protocolos de comunicación redundantes (Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, NB-IoT) con bajo consumo energético ($<50\text{mW}$) y alta confiabilidad. Garantizan transmisión de datos incluso en condiciones adversas.

Plataformas Cloud

Integración con plataformas cloud especializadas para almacenamiento, análisis y visualización de datos. Capacidad de procesamiento de millones de puntos de datos por segundo con latencia $<100\text{ms}$.

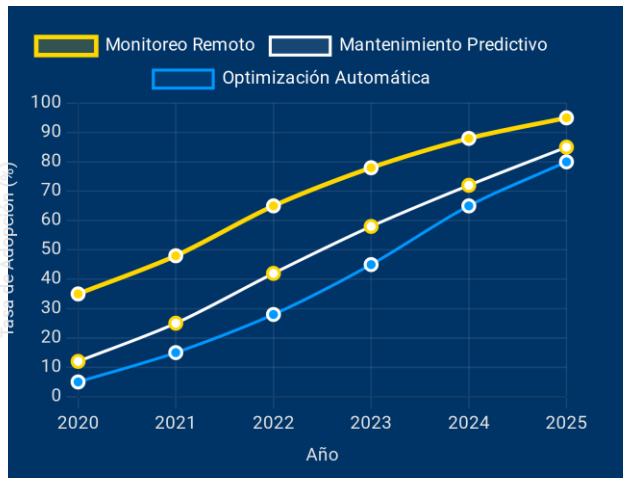
Beneficios Cuantificables

 Aumento de 15-25% en vida útil

 Reducción de 30-40% en mantenimiento

 Mejora de 8-12% en eficiencia

 Disminución de 60% en fallos críticos



Tasa de adopción de tecnologías IoT en sistemas BESS de 48V (2020-2025)

Integración con Redes Inteligentes

Los sistemas BESS de 48V están evolucionando para integrarse perfectamente con las redes eléctricas inteligentes (Smart Grids), permitiendo una gestión bidireccional de energía, participación en mercados eléctricos y optimización en tiempo real basada en datos.

↔ Comunicación Bidireccional

Protocolos avanzados como IEEE 2030.5, OpenADR y Modbus TCP/IP permiten comunicación en tiempo real entre sistemas BESS y operadores de red. Facilita respuesta a señales de precio y demanda con latencias <100ms.

📈 Participación en Mercados Eléctricos

Agregación virtual de múltiples sistemas BESS de 48V para participar en mercados de capacidad, regulación de frecuencia y balance energético. Plataformas como Tesla Virtual Power Plant y Sonnen Community ya operan comercialmente.

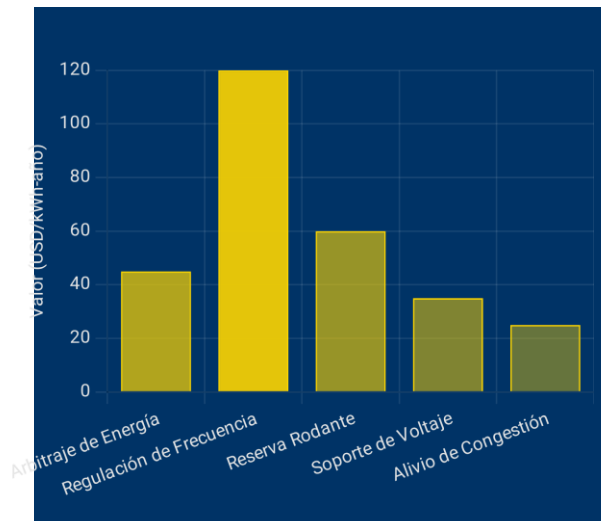
🛡️ Resiliencia y Microrredes

Capacidad de formar microrredes autónomas durante interrupciones, con transición automática entre modos conectado/isla en <20ms. Sistemas avanzados permiten black start y sincronización automática con la red principal.

Beneficios de la Integración

💰 Ingresos adicionales por servicios a la red

⚡ Optimización dinámica de consumo



Valor económico de servicios de red proporcionados por sistemas BESS de 48V

Regulación Futura

El panorama regulatorio para sistemas BESS de 48V está evolucionando rápidamente a nivel global. Las nuevas normativas se centran en seguridad, interoperabilidad, sostenibilidad y participación en mercados eléctricos, con implicaciones significativas para fabricantes, integradores y usuarios finales.

Estándares de Seguridad Avanzados

Evolución de IEC 62619/UL 1973 hacia pruebas más rigurosas de propagación térmica, resistencia a impactos y ciberseguridad. Nuevos requisitos de monitoreo térmico por celda y sistemas de extinción de incendios integrados para 2025-2026.

Economía Circular y Sostenibilidad

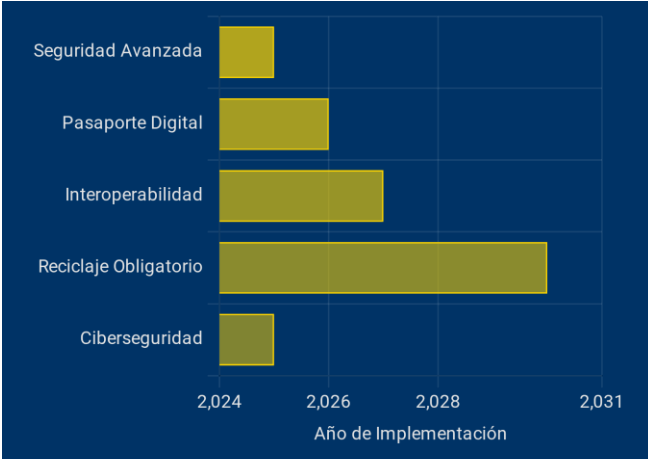
Regulaciones tipo EU Battery Directive 2.0 exigirán 70% de recuperación de materiales para 2030. Pasaporte digital de baterías con huella de carbono y trazabilidad completa de materiales será obligatorio en mercados principales a partir de 2026.

Interoperabilidad y Acceso a Mercados

Estándares emergentes como IEEE 2030.5 e IEC 61850-90-7 serán obligatorios para participación en mercados eléctricos. Protocolos de comunicación abiertos y APIs estandarizadas para facilitar agregación virtual de sistemas distribuidos.

Implicaciones para el Diseño

- Arquitectura modular para facilitar reciclaje
- Protocolos de ciberseguridad integrados
- Interfaces de comunicación estandarizadas
- Documentación de huella ambiental



Cronograma de implementación de regulaciones clave para sistemas BESS de 48V

Para complementar las referencias esenciales, presentamos una selección de artículos científicos, publicaciones técnicas y recursos en línea que ofrecen información actualizada y especializada sobre diversos aspectos de los sistemas BESS de 48 VCD.

Artículos Científicos

Zhang, J., et al. (2023).
"Advanced Battery Management Systems for 48V Applications: A Review"
. *Journal of Energy Storage*, 56, 105898.

Patel, S., & Ramakrishnan, K. (2022).
"Thermal Management Strategies for LFP Batteries in 48V BESS"
. *Applied Thermal Engineering*, 204, 117988.

Martínez-García, M., et al. (2021).
"Optimization of 48V Battery Systems for Residential Energy Storage"
IEEE Transactions on Power Electronics, 36(7), 7952-7963.

Chen, H., & Wang, Y. (2022).
"State of Health Estimation Methods for Lithium Iron Phosphate Batteries"
. *Energies*, 15(3), 1023.

Recursos en Línea

Battery University -
"BU-304: Almacenamiento de Energía para Sistemas Residenciales"
.
www.batteryuniversity.com/learn/article/bu_304_energy_storage

National Renewable Energy Laboratory (NREL) -
"Battery Lifetime Analysis and Simulation Tool (BLAST)"
.
www.nrel.gov/transportation/blast.html

Energy Storage Association - "ESA Technology Comparison"
.
energystorage.org/technology-comparison

PV Magazine - "Biblioteca de Recursos sobre Almacenamiento de Energía"
.
www.pv-magazine.com/features/storage-highlights

Normas Técnicas Específicas

Para el diseño e implementación de sistemas BESS de 48 VCD, es fundamental conocer las normas técnicas específicas que abordan aspectos como seguridad eléctrica, rendimiento, pruebas y compatibilidad. Estas normas proporcionan directrices detalladas para garantizar sistemas seguros y confiables.

Norma	Ámbito	Aplicación en BESS 48V
IEC 61427-2:2015	Baterías para almacenamiento de energía renovable	Métodos de ensayo específicos para la verificación del rendimiento de baterías utilizadas en aplicaciones de almacenamiento conectadas a la red. Define ciclos de prueba para evaluar durabilidad y eficiencia.
IEC 62485-2:2018	Seguridad de baterías secundarias	Requisitos de seguridad para instalaciones de baterías estacionarias. Especifica medidas de protección contra riesgos eléctricos, emisión de gases y electrolitos.
UL 9540A:2019	Pruebas de propagación térmica	Método de prueba para evaluar la propagación térmica en sistemas de almacenamiento de energía. Crucial para sistemas BESS de 48V en entornos residenciales y comerciales.
IEC 62933-5-2:2020	Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica	Requisitos de seguridad para sistemas integrados basados en baterías. Incluye evaluación de riesgos, medidas de protección y procedimientos de prueba específicos.

Nota importante:

Además de las normas internacionales, es fundamental consultar las regulaciones locales y códigos eléctricos específicos de cada país o región. En México, se deben considerar las NOM (Normas Oficiales Mexicanas) aplicables, como la NOM-001-SEDE para instalaciones eléctricas.

Herramientas de Software

El diseño y la optimización de sistemas BESS de 48V requieren herramientas de software especializadas que permitan modelar, simular y analizar su comportamiento bajo diferentes condiciones.

HOMER Pro

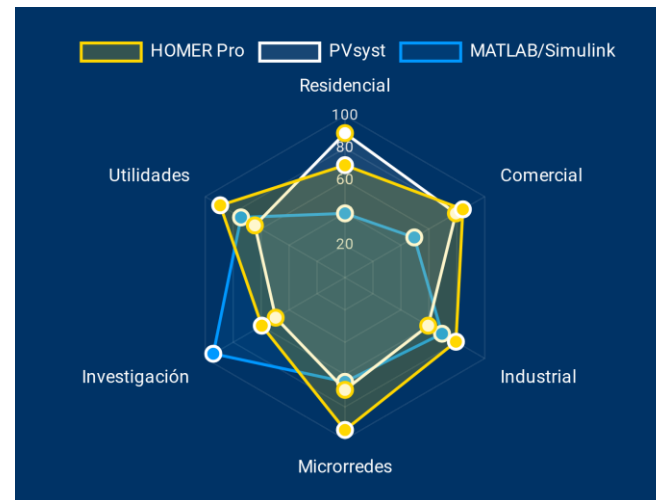
Software líder para el diseño y optimización de microrredes y sistemas híbridos. Permite modelar sistemas BESS de 48V con alta precisión y realizar análisis técnico-económicos detallados.

PVsyst

Herramienta especializada en el diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos con integración de almacenamiento. Incluye modelos detallados de baterías LFP para aplicaciones solares.

MATLAB/Simulink

Plataforma de simulación avanzada para modelar sistemas BESS a nivel de componentes. Ideal para investigación, desarrollo de algoritmos BMS y análisis del comportamiento electroquímico.



Uso de herramientas de software para diseño de BESS según tipo de aplicación

Principales Fabricantes

El mercado de sistemas BESS de 48V está dominado por fabricantes especializados que ofrecen soluciones completas o componentes específicos. Conocer los principales actores del mercado es esencial para seleccionar proveedores confiables y tecnologías probadas.

BYD Energy Storage



Líder mundial en sistemas BESS con su línea Battery-Box Premium. Ofrece soluciones modulares de 48V con capacidades desde 2.5 kWh hasta sistemas de MW. Destacan por su alta eficiencia (>95%) y compatibilidad con múltiples inversores.

Pylontech



Especialista en baterías LFP de 48V con su serie US2000/US3000. Reconocidos por su excelente BMS integrado y escalabilidad. Sus sistemas permiten hasta 16 módulos en paralelo y ofrecen 6,000+ ciclos de vida con 90% - 95% DoD.

Victron Energy

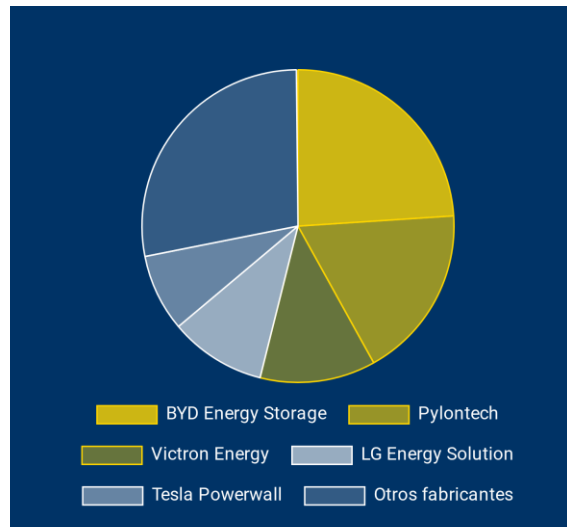


Ofrece soluciones integrales con su línea Lynx de 48V. Destacan por su robustez, monitorización avanzada y compatibilidad con múltiples químicas de baterías. Su plataforma VRM permite gestión remota completa de sistemas BESS.

Orion BMS



Especialista en sistemas de gestión de baterías para 48V. Su BMS de segunda generación soporta hasta 180 celdas con balanceo activo de 200mA por celda. Ofrece comunicación CAN y aislamiento galvánico completo.



Cuota de mercado estimada de fabricantes de sistemas BESS de 48V (2024)

Fuente: Energy Storage Market Report 2024, BloombergNEF

Internet ofrece una amplia variedad de recursos valiosos para profesionales e investigadores en el campo de los sistemas BESS de 48V. A continuación, presentamos una selección de sitios web, plataformas y comunidades en línea que proporcionan información actualizada, herramientas y foros de discusión.

Energy Storage Association

Organización líder que proporciona información actualizada sobre tecnologías de almacenamiento, políticas, investigación y eventos del sector. Incluye biblioteca de recursos, webinars y estudios de caso.

www.energystorage.org

Battery University

Recurso educativo gratuito que ofrece información detallada sobre todos los aspectos de la tecnología de baterías, desde fundamentos hasta aplicaciones avanzadas y técnicas de gestión.

batteryuniversity.com

PV Magazine - Storage

Sección especializada en almacenamiento de energía con noticias, análisis de mercado, tendencias tecnológicas y entrevistas con expertos del sector. Actualización diaria con contenido global.

www.pv-magazine.com/category/storage

NREL - Energy Storage

Portal del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de EE.UU. con investigaciones, publicaciones técnicas, herramientas de modelado y datos sobre sistemas de almacenamiento de energía.

www.nrel.gov/research/energy-storage.html

Errores Comunes en el Diseño de Sistemas BESS de 48V



Dimensionamiento inadecuado

Dimensionar sin considerar el crecimiento futuro de la demanda.



Corriente pico

No validar la corriente pico admisible de las baterías.



Incompatibilidad

Seleccionar inversores incompatibles con el BMS o baterías.



Protecciones insuficientes

Descuidar las protecciones eléctricas mínimas (sobrecorriente, sobretensión).



Sin redundancia

No prever redundancia ni accesos para mantenimiento.



Temperatura

Ignorar los efectos de temperatura en la eficiencia y vida útil.

Flujo General para el Diseño de un Sistema BESS de 48V

1 Levantamiento de cargas

Análisis detallado de la demanda energética actual y proyectada.

2 Definición de autonomía

Establecer tiempo de respaldo y perfil de uso del sistema.

3 Selección de baterías

Cálculo de capacidad considerando DOD, tasa C y temperatura.

4 Selección de componentes

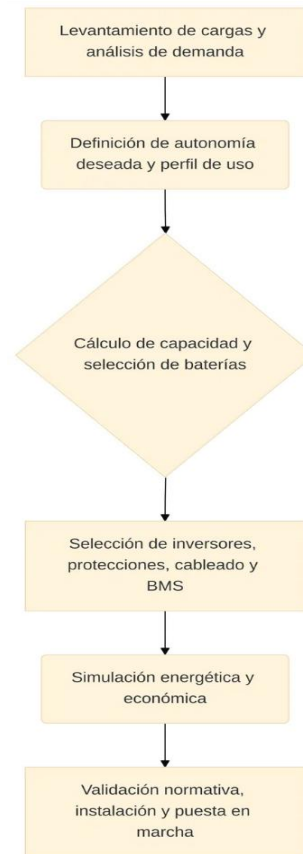
Inversores, protecciones, cableado y BMS compatibles.

5 Simulación energética

Análisis técnico-económico con software especializado.

6 Validación e instalación

Verificación normativa, instalación y puesta en marcha.



Preguntas Clave para el Cliente Antes de Diseñar

¿Cuál es el objetivo principal del sistema?

Definir si se busca respaldo, ahorro, autonomía u otro propósito específico.



Enfoque: Alinear el diseño con las metas del cliente

¿Cuál es su presupuesto y horizonte de crecimiento?

Establecer límites económicos y planificar expansiones futuras.



Enfoque: Optimizar inversión y escalabilidad

¿Cuál es el perfil de consumo eléctrico?

Analizar demanda pico, base y horarios de mayor consumo.

¿Qué cargas desea respaldar y por cuánto tiempo?

Identificar equipos críticos y tiempo de autonomía requerido.



Enfoque: Dimensionar correctamente la capacidad

¿El sitio cuenta con condiciones adecuadas?

Evaluar ventilación, seguridad y espacio disponible para la instalación.



Enfoque: Garantizar viabilidad técnica

¿Tiene acceso a energía renovable o interconexión?

Identificar fuentes complementarias y posibilidad de conexión a red.

Comparativa de Simuladores para Sistemas BESS

Simulador	Características	Complejidad	Costo	Ideal para
 HOMER Pro	Simulaciones híbridas y análisis de costo-beneficio detallado	● ● ● ● ●	\$\$\$	Sistemas híbridos
 PVsyst	Dimensionamiento solar con almacenamiento, detallado pero complejo	● ● ● ● ●	\$\$	Fotovoltaica
 SAM (NREL)	Gratuito con buen soporte para análisis financiero	● ● ● ● ●	\$	Análisis financiero
 MATLAB/Simulink	Potente pero requiere programación y modelado detallado	● ● ● ● ●	\$\$\$\$	Investigación
 Python	Alta personalización, ideal para investigación avanzada	● ● ● ● ●	\$	Personalización
 Excel	Versátil para cálculos rápidos, limitado en simulación dinámica	● ● ● ● ●	\$	Cálculos rápidos

Checklist Técnico para Instalación de Sistemas BESS 48V



Verificación de polaridades

Comprobar todas las conexiones antes de energizar el sistema para evitar daños en componentes.



Torqueo de terminales

Ajustar según especificaciones del fabricante para garantizar conexiones seguras.



Instalación de protecciones

Fusibles, breakers y dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD).



Revisión de aislamiento

Verificar continuidad de tierra y canalizaciones según normativa aplicable.



Configuración inicial

Programación y ajuste de parámetros en BMS e inversores según diseño.



Documentación

Registro de parámetros iniciales y condiciones del sitio para mantenimiento.

Preguntas Frecuentes

A continuación, respondemos algunas de las preguntas más frecuentes sobre el diseño e implementación de sistemas BESS de 48 VCD, basadas en consultas comunes de profesionales e instaladores.

¿Por qué elegir 48V frente a otras tensiones como 12V o 24V para sistemas BESS?

Los sistemas de 48V ofrecen menor pérdida de energía en los cables (1/16 de las pérdidas comparado con 12V para la misma potencia), requieren cables de menor sección, permiten mayor potencia total y son más eficientes para aplicaciones de media y alta potencia.

¿Cuál es la vida útil esperada de un sistema BESS de 48V con baterías LFP?

Las baterías LFP en sistemas BESS de 48V bien diseñados típicamente ofrecen entre 3,000 y 6,000 ciclos completos a 80% DoD, lo que equivale a aproximadamente 8-15 años de vida útil en aplicaciones residenciales y comerciales con un ciclo diario.

¿Cómo dimensionar correctamente un sistema BESS de 48V para aplicaciones residenciales?

El dimensionamiento debe considerar: 1) Consumo diario promedio, 2) Potencia pico requerida, 3) Autonomía deseada, 4) Profundidad de descarga máxima (recomendado 80% para LFP), y 5) Días de autonomía. La capacidad en kWh debe ser al menos: $(\text{Consumo diario} \times \text{Días de autonomía}) \div (\text{DoD} \times \text{Eficiencia del sistema})$.

Preguntas Frecuentes

A continuación, respondemos algunas de las preguntas más frecuentes sobre el diseño e implementación de sistemas BESS de 48 VCD, basadas en consultas comunes de profesionales e instaladores.

¿Qué consideraciones de seguridad son críticas para sistemas BESS de 48V?

Las consideraciones críticas incluyen: protección contra cortocircuitos mediante fusibles o disyuntores dimensionados adecuadamente, sistemas de monitoreo térmico, ventilación adecuada, aislamiento eléctrico, protección contra sobretensiones, y cumplimiento de normativas como IEC 62619 y NFPA 855.

¿Cómo afecta la temperatura al rendimiento y vida útil de un sistema BESS de 48V?

Las temperaturas elevadas ($>35^{\circ}\text{C}$) aceleran la degradación química y reducen la vida útil, mientras que las temperaturas bajas ($<0^{\circ}\text{C}$) disminuyen temporalmente la capacidad disponible y pueden limitar la capacidad de carga. El rango óptimo es $15\text{-}25^{\circ}\text{C}$. Por cada 10°C por encima de 25°C , la vida útil puede reducirse aproximadamente un 50%.

Para facilitar la comprensión de la terminología especializada utilizada en el diseño y operación de sistemas BESS de 48V, presentamos un glosario con los términos técnicos más relevantes y sus definiciones.

SOC (State of Charge)

Estado de carga. Indica el nivel de energía disponible en una batería en relación con su capacidad total, expresado como porcentaje (0-100%).

SOH (State of Health)

Estado de salud. Medida de la condición general de una batería en comparación con sus especificaciones originales, considerando degradación y capacidad remanente.

DOD (Depth of Discharge)

Profundidad de descarga. Porcentaje de capacidad extraída de una batería durante un ciclo de uso. Un DOD del 80% significa que se ha utilizado el 80% de la capacidad disponible.

Ciclo de vida

Número de ciclos completos de carga y descarga que una batería puede soportar antes de que su capacidad se reduzca a un nivel predeterminado (generalmente 80% de la capacidad original).

BMS (Battery Management System)

Sistema de gestión de baterías. Sistema electrónico que monitorea y controla parámetros críticos como voltaje, corriente y temperatura para garantizar operación segura y óptima.

C-rate

Tasa a la que una batería se carga o descarga en relación con su capacidad nominal. 1C significa que la corriente cargará/descargará completamente la batería en 1 hora.

Balanceo de celdas

Proceso de ecualización de la carga entre celdas individuales para maximizar capacidad, rendimiento y vida útil del sistema completo. Puede ser pasivo o activo.

Thermal runaway

Embalamiento térmico. Condición peligrosa donde un aumento de temperatura provoca reacciones que generan más calor, creando un ciclo de retroalimentación positiva que puede llevar a incendios.

Eficiencia coulombica

Relación entre la cantidad de carga (en amperios-hora) extraída de una batería durante la descarga y la cantidad de carga necesaria para restaurar el estado inicial durante la carga.

Inversor híbrido

Dispositivo que combina las funciones de inversor solar y cargador de baterías, permitiendo gestionar simultáneamente la generación fotovoltaica, el almacenamiento y la conexión a red.



FIN

Diseño de bancos de baterías de 48 VCD

Para consultas adicionales: baezfranco@yahoo.com.mx



DIPLOMADO ESPECIALIZADO EN ALMACENAMIENTO, GESTIÓN DE REDES Y ELECTROMOVILIDAD

Almacenamiento electroquímico

Mario Báez

Objetivos de Aprendizaje

- Comprender la importancia del almacenamiento de energía en los sistemas energéticos actuales y futuros
- Identificar y clasificar las diferentes tecnologías de almacenamiento de energía
- Entender los principios básicos de electroquímica aplicados al almacenamiento energético
- Conocer la arquitectura interna y componentes de las celdas electroquímicas
- Analizar los parámetros clave para evaluar y comparar diferentes sistemas de almacenamiento

¿Qué es el almacenamiento de energía?

El **almacenamiento de energía** es el proceso de capturar energía producida en un momento para su uso posterior.

Permite **desacoplar** la generación del consumo, facilitando la integración de fuentes renovables intermitentes.

Actúa como un **punto temporal** entre la disponibilidad y la demanda de energía.

Abarca diversas tecnologías que convierten la energía en formas almacenables como química, mecánica, térmica o eléctrica.

Introducción al Almacenamiento de Energía



Importancia del Almacenamiento

Papel clave en la transición energética

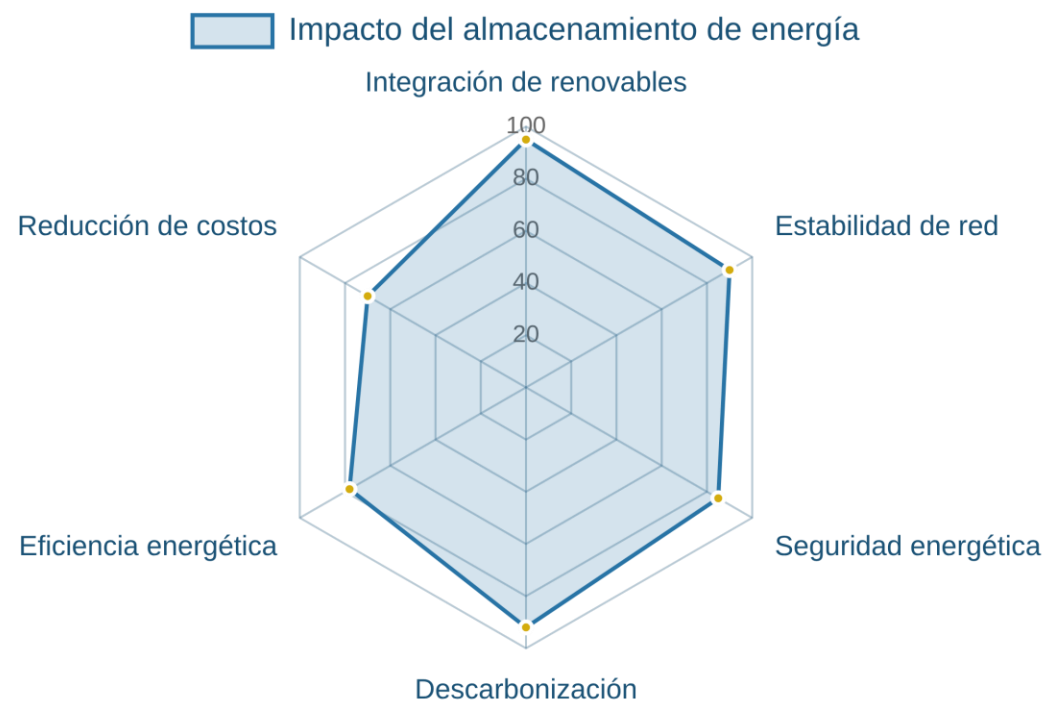
Integración de renovables: Mitiga la intermitencia de fuentes como solar y eólica.

Estabilidad de red: Proporciona servicios auxiliares como regulación de frecuencia y voltaje.

Seguridad energética: Reduce la dependencia de combustibles fósiles y mejora la resiliencia del sistema.

Descarbonización: Facilita la reducción de emisiones de CO₂ en sectores como transporte y generación eléctrica.

Áreas de impacto del almacenamiento energético



Importancia del Almacenamiento



Integración de Renovables

Estabiliza fuentes intermitentes como la solar y eólica, garantizando un suministro constante y fiable.



Integración de Renovables

Estabiliza fuentes intermitentes como la solar y eólica, garantizando un suministro constante y fiable.



Revolución de la Movilidad

Impulsa la adopción masiva de vehículos eléctricos al mejorar su autonomía, rendimiento y velocidad de carga.

Clasificación de las Tecnologías de Almacenamiento

Por forma de energía almacenada

- ⚡ Energía eléctrica (supercondensadores)
- 🧪 Energía química (baterías, hidrógeno)
- ⚙️ Energía mecánica (bombeo, aire comprimido)
- 🔥 Energía térmica (sales fundidas, PCM)

Por tiempo de descarga

- 🕒 Corto plazo (segundos-minutos): volantes, supercondensadores
- ⌚ Medio plazo (minutos-horas): la mayoría de baterías
- 📅 Largo plazo (días-meses): hidrógeno, bombeo hidráulico

Por escala de aplicación

- 🏭 Gran escala (>100 MW): bombeo hidráulico
- 🏠 Media escala (1-100 MW): baterías de flujo
- 🏡 Pequeña escala (<1 MW): baterías Li-ion
- 📱 Portátil (W-kW): baterías compactas

Por función en el sistema

- ⚖️ Calidad de potencia: supercondensadores
- 🔌 Respaldo de energía: baterías
- 🔄 Gestión de energía: bombeo, aire comprimido
- 🔌 Integración de renovables: baterías, hidrógeno

Parámetros Clave en Sistemas de Almacenamiento

⚡ Densidad de energía

Cantidad de energía almacenada por unidad de volumen (Wh/L) o masa (Wh/kg).

🔋 Densidad de potencia

Capacidad de entregar energía rápidamente por unidad de volumen (W/L) o masa (W/kg).

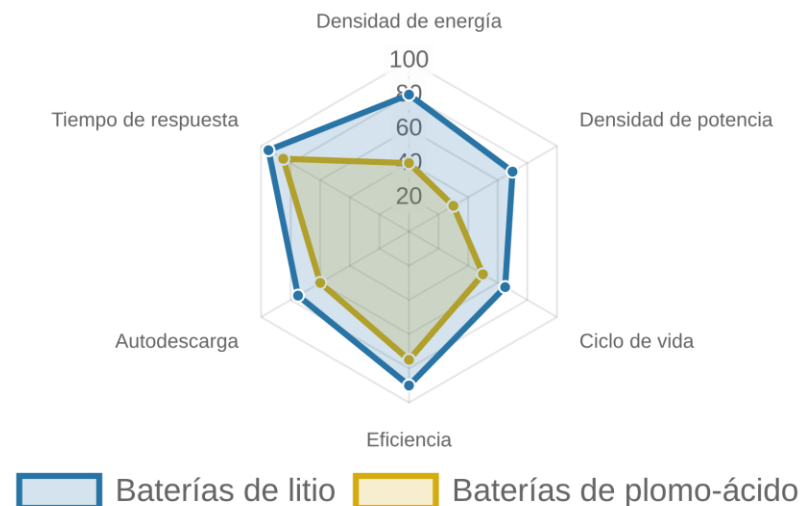
♻️ Ciclo de vida

Número de ciclos de carga/descarga antes de degradarse significativamente.

⚡ Eficiencia energética

Relación entre la energía recuperada y la energía almacenada (%).

Comparación de parámetros entre tecnologías



Principios de Electroquímica Aplicada

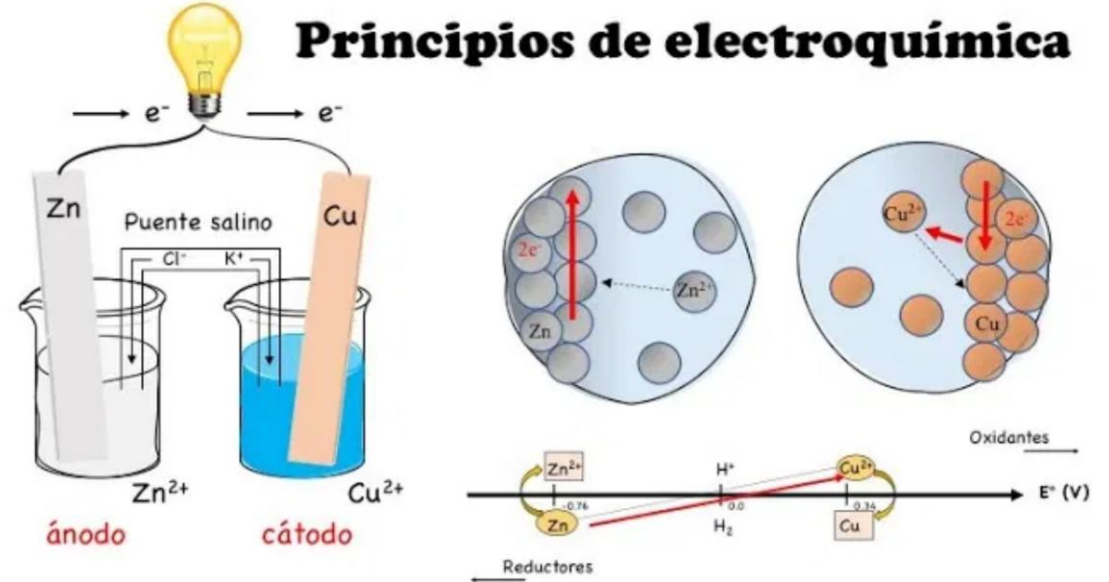
Fundamentos de Electroquímica

La **electroquímica** estudia la relación entre la electricidad y los cambios químicos.

Se basa en **reacciones redox** (reducción-oxidación) donde hay transferencia de electrones.

En baterías, la energía **química** se convierte en **eléctrica** (descarga) y viceversa (carga).

El **potencial electroquímico** determina la capacidad de almacenamiento y la diferencia de voltaje entre electrodos.



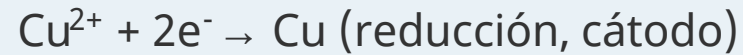
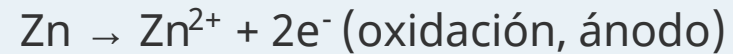
Reacciones Redox en Almacenamiento

Fundamentos de las Reacciones Redox

Las **reacciones redox** (reducción-oxidación) son la base del almacenamiento electroquímico de energía.

Oxidación: Pérdida de electrones, ocurre en el ánodo durante la descarga.

Reducción: Ganancia de electrones, ocurre en el cátodo durante la descarga.



Durante la carga, los procesos se invierten: el ánodo se convierte en cátodo y viceversa.



Reacciones Redox en Almacenamiento

Tensión nominal decelda

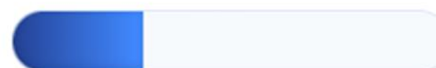
$$E_{\text{celda}} = E_{\text{cátodo}} - E_{\text{ánodo}}$$

Plomo-Ácido



~2.0V

Níquel-Cadmio



~1.2V

Li-ion (LCO)



~3.7V

Li-ion (LFP)



~3.2V

Reacciones Redox en Almacenamiento

Hemi-reacción	E ⁰ V
$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}$	-3.04
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{K}$	-2.92
$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ba}$	-2.90
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2.87
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}$	-2.71
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2.37
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	-1.66
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1.18
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 (\text{g}) + 2 \text{OH}^-$	-0.83
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0.76
$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0.74
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.44
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0.41
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0.40
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}$	-0.28
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0.25
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0.14
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0.13
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.04
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 (\text{g})$	0.00



Reacciones Redox en Almacenamiento

$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 (\text{g})$	0.00
$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} (\text{g})$	0.14
$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}$	0.15
$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	0.16
$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{SO}_2 (\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}$	0.17
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	0.34
$2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	0.40
$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	0.52
$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	0.54
$\text{O}_2 (\text{g}) + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$	0.68
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	0.77
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{NO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$	0.78
$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Hg} (\text{l})$	0.78
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	0.80
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{NO} (\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}$	0.96
$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	1.06
$\text{O}_2 (\text{g}) + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1.23
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.28
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1.33
$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	1.36
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au}$	1.50
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.52
$\text{Co}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$	1.82
$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	2.87



Ejemplo:

Paso 1: Identificar las reacciones redox

La batería de plomo-ácido tiene:

- **Ánodo (oxidación):** Plomo metálico (Pb) se oxida a PbSO_4
- **Cátodo (reducción):** Dióxido de plomo (PbO_2) se reduce a PbSO_4

Reacción global:



Reacciones Redox en Almacenamiento

Ejemplo:

Paso 2: Escribir las semirreacciones y sus potenciales estándar

- **Cátodo (reducción):**



- **Ánodo (oxidación):**



Nota: Aunque la reacción de oxidación no aparece normalmente en la tabla (que da potenciales de reducción), pero si su reacción inveraa, por lo que basta **usar su valor negativo**, porque esta ocurriendo en dirección opuesta.

Reacciones Redox en Almacenamiento

Ejemplo:

Paso 3: Calcular la tensión de la celda

Usamos:

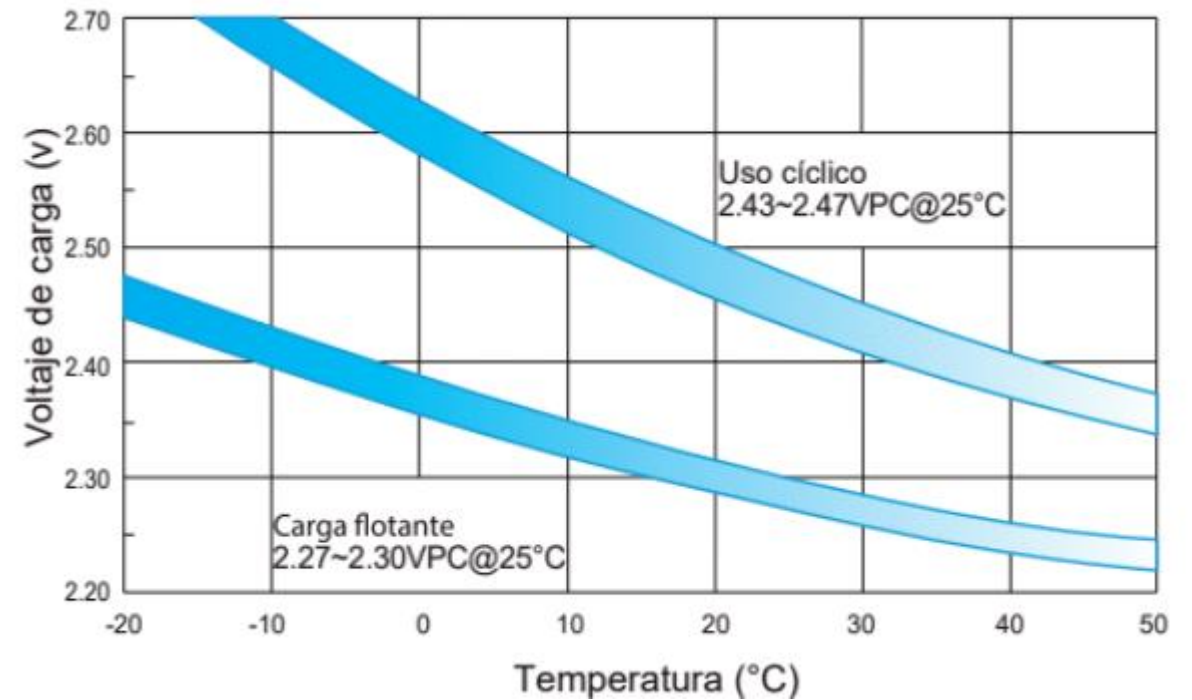
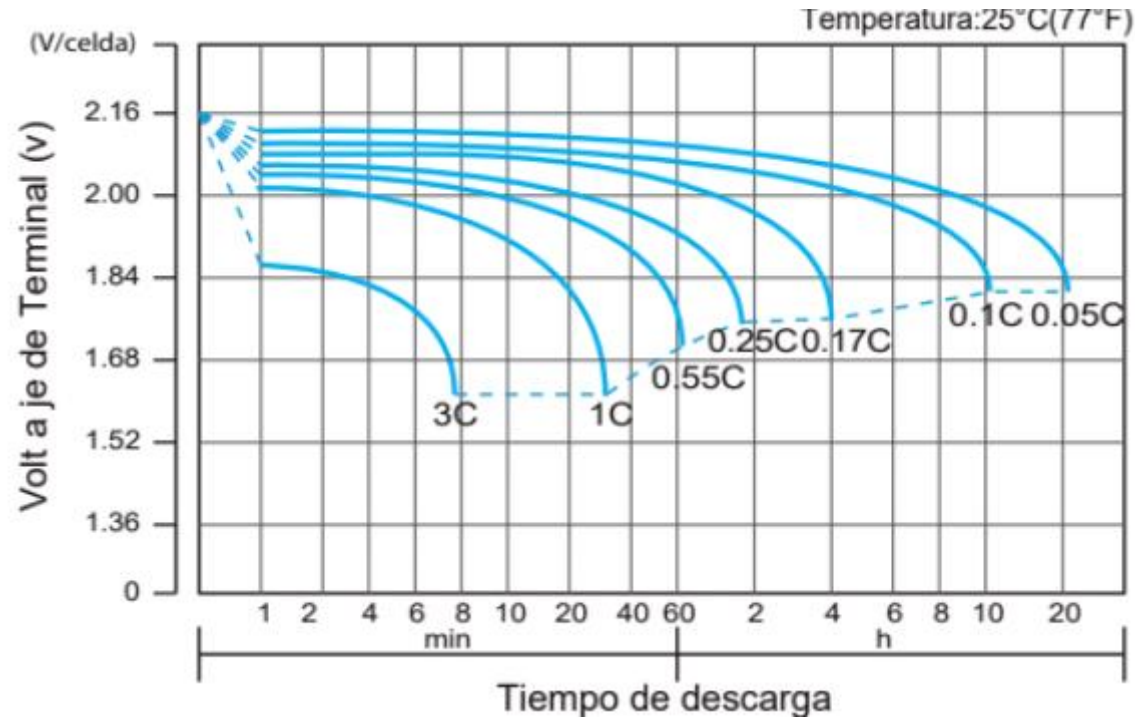
$$\begin{aligned}\text{Voltaje teórico} &= E_{\text{cátodo}}^{\circ} - E_{\text{ánodo}}^{\circ} \\ &= (+1.69 \text{ V}) - (-0.36 \text{ V}) = \boxed{2.05 \text{ V}}\end{aligned}$$

Ecuación de Nernst

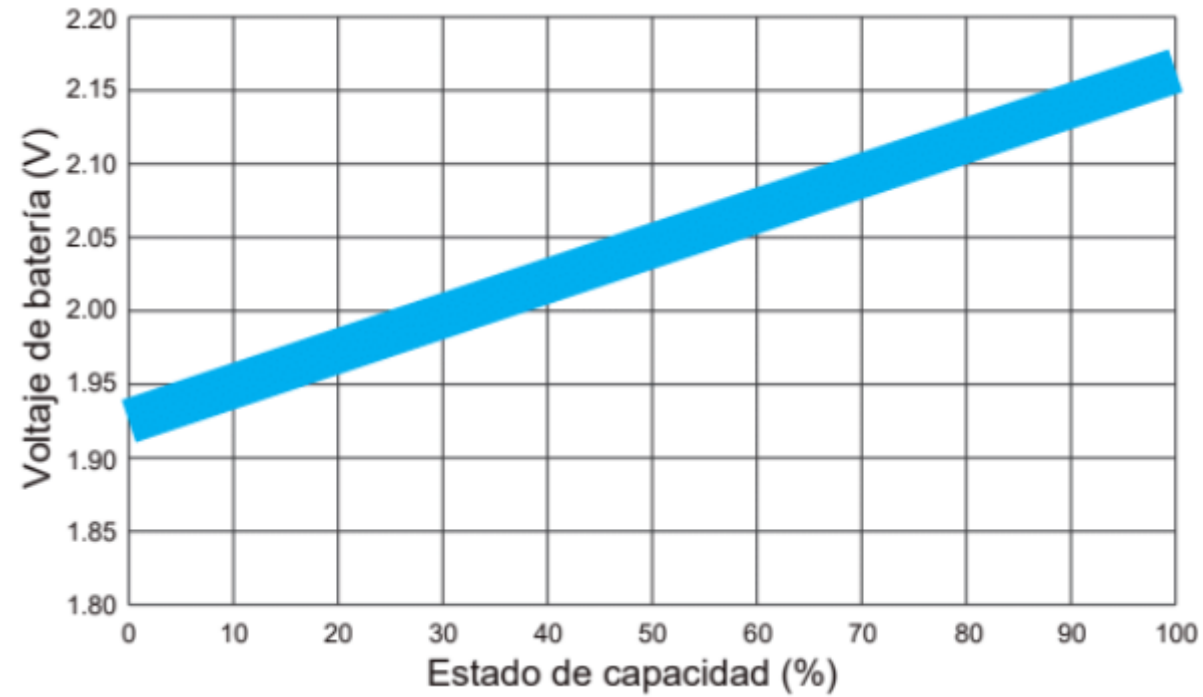
$$E = E^{\circ} - (RT/nF) \ln Q$$

- ✓ Calcula el potencial de un electrodo en condiciones no estándar.
- ✓ Permite predecir la tensión de la celda considerando la concentración de reactivos.
- ✓ Explica por qué el voltaje de una batería cambia durante la descarga.

Reacciones Redox en Almacenamiento



Reacciones Redox en Almacenamiento



Reacciones Redox en Almacenamiento

LEY DE FARADAY Y CAPACIDAD TEÓRICA

1 mol de electrones $\approx$ **26.8 Ah**

$$\text{Capacidad (Ah)} = n \times F$$

Donde:

n = moles de electrones transferidos

F = Constante de Faraday (26.8 Ah/mol)

Dato Clave

La capacidad real siempre es menor que la teórica debido a ineficiencias y material no utilizado.

¿Qué es la capacidad de una batería?

La **capacidad** es la **cantidad total de carga eléctrica** que una batería puede almacenar y entregar. Se mide normalmente en:

- **Amperios-hora (Ah)** o
- **miliamperios-hora (mAh)** para dispositivos pequeños.

También puede expresarse en **culombios (C)** si se requiere en unidades del SI.

Reacciones Redox en Almacenamiento

Fórmula base:

$$Q = n \cdot F$$

Donde:

- Q es la carga eléctrica total (en culombios, C),
- n es el número de moles de electrones transferidos,
- F es la constante de Faraday,

$$F \approx 96,485 \text{ C/mol e}^-$$

Reacciones Redox en Almacenamiento

¿Cómo se conecta con la capacidad (Ah)?

Sabemos que:

$$1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$$

Entonces:

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{Q}{3600} = \frac{n \cdot F}{3600}$$

Reacciones Redox en Almacenamiento

Ejemplo:

Supón que tienes una batería en la que se transfieren 2 moles de electrones en total (por ejemplo, en una celda completa como una batería de plomo-ácido con 1 mol de Pb y 1 mol de PbO₂):

$$Q = 2 \cdot 96,485 = 192,970 \text{ C}$$

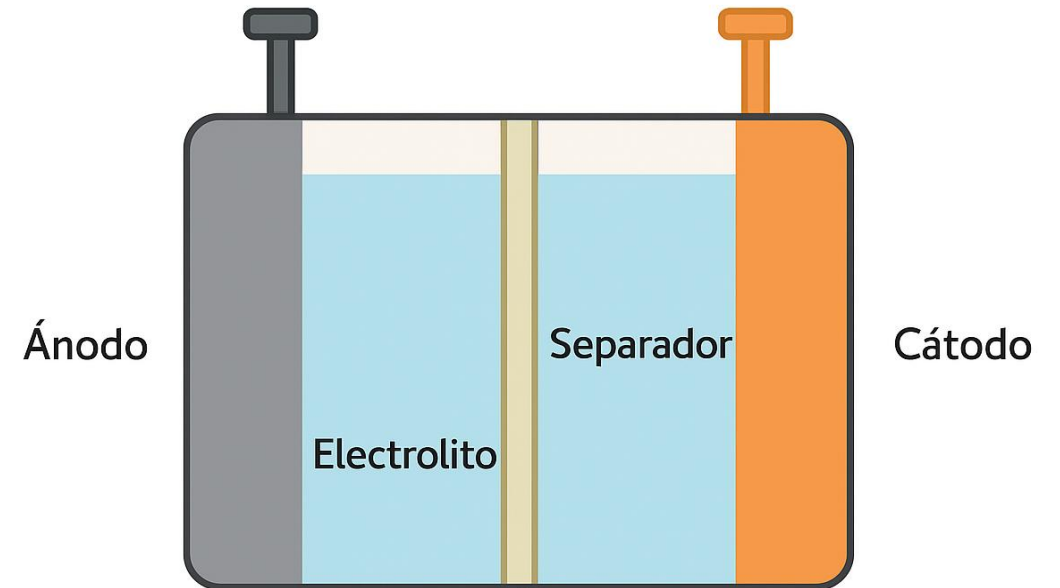
$$\text{Capacidad} = \frac{192,970}{3600} \approx \boxed{53.6 \text{ Ah}}$$

Arquitectura de Celdas Electroquímicas

Componentes Principales

Las celdas electroquímicas son la unidad básica de almacenamiento en baterías.

- +** **Ánodo:** Electrodo negativo donde ocurre la oxidación durante la descarga.
- **Cátodo:** Electrodo positivo donde ocurre la reducción durante la descarga.
- Electrolito:** Medio conductor iónico que permite el flujo de iones entre electrodos.
- Separador:** Barrera física que evita el contacto directo entre electrodos.
- Colectores de corriente:** Conducen electrones hacia/desde el circuito externo.



Parámetros Clave en Baterías

Parámetros específicos para baterías



Capacidad: Cantidad de carga eléctrica que puede almacenar (Ah)



Voltaje nominal: Diferencia de potencial entre terminales (V)



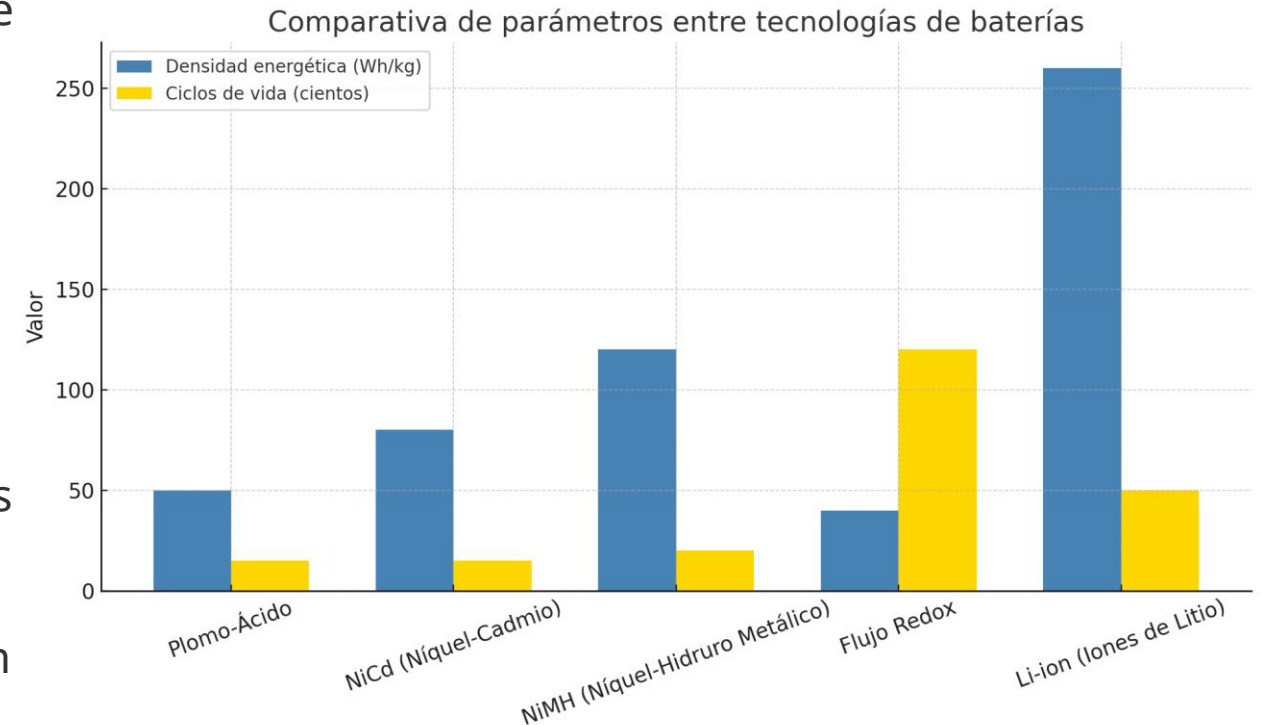
Tasa C: Velocidad de carga/descarga relativa a su capacidad



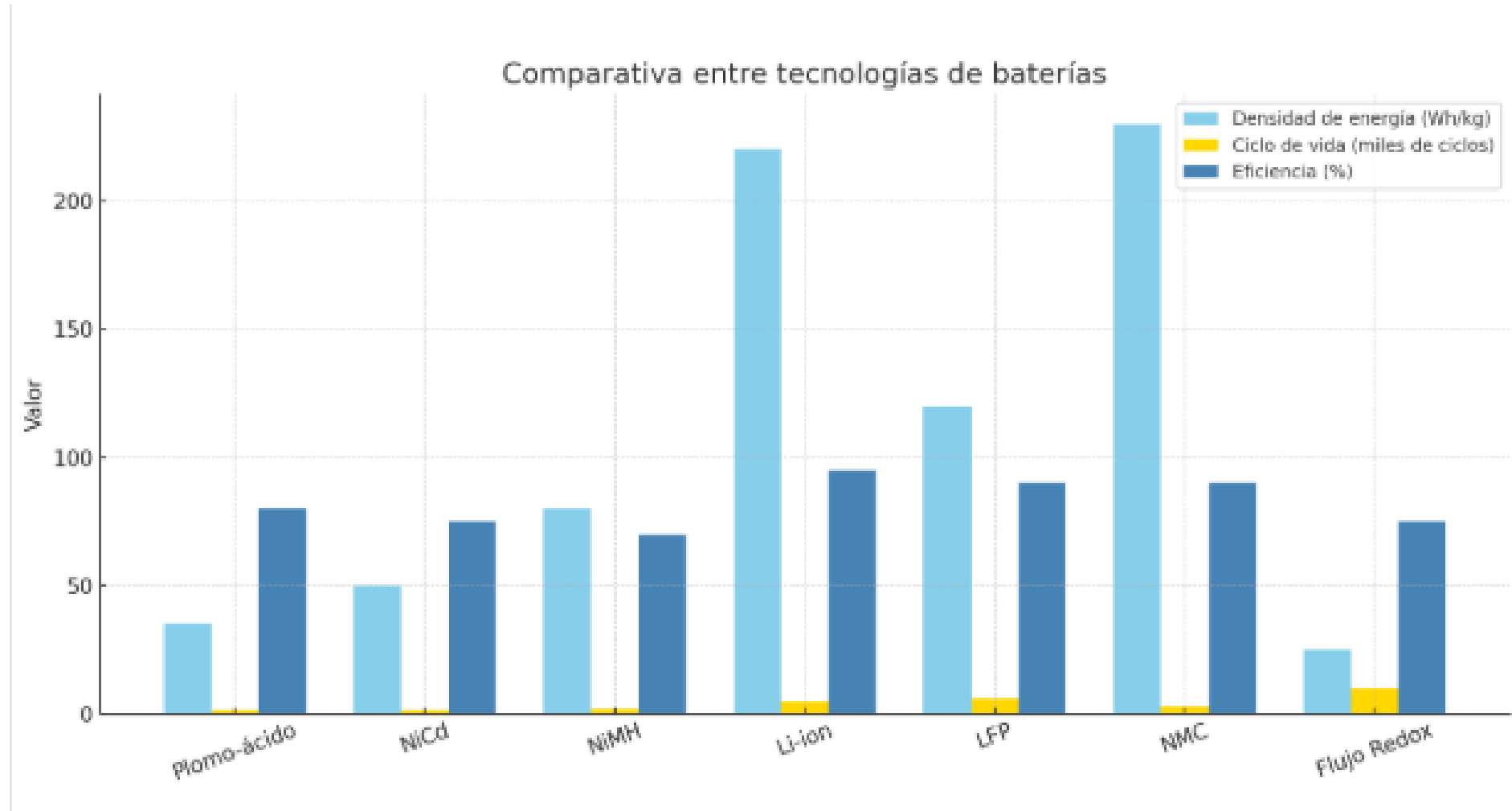
Rango de temperatura: Temperaturas operativas óptimas



Autodescarga: Pérdida de carga con el tiempo sin uso (% por mes)



Comparación de Tecnologías de Almacenamiento



Tasa de Descarga (C-rate)

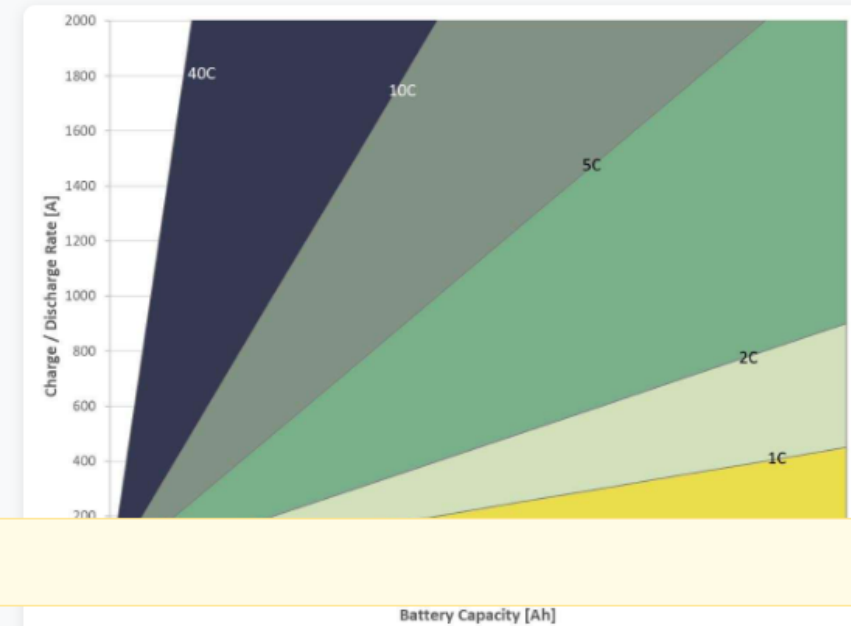
Definiciones Clave

- ✓ **1C:** La corriente de descarga **1** (60 minutos). Es la corriente que vaciará la batería por completo **en 1 hora** a la tasa de referencia.
- ✓ **0.5C:** Tasa de descarga más lenta. La corriente vaciará la batería en **2 horas** (120 minutos).
- ✓ **2C:** Tasa de descarga más rápida. La corriente vaciará la batería en **0.5 horas** (30 minutos).

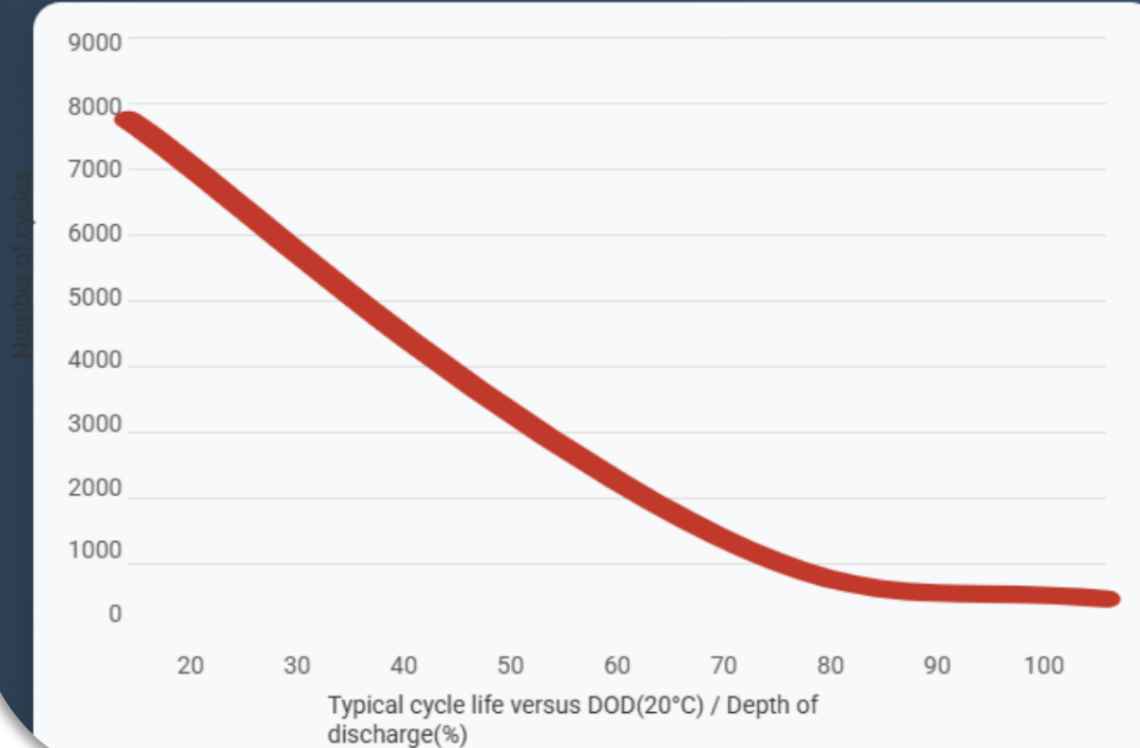
Nota: Un C-rate alto exige más a la batería y puede reducir su vida útil.

Efecto Peukert: C-rate vs. Capacidad

A medida que la tasa de descarga (C-rate) aumenta, la capacidad real (Ah) que se puede extraer de la batería disminuye.



Estado de Carga (SoC) vs. Profundidad de Descarga (DoD)



SoC: Estado de Carga

% de energía restante en la batería.

DoD: Profundidad de Descarga

% de energía utilizada desde una carga completa.

$$\text{SoC} + \text{DoD} = 100\%$$



Limitar el DoD máximo (p.ej., al 80%) aumenta drásticamente los ciclos de vida de la batería.

Ciclos de Vida (Cycle Life)

Número de ciclos de carga/descarga antes de que la capacidad caiga al 80% de la nominal.

4000

Ciclos

25% DoD

1500

Ciclos

50% DoD

500

Ciclos

100% DoD

**Descargas menos profundas (menor DoD) alargan
significativamente la vida de la batería.**

Eficiencia y Autodescarga

Eficiencia Energética

La relación entre la energía que se puede extraer de una batería y la energía que se empleó para cargarla. Un valor más alto es mejor.

Li-ion

90-95%

Plomo-ácido

70-85%

NiMH

70-90%



Autodescarga

La pérdida de carga que sufre una batería cuando no está en uso. Se mide como un porcentaje de pérdida mensual. Un valor más bajo es mejor.

Li-ion

2-3%

Plomo-ácido

4-6%

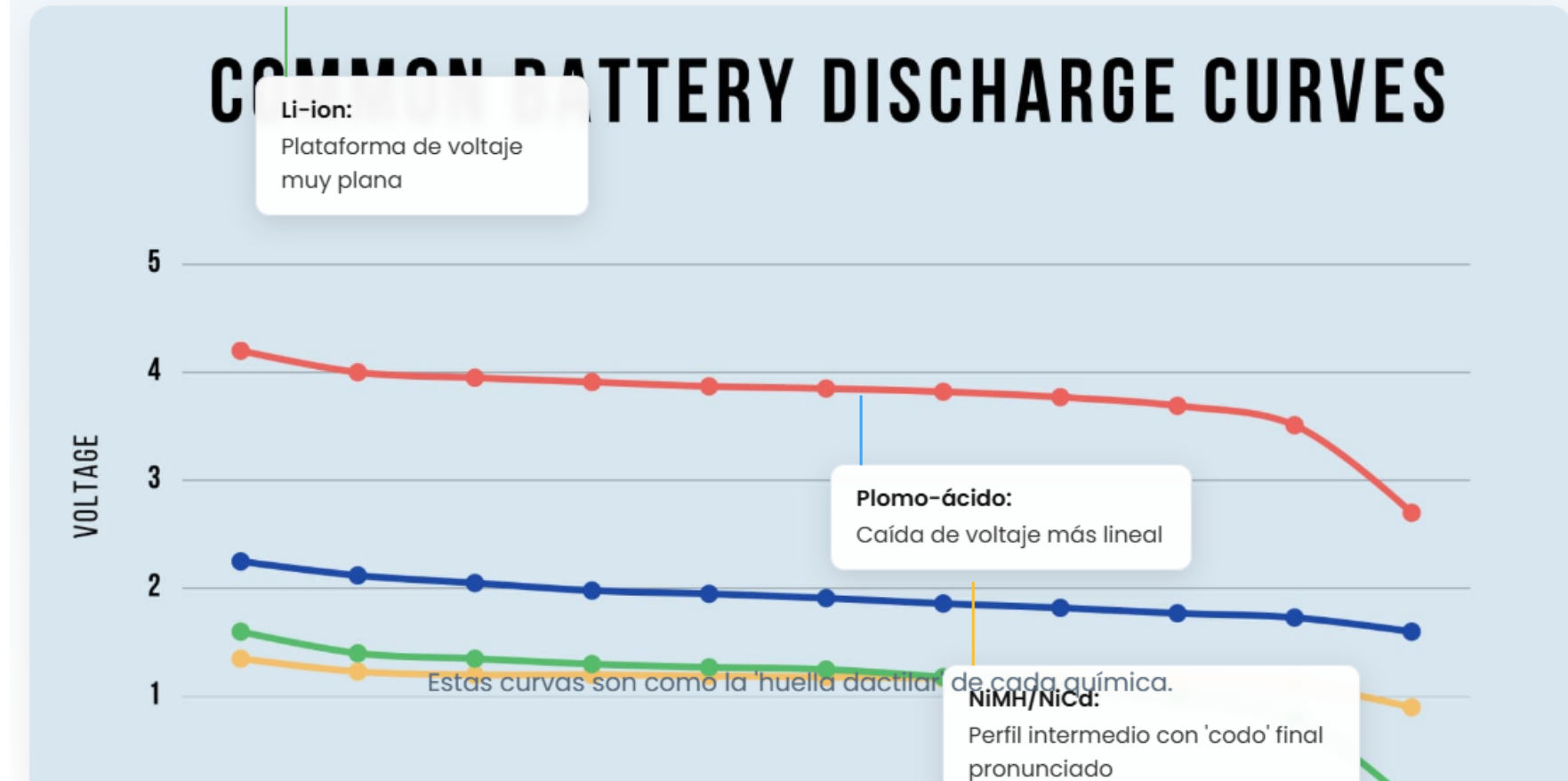
NiMH

hasta 30%



Perfiles de descarga de cada tecnología

Perfiles de Descarga Característicos



Conceptos Fundamentales del Almacenamiento de Energía

Importancia del almacenamiento

Elemento clave para la transición energética, integración de renovables y estabilidad de la red eléctrica.

Clasificación de tecnologías

Por forma de energía (química, mecánica, térmica), escala, tiempo de descarga y función en el sistema.

Parámetros clave

Densidad de energía/potencia, ciclo de vida, eficiencia, autodescarga y tiempo de respuesta.

Principios electroquímicos

Reacciones redox, transferencia de electrones, potencial electroquímico y arquitectura de celdas.

Próximo tema

Tecnologías Tradicionales de Baterías: Plomo-ácido, Níquel-Cadmio (NiCd) y Níquel-Hidruro Metálico (NiMH)

Parte 2: Tecnologías Tradicionales de Baterías

2025

Objetivos de Aprendizaje

- Conocer la evolución histórica y principios de funcionamiento de las baterías de plomo-ácido
- Identificar los diferentes tipos de baterías de plomo-ácido y sus aplicaciones específicas
- Comprender las características, ventajas y limitaciones de las baterías de níquel-cadmio (NiCd)
- Analizar la tecnología de níquel-hidruro metálico (NiMH) como alternativa más ecológica
- Comparar las diferentes tecnologías tradicionales de baterías según sus parámetros clave

Baterías de Plomo-Ácido: Introducción

La tecnología de almacenamiento más antigua

Las baterías de plomo-ácido fueron **inventadas en 1859** por el físico francés Gaston Planté.

Utilizan **plomo (Pb)** y **dióxido de plomo (PbO₂)** como electrodos, y **ácido sulfúrico (H₂SO₄)** como electrolito.

Reacción química básica: **$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$**

Evolución histórica

- 1859** Invención por Gaston Planté
- 1970s** Introducción de tecnología VRLA (válvula regulada)



Tipos de Baterías de Plomo-Ácido

Principales variantes tecnológicas

Inundadas (Vented Lead Acid - VLA)

Diseño tradicional con electrolito líquido. Requieren mantenimiento periódico para reponer agua. Económicas pero con riesgo de derrame.

AGM (Absorbent Glass Mat)

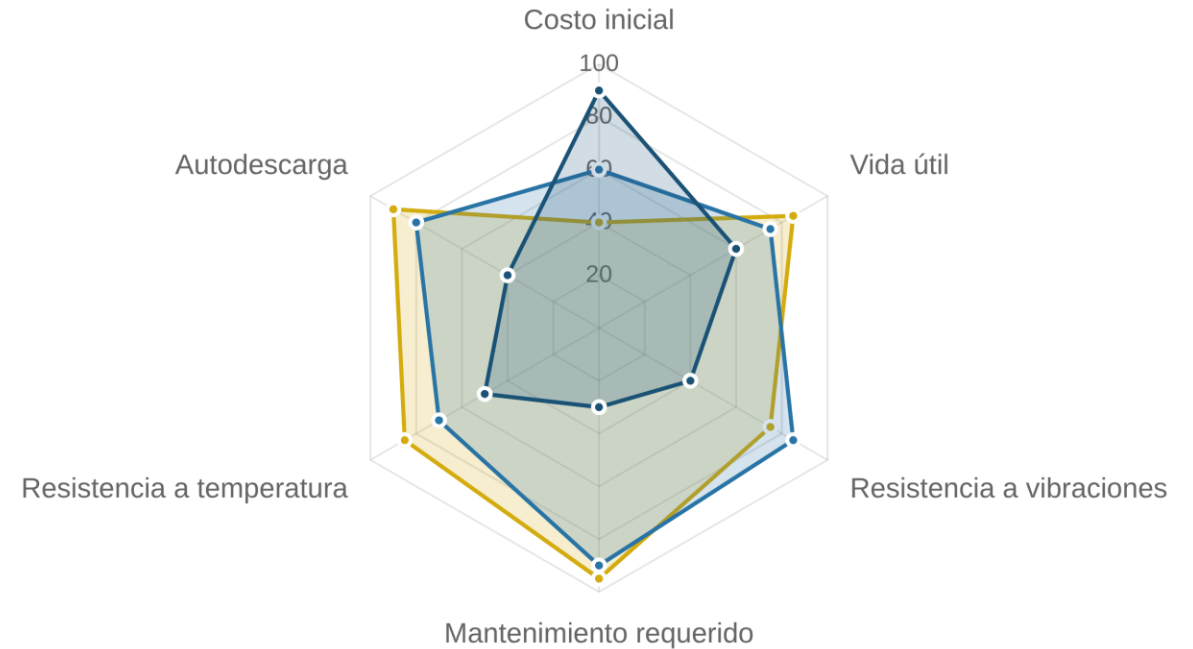
Electrolito absorbido en separadores de fibra de vidrio. Selladas, libres de mantenimiento, resistentes a vibraciones y con baja autodescarga.

Gel

Electrolito gelificado con sílice. Excelente rendimiento en ciclos profundos, mayor resistencia a temperaturas extremas y menor corrosión.

Comparativa de tipos de baterías de plomo-ácido

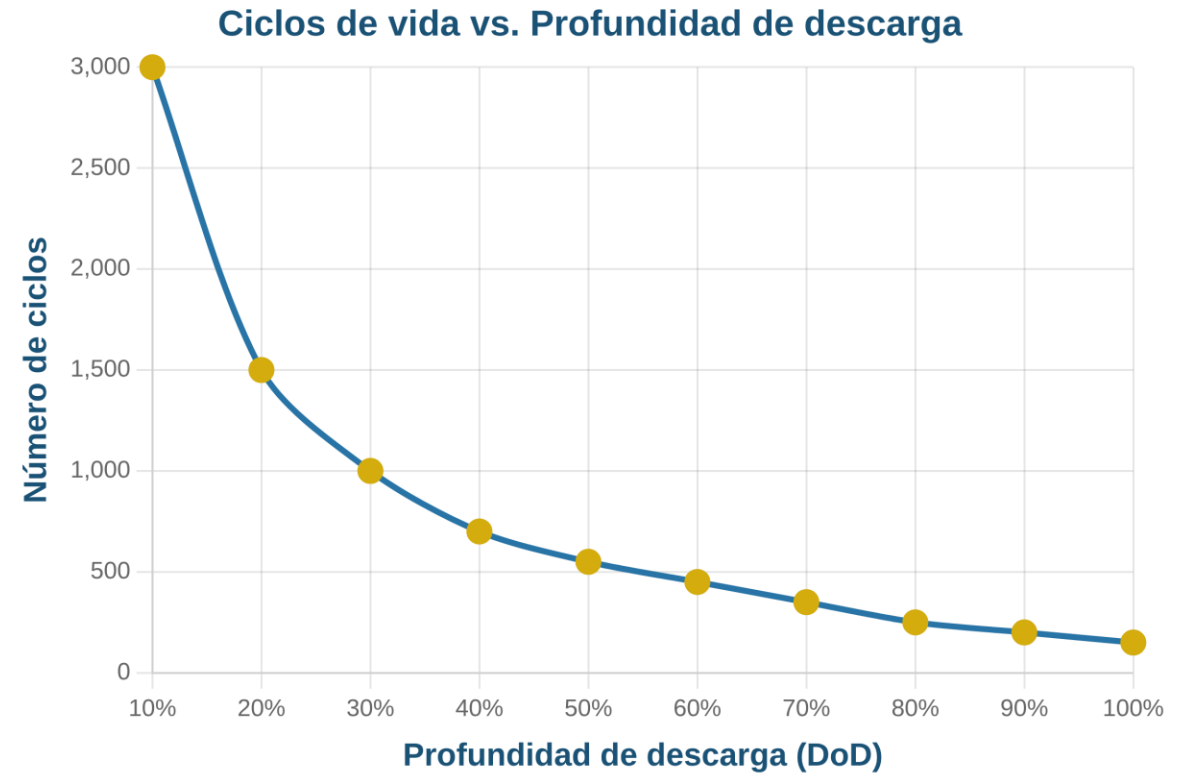
 Inundadas (VLA)  AGM  Gel



Mecanismos de degradación

-  **Sulfatación:** Formación de cristales de sulfato de plomo que no participan en la reacción reversible.
-  **Estratificación del electrolito:** Concentración desigual del ácido sulfúrico.
-  **Dendritación:** Crecimiento de estructuras metálicas que pueden causar cortocircuitos.
-  **Pérdida de agua:** Electrólisis del agua durante la sobrecarga.
-  **Corrosión:** Deterioro de los componentes metálicos, especialmente en la rejilla positiva.

Rendimiento y Degradación



AGM vs. Gel: ¿Cuál Elegir?

Característica	AGM	GEL
Resistencia Interna	Baja	Más alta
Entrega de Corriente Pico	Superior	Inferior
Tolerancia a Descargas Profundas	Buena	Excelente
Vida Útil en Ciclos	Buena	Superior
Aplicación Típica	UPS, Start-Stop	Solar, Carritos de Golf

Degradación en Baterías de Plomo-Ácido



Sulfatación

Cristales de sulfato de plomo (PbSO_4) crecen y se endurecen, bloqueando la superficie activa de las placas y reduciendo la capacidad.



Corrosión de Rejilla

La rejilla positiva de plomo se corroe con el tiempo, debilitando la estructura y perdiendo contacto con el material activo.



Estratificación del Ácido

El ácido sulfúrico se concentra en el fondo de la celda, provocando sulfatación en la parte baja y corrosión en la parte alta.

Baterías de Níquel-Cadmio (NiCd)

Tecnología robusta y duradera

Las baterías de níquel-cadmio fueron **desarrolladas en 1899** por Waldemar Jungner.

Utilizan **hidróxido de níquel (NiOOH)** como electrodo positivo y **cadmio metálico (Cd)** como electrodo negativo.

Reacción química: $2\text{NiOOH} + \text{Cd} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Ni(OH)}_2 + \text{Cd(OH)}_2$

Características principales

- ⚡ Voltaje nominal: 1.2V por celda
- 🔋 Densidad energética: 40-60 Wh/kg
- ♻️ Ciclos de vida: 1,000-2,000 ciclos

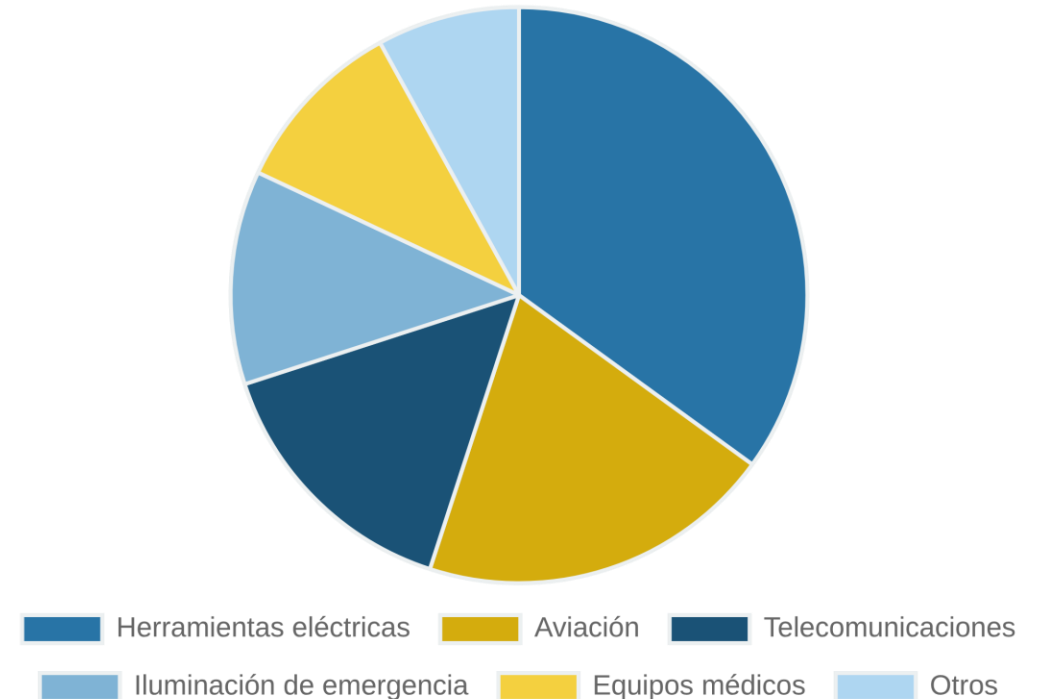


Aplicaciones de Baterías NiCd

Principales aplicaciones

-  **Herramientas eléctricas:** Taladros, destornilladores y otras herramientas inalámbricas por su alta resistencia a impactos y descargas profundas.
-  **Aviación:** Sistemas de emergencia y arranque en aeronaves por su fiabilidad en condiciones extremas.
-  **Telecomunicaciones:** Sistemas de respaldo de energía para estaciones base y equipos de comunicación.
-  **Iluminación de emergencia:** Sistemas de iluminación de seguridad en edificios e instalaciones públicas.

Distribución de aplicaciones de baterías NiCd



Los Dos Grandes Problemas del Ni-Cd

Efecto Memoria



Si una batería de Ni-Cd no se descarga completamente antes de recargarla, "recuerda" el nivel de energía menor y la capacidad utilizable se reduce drásticamente.

Toxicidad del Cadmio



El Cadmio es un metal pesado altamente tóxico y perjudicial para el medio ambiente. Su uso está fuertemente restringido por regulaciones como la Directiva RoHS de la Unión Europea para proteger la salud y el entorno.

Ni-MH: La Evolución Ecológica

Batería de Níquel-Hidruro Metálico

Sustituye el ánodo de **Cadmio** por una **aleación de hidruro metálico**, marcando un hito en la tecnología de baterías recargables.



**+40% Más Densidad de
Energía**



Sin Cadmio Tóxico



Menor Efecto Memoria

Aplicación Icónica: Fundamental en los primeros vehículos híbridos como el **Toyota Prius**.

Baterías de Níquel-Hidruro Metálico (NiMH)

Alternativa más ecológica

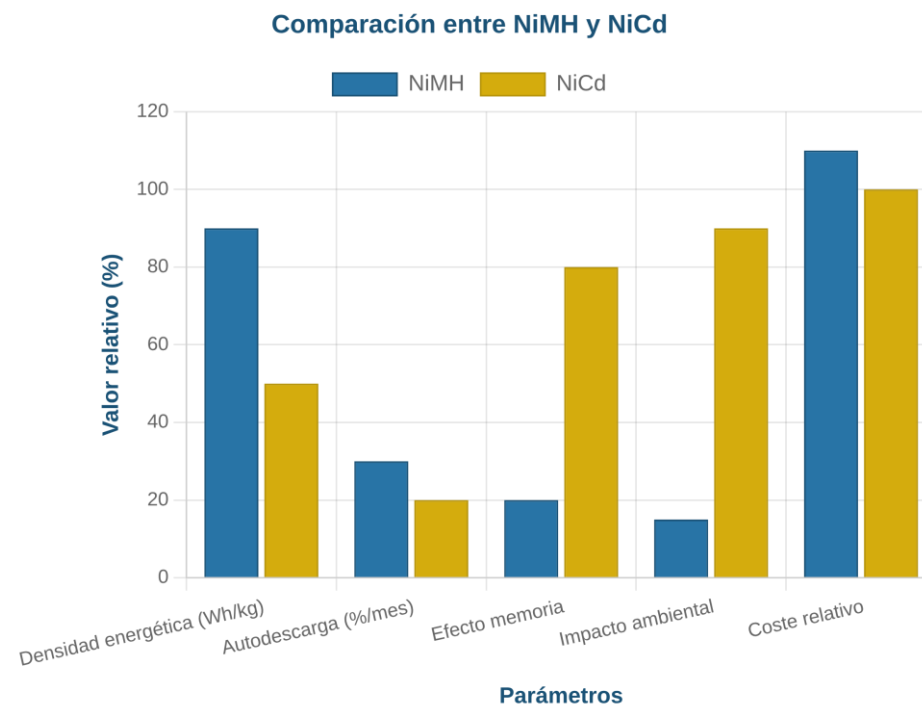
Las baterías NiMH fueron **comercializadas en la década de 1990** como alternativa más ecológica a las NiCd.

Utilizan **hidróxido de níquel (NiOOH)** como electrodo positivo, una **aleación de hidruro metálico** como electrodo negativo, y **hidróxido de potasio (KOH)** como electrolito.

Reacción química: $\text{NiOOH} + \text{MH} \rightleftharpoons \text{Ni(OH)}_2 + \text{M}$
donde M representa la aleación metálica.

Características principales

- ⚡ Voltaje nominal: 1.2V por celda
- 🔋 Densidad energética: 60-120 Wh/kg
- ♻️ Ciclos de vida: 500-1,000 ciclos
- ⚠️ Efecto memoria: Reducido en comparación con NiCd



Ni-Cd vs. Ni-MH: Cara a Cara

Densidad Energética

Almacenan más energía en el mismo espacio, ofreciendo mayor autonomía.

Ventaja: Ni-MH

Toxicidad

Libres de cadmio, un metal pesado tóxico, lo que las hace más seguras para el medio ambiente.

Ventaja: Ni-MH

Autodescarga

Retienen la carga por más tiempo, aunque las modernas LSD Ni-MH son muy competitivas.

Ventaja: Ni-Cd

Característica	Ni-Cd	Ni-MH
Voltaje	1.2V	1.2V
Capacidad	~1000 mAh	~2500 mAh
Ciclos	>1000	~500
Memoria	Sí	Menor

Ciclos de Vida

Soportan un mayor número de ciclos de carga y descarga antes de degradarse.

Ventaja: Ni-Cd

Robustez

Más tolerantes a sobrecargas y descargas profundas, haciéndolas muy duraderas.

Ventaja: Ni-Cd

Ventajas y Desventajas de NiMH

Análisis comparativo de NiMH

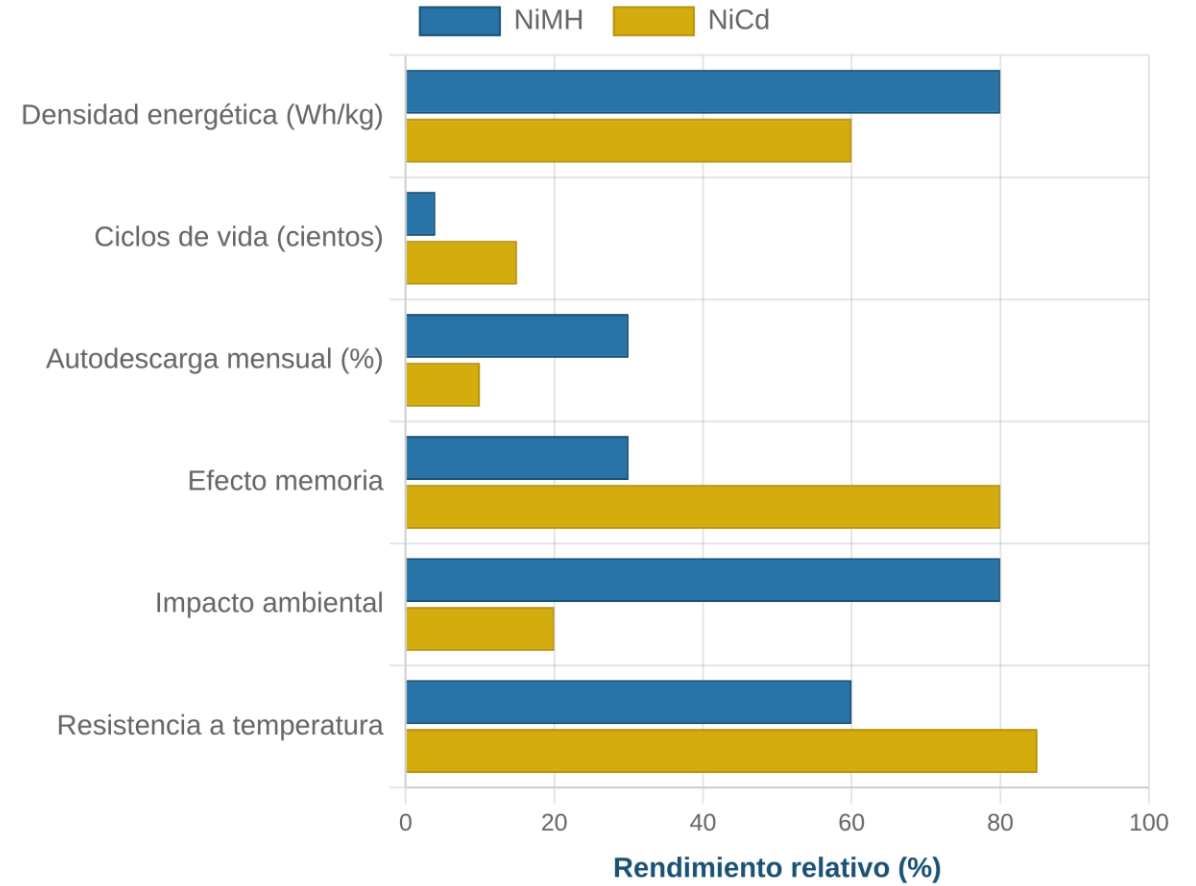
Ventajas

- ⊕ Mayor densidad energética (30-40% más que NiCd)
- ⊕ Menor efecto memoria que las baterías NiCd
- ⊕ Más respetuosas con el medio ambiente (sin cadmio)

Desventajas

- ⊖ Mayor tasa de autodescarga (20-30% mensual)
- ⊖ Menor vida útil (300-500 ciclos vs 1000+ en NiCd)
- ⊖ Rendimiento reducido a altas temperaturas

Comparación entre NiMH y NiCd

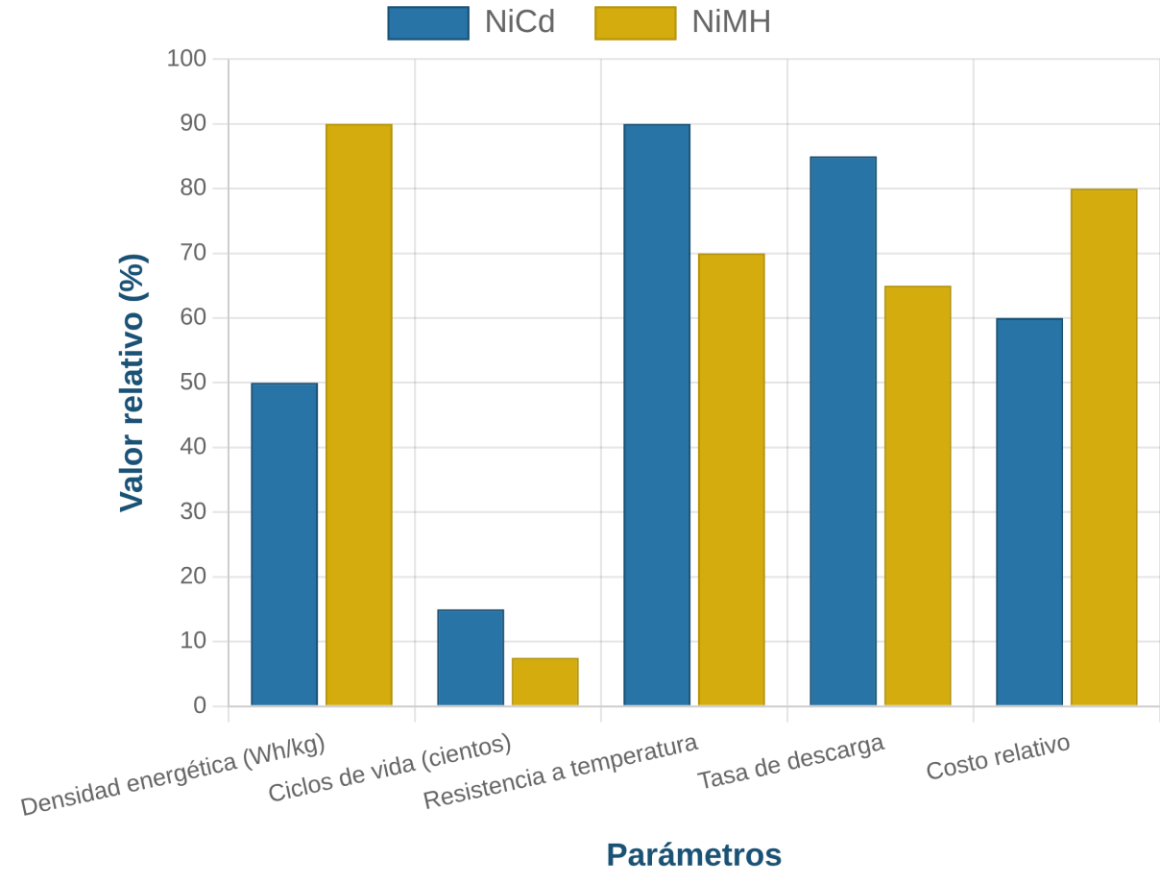


Comparativa entre Tecnologías de Níquel

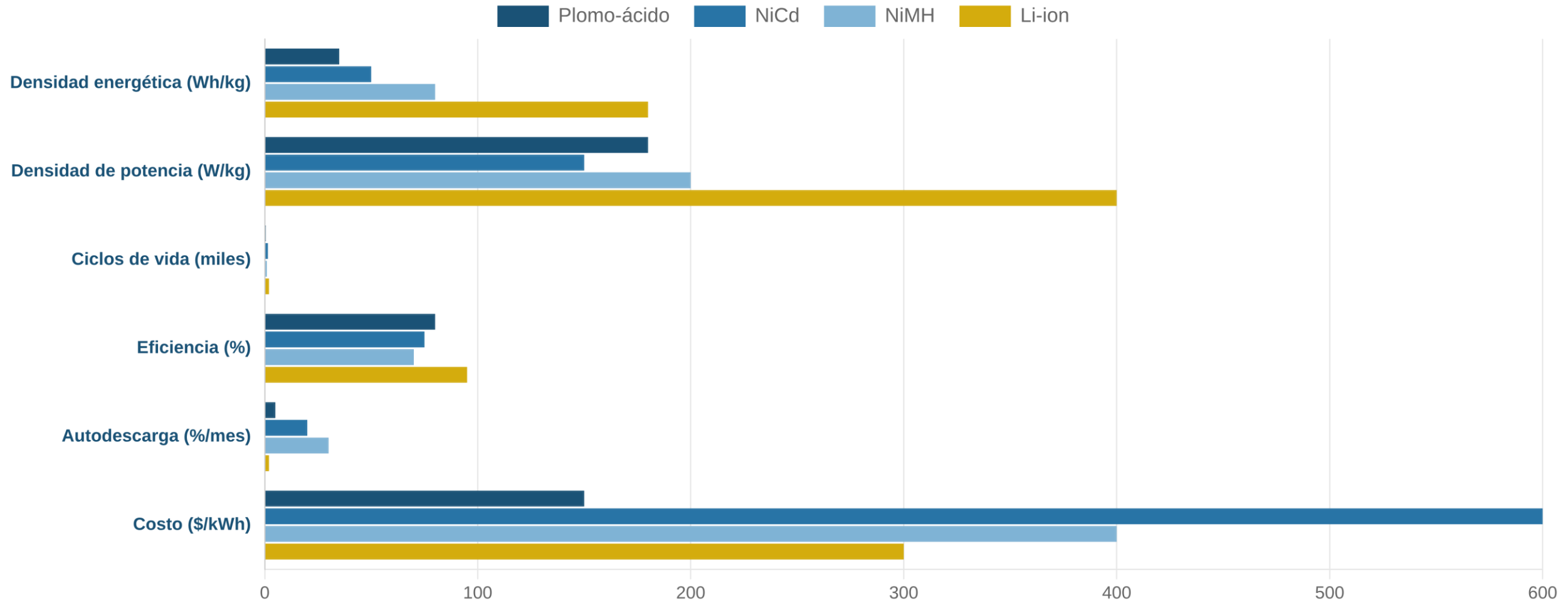
NiCd vs NiMH: Análisis comparativo

Densidad energética	40-60 Wh/kg	60-120 Wh/kg
Ciclos de vida	1,000-2,000	500-1,000
Efecto memoria	Pronunciado	Reducido
Autodescarga	10-20% mensual	20-30% mensual
Impacto ambiental	Alto (Cd tóxico)	Moderado
Costo	Menor	Mayor

Comparación de rendimiento entre NiCd y NiMH



Comparación de Tecnologías Tradicionales vs. Modernas



Conceptos Fundamentales de Tecnologías Tradicionales de Baterías

Baterías de plomo-ácido

Tecnología más antigua y económica, con aplicaciones en arranque de vehículos, respaldo de energía y almacenamiento estacionario. Limitada por su baja densidad energética y ciclo de vida.

Baterías de níquel-cadmio (NiCd)

Destacan por su robustez, larga vida útil y rendimiento en condiciones extremas. Limitadas por el efecto memoria y el impacto ambiental del cadmio.

Baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH)

Alternativa más ecológica a las NiCd, con mayor densidad energética y menor efecto memoria. Desventajas en autodescarga y ciclo de vida más corto.

Tendencias y evolución

Las tecnologías tradicionales siguen siendo relevantes en aplicaciones específicas, aunque están siendo gradualmente reemplazadas por tecnologías más avanzadas como las de litio.

Próximo tema

Tecnologías Avanzadas de Baterías: Litio-ion y sus variantes (LFP, NMC, NCA)

Parte 3: Tecnologías Avanzadas de Baterías de Litio

2025

Objetivos de Aprendizaje

- Comprender los principios fundamentales de funcionamiento de las baterías de litio-ion
- Identificar los componentes principales y su función en las diferentes tecnologías de litio
- Analizar las características específicas de las variantes LFP, NMC y NCA
- Comparar el rendimiento de las diferentes tecnologías de litio según sus parámetros clave
- Conocer las aplicaciones principales de las baterías de litio en diferentes sectores

Introducción a las Baterías de Litio

Revolución en el almacenamiento de energía

Las baterías de litio-ion representan la **tecnología dominante** en el almacenamiento de energía moderno.

Ofrecen **alta densidad energética**, larga vida útil y versatilidad para múltiples aplicaciones.

Su desarrollo ha sido clave para la **electrificación del transporte** y la integración de energías renovables.

Evolución histórica

1970s	Primeros trabajos con electrodos de litio por M.S. Whittingham
1980	John Goodenough desarrolla el cátodo de óxido de cobalto de litio
1991	Sony comercializa la primera batería de litio-ion
2019	Premio Nobel de Química para Goodenough, Whittingham y Yoshino

La Revolución de las Baterías de Iones de Litio



**Alta Densidad
de Energía**

~3.7V

**Alto Voltaje
por Celda**



**Baja
Autodescarga**



**Sin
Efecto Memoria**

"La tecnología que impulsó la electrónica portátil y la movilidad eléctrica."

¿Cómo Funciona una Batería de Li-ion?

Descarga

Los iones de Litio (Li^+)
viajan del ánodo (grafito)
al cátodo a través del
electrolito.



LITHIUM ION BATTERY STRUCTURE

- Cathode- Positive electrode
- Anode- Negative electrode
- Separator
- Electrolyte
- Can and terminals
- Safety vents

Carga

El proceso se invierte, los
iones vuelven al ánodo.

Mecanismo de intercalación de iones

Las baterías de litio-ion funcionan mediante el **principio de intercalación**, donde los iones de litio (Li^+) se mueven entre el ánodo y el cátodo.

Durante la **carga**, los iones de litio se extraen del cátodo y se insertan en el ánodo.

Durante la **descarga**, los iones de litio se mueven en dirección contraria, del ánodo al cátodo.

Reacción electroquímica básica

Ánodo: $\text{LiCoO}_2 \rightarrow \text{Li}_{(1-x)}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$ (durante la descarga)
 $\text{Li}_{(1-x)}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^- \rightarrow \text{LiCoO}_2$ (durante la carga)

Cátodo: $x\text{Li}^+ + x\text{e}^- + \text{CoO}_2 \rightarrow \text{LiCoO}_2$ (durante la descarga)
 $\text{LiCoO}_2 \rightarrow x\text{Li}^+ + x\text{e}^- + \text{CoO}_2$ (durante la carga)

Un Universo de Químicas de Litio

Aunque el principio es el mismo, el material del cátodo define las prestaciones de la batería.

LCO

Óxido de Cobalto y Litio

LFP

Fosfato de Hierro y Litio

NMC

Níquel, Manganeso,
Cobalto

NCA

Níquel, Cobalto, Aluminio

Estructura de una batería de litio-ion

-  **Cátodo:** Óxido metálico de litio (LiCoO_2 , LiFePO_4 , LiNiMnCoO_2 , etc.). Determina muchas de las propiedades de la batería.
-  **Ánodo:** Generalmente grafito (carbono), permite la intercalación de iones de litio entre sus capas.
-  **Electrolito:** Sal de litio en solvente orgánico (LiPF_6), permite el movimiento de iones Li^+ entre electrodos.
-  **Separador:** Membrana polimérica microporosa que evita el contacto directo entre electrodos.
-  **Colectores de corriente:** Láminas de cobre (ánodo) y aluminio (cátodo) que conducen la corriente.

Principales variantes tecnológicas

Litio-Ferrofosfato (LFP)

Utiliza LiFePO_4 como material catódico. Destaca por su seguridad, estabilidad térmica y larga vida útil. Menor densidad energética pero mayor durabilidad.

Níquel-Manganeso-Cobalto (NMC)

Combina níquel, manganeso y cobalto en el cátodo. Equilibrio entre densidad energética, potencia y vida útil. Ampliamente utilizada en vehículos eléctricos.

Níquel-Cobalto-Aluminio (NCA)

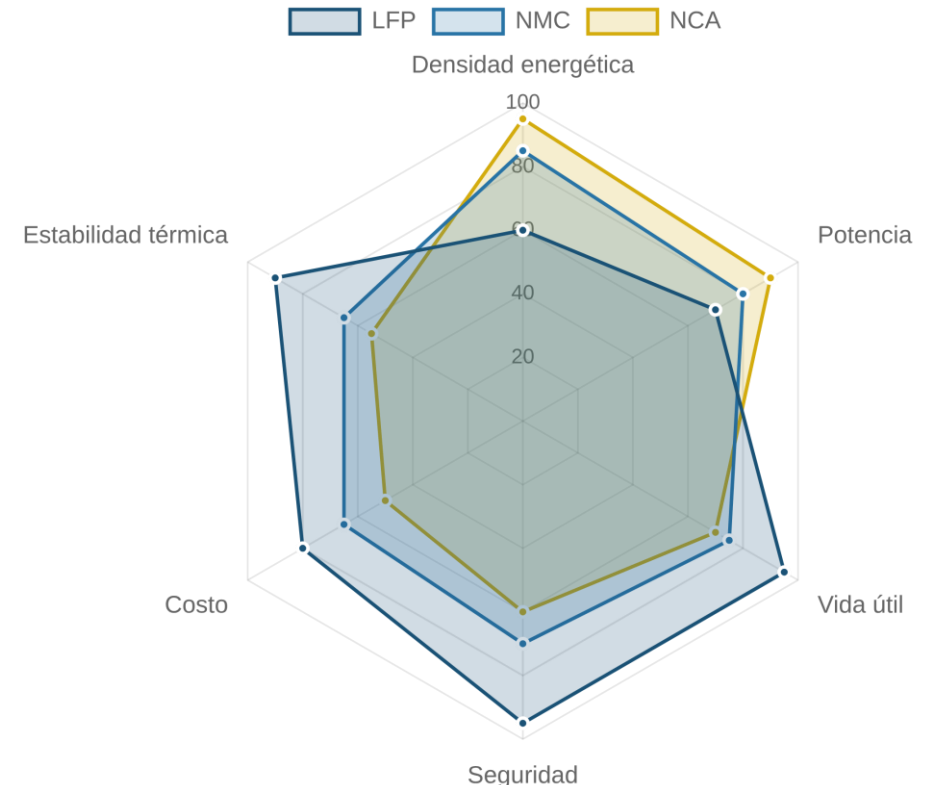
Incorpora aluminio para mejorar la estabilidad. Alta densidad energética y potencia. Utilizada en aplicaciones de alto rendimiento como Tesla.

Tipos de Baterías de Litio

Óxido de Litio-Cobalto (LCO)

La primera tecnología comercializada. Alta densidad energética pero menor estabilidad térmica y vida útil. Común en electrónica de consumo.

Comparativa de tipos de baterías de litio



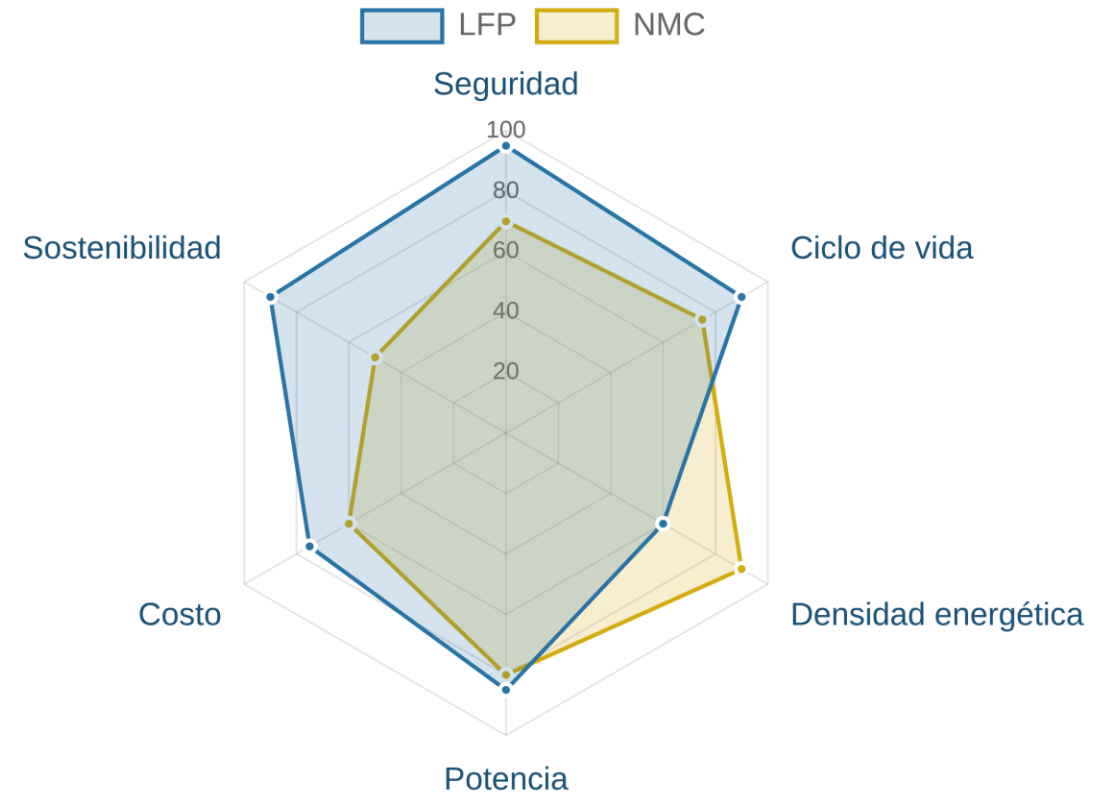
Baterías de Litio-Ferrofosfato (LFP)

Características principales

Las baterías LFP utilizan **fosfato de hierro y litio** (LiFePO_4) como material catódico.

- 🛡️ **Alta seguridad térmica:** Extremadamente estables, con resistencia a fugas térmicas incluso en condiciones de abuso.
- ♻️ **Larga vida útil:** 2,000-4,000 ciclos, superior a otras químicas de litio.
- ⚡ **Alta potencia:** Excelente capacidad de descarga, ideal para aplicaciones que requieren altas corrientes.
- 🌿 **Sostenibilidad:** No contiene cobalto ni otros metales raros, menor impacto ambiental.

LFP vs NMC: Comparación de rendimiento



Baterías de Níquel-Manganeso-Cobalto (NMC)

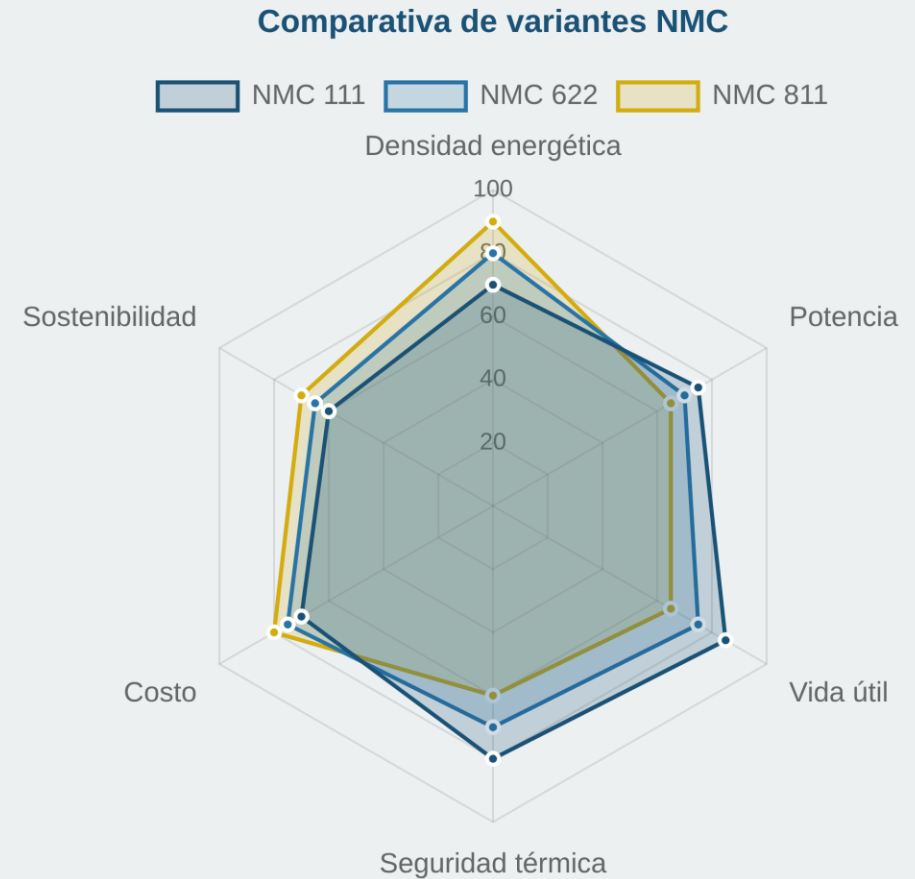
Equilibrio entre energía y potencia

Las baterías NMC utilizan un **cátodo compuesto por níquel, manganeso y cobalto** en diferentes proporciones.

Fórmula química: $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$ donde $x+y+z=1$

- ⊕ **Níquel:** Proporciona alta densidad energética
- ⊕ **Manganeso:** Crea estructura estable y reduce costo
- ⊕ **Cobalto:** Mejora estabilidad térmica y vida útil

Variantes comunes: **NMC 111** (proporciones iguales), **NMC 532**, **NMC 622** y **NMC 811** (mayor contenido de níquel).



Baterías de Níquel-Cobalto-Aluminio (NCA)

Alta densidad energética y rendimiento

Las baterías NCA utilizan un **cátodo compuesto por níquel, cobalto y aluminio**

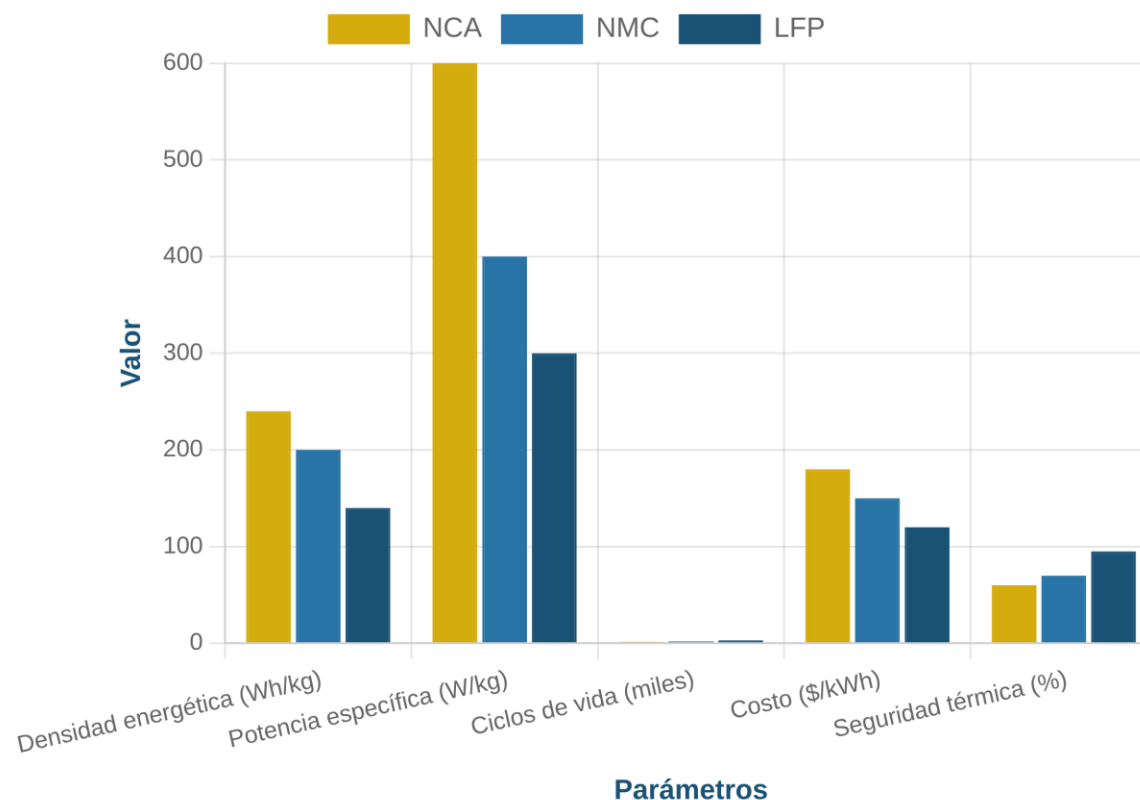
- ⚡ **Alta densidad energética:** 200-260 Wh/kg, una de las más altas entre las baterías de litio
- 🔋 **Excelente potencia específica:** Ideal para aplicaciones que requieren alta aceleración
- ⚠️ **Menor estabilidad térmica:** Requiere sistemas de gestión térmica más sofisticados

Aplicaciones principales

Vehículos eléctricos de alto rendimiento (Tesla), aplicaciones aeroespaciales y dispositivos electrónicos premium.

te 3: Tecnologías Avanzadas de Baterías de Litio

Comparativa de NCA con otras tecnologías



Sectores clave para baterías de litio



Movilidad eléctrica: Vehículos eléctricos (BEV), híbridos (HEV) y de autonomía extendida (PHEV). Cada química de litio tiene aplicaciones específicas según requisitos de autonomía y potencia.



Almacenamiento estacionario: Sistemas residenciales, comerciales y a escala de red para integración de renovables, gestión de picos de demanda y respaldo energético.

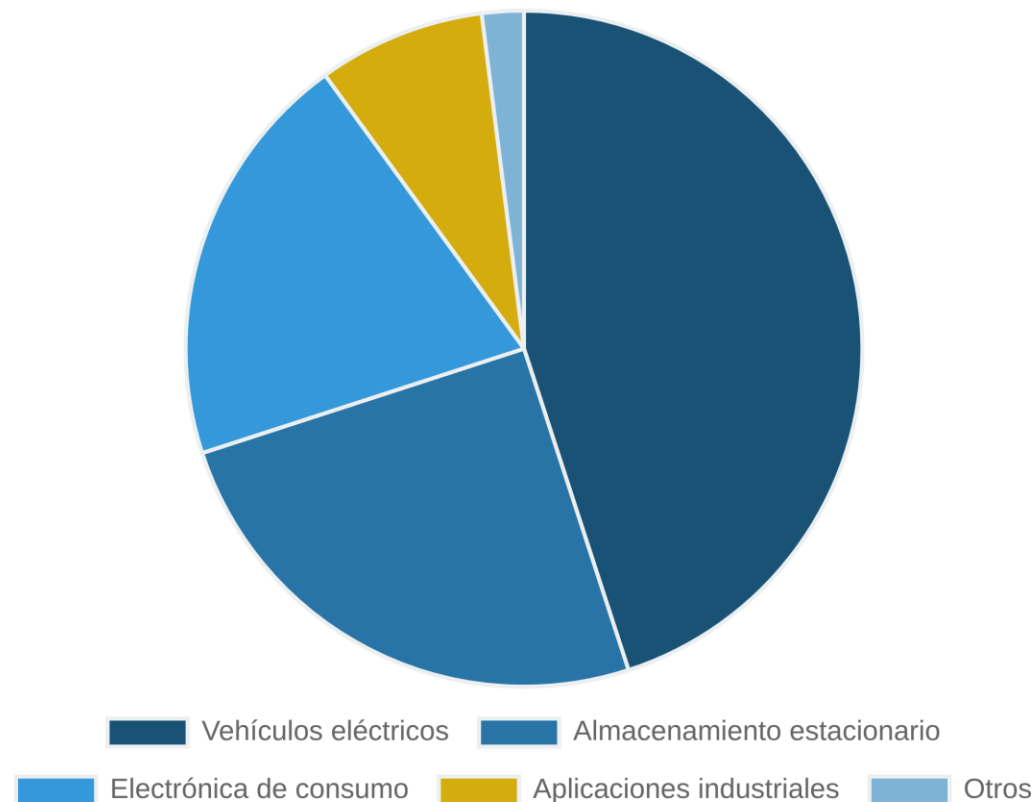


Electrónica de consumo: Dispositivos móviles, ordenadores portátiles, herramientas inalámbricas y otros equipos electrónicos portátiles.



Aplicaciones industriales: Carretillas elevadoras, sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), robótica y automatización.

Distribución del mercado de baterías de litio por aplicación (2025)



Conceptos Fundamentales de Tecnologías Avanzadas de Baterías de Litio

Principio de intercalación

Las baterías de litio-ion funcionan mediante el movimiento reversible de iones Li^+ entre electrodos, permitiendo almacenar y liberar energía de forma eficiente.

Componentes críticos

El material catódico determina en gran medida las propiedades de la batería, mientras que el electrolito y separador son fundamentales para la seguridad y rendimiento.

Equilibrio de propiedades

Cada química de litio ofrece un balance diferente entre densidad energética, potencia, vida útil, seguridad y costo, adaptándose a distintas aplicaciones.

Tendencias de desarrollo

La evolución de las baterías de litio avanza hacia mayor densidad energética, reducción de cobalto, mayor seguridad y menor costo por kWh almacenado.

Próximo tema

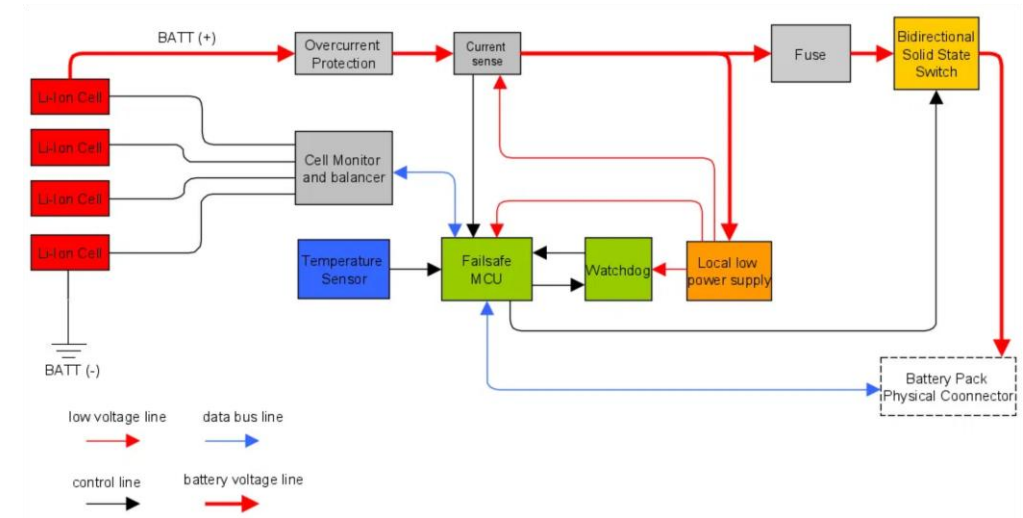
Tecnologías Emergentes de Almacenamiento: Estado Sólido, Litio-Azufre y Litio-Aire

¿Qué es un BMS?

Un **Sistema de Gestión de Baterías (BMS)** es el sistema encargado de monitorear, proteger y gestionar una batería.

*"Es el equivalente al **cerebro** del sistema de baterías."*

El BMS garantiza el funcionamiento seguro y eficiente de las baterías, maximizando su vida útil y rendimiento.



Funciones Clave del BMS

Monitoraggio

- ⚡ Voltaje por celda y por módulo
- ↔ Corriente (carga y descarga)
- 🌡️ Temperatura (por celda o grupo)
- 🔋 Estado de carga (SoC) y estado de salud (SoH)

Protección

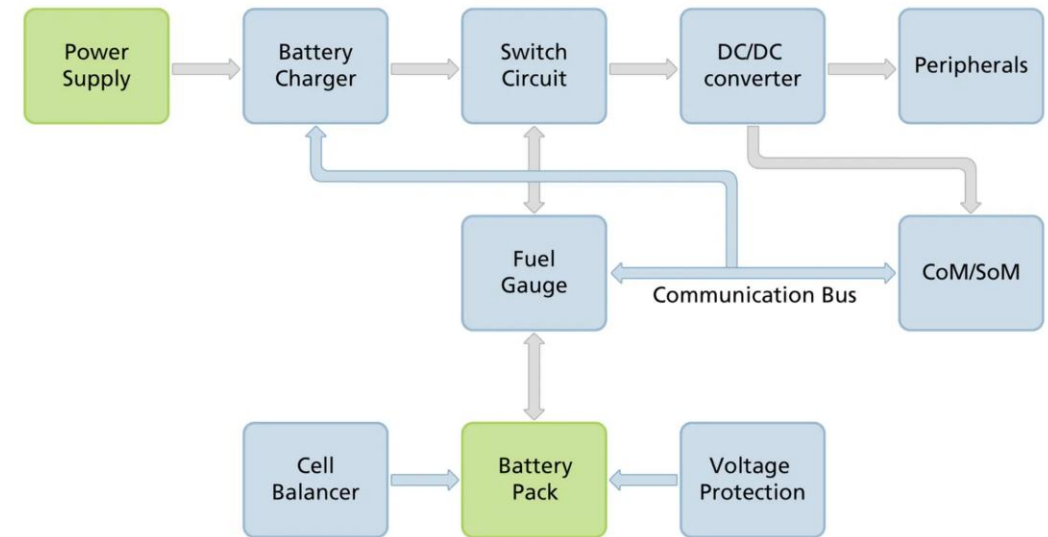
- Contra sobrecarga, sobredescarga, sobrecorriente
- Gestión térmica (ventiladores, resistencias)

Balanceo de celdas

- ⚖️ Pasivo: resistencia disipa la energía
- ↔️ Activo: transfiere energía entre celdas

Comunicaciones y Diagnóstico

- Modbus, CAN, RS485, Ethernet
- Registro de eventos, alarmas y comportamiento



Tipos de BMS según Arquitectura

Centralizado

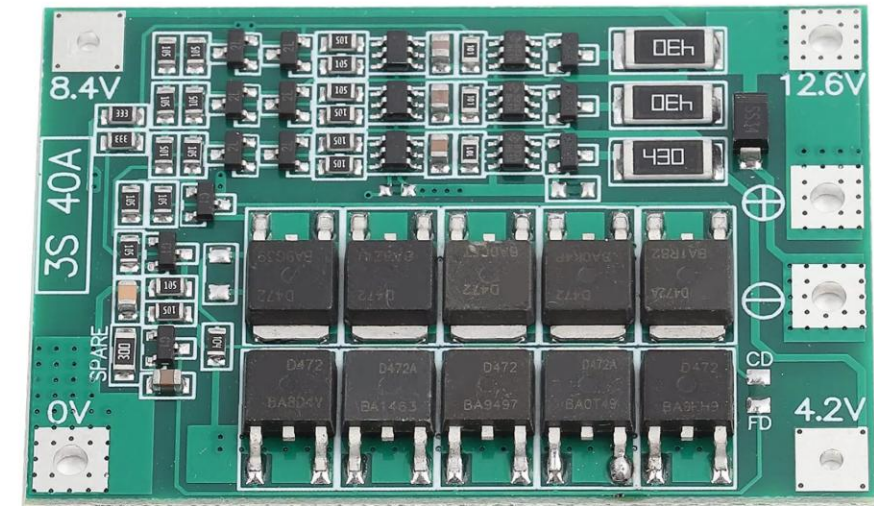
Todo el sistema de gestión se encuentra en una sola unidad. Ideal para sistemas pequeños y medianos.

Distribuido

Utiliza módulos con microcontroladores locales que se comunican con una unidad central. Ofrece mayor flexibilidad y redundancia.

Modular

Combina características de ambos sistemas anteriores. Es escalable y común en grandes bancos de baterías para aplicaciones industriales.



Ejemplo de una placa BMS para sistema de baterías de litio

El BMS juega un papel crucial en la seguridad de los sistemas de baterías, especialmente en aplicaciones de alta potencia.

Prevención de incendios

Evita fugas térmicas (thermal runaway) y desequilibrios entre celdas que podrían provocar sobrecalentamiento e incendios.

Detección de condiciones críticas

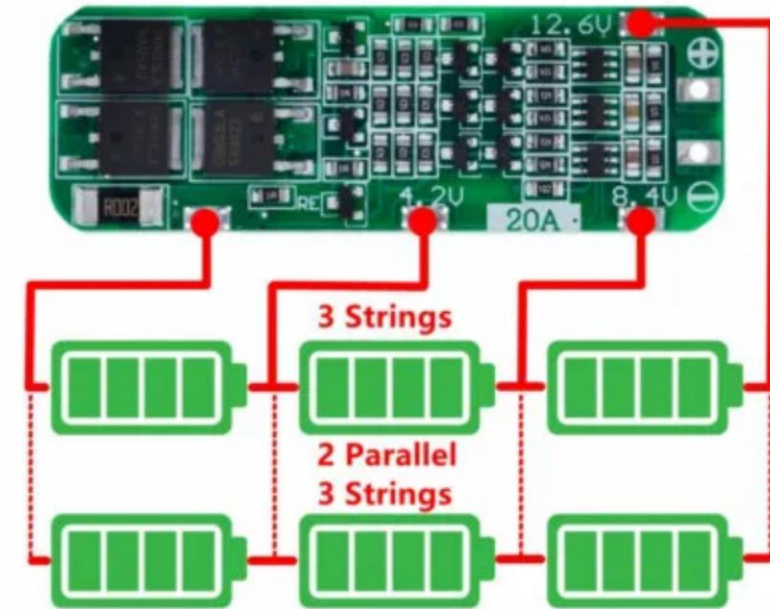
Detiene la operación automáticamente cuando detecta condiciones peligrosas como sobrecarga, sobredescarga o temperaturas extremas.

Control y gestión remota

Permite apagado controlado y monitoreo remoto, facilitando la gestión de emergencias y mantenimiento preventivo.

Importancia del BMS en Seguridad

3S 20A BMS Li-ion Protection Board 11.1V 12V 12.6V



Sistema BMS con circuitos de protección para baterías de litio

Inteligencia y Tendencias en BMS

Algoritmos de IA para predicción

Implementación de algoritmos de inteligencia artificial para predecir fallos antes de que ocurran, mejorando la confiabilidad del sistema.

Modelos adaptativos para SoC y SoH

Desarrollo de modelos adaptativos que proporcionan estimaciones más precisas del estado de carga (SoC) y estado de salud (SoH) de las baterías.

Integración con plataformas cloud

Conexión de sistemas BMS con plataformas en la nube para análisis predictivo, monitoreo remoto y optimización del rendimiento en tiempo real.



Sistema de monitoreo inteligente con conectividad avanzada

Certificaciones por Componente

Baterías

- ☀ **UL 1973** – Seguridad de baterías estacionarias
- ☀ **UL 9540A** – Pruebas de propagación de fuego (thermal runaway)
- ☀ **IEC 62619** – Seguridad para celdas y baterías de litio (uso industrial)
- ☀ **UN 38.3** – Transporte seguro de baterías de litio

BMS

- ☀ Parte de **UL 1973** y **IEC 62619** como subsistemas
- ☀ En sistemas grandes, deben cumplir con protocolos de comunicación seguros

Sistema completo (BESS)

- ☀ **UL 9540** – Sistemas de almacenamiento de energía
- ☀ **IEC 62933** – Serie para sistemas de almacenamiento de energía eléctrica



Certificación UL 9540 para sistemas de almacenamiento de energía

¿Quién Exige estas Certificaciones?

Fabricantes

Para poder vender en mercados regulados y garantizar la calidad y seguridad de sus productos.

Instaladores

Para evitar riesgos durante la instalación y cumplir con las normativas locales de seguridad.

Aseguradoras y Bancos

Para asegurar el sistema y financiarlo, reduciendo riesgos financieros asociados a fallos o accidentes.

Gobierno

Para otorgar permisos de instalación y operación, cumpliendo con las normas locales de protección civil.



Proceso de certificación para sistemas de baterías

Estado Actual de Normativas

Las normas NOM específicas para sistemas de almacenamiento de energía aún están en desarrollo, pero el sector está evolucionando rápidamente.

Requisitos de Protección Civil y Aseguradoras

Aunque no hay normativa específica, las autoridades de protección civil y aseguradoras suelen exigir certificaciones internacionales como UL 9540 y UL 1973.

Tendencias en Licitaciones

Las licitaciones públicas y privadas están comenzando a incluir requisitos de certificaciones internacionales para garantizar la calidad y seguridad.

Recomendación:

Ante la ausencia de normativa local específica, es recomendable adoptar estándares internacionales reconocidos para facilitar la aprobación de

Consideraciones en México



Proceso de certificación internacional para sistemas de baterías aplicable en México ante la ausencia de normativas específicas

Recomendaciones clave para la selección e implementación de sistemas BMS certificados:

Evitar sistemas sin certificación

Nunca instalar sistemas que no tengan al menos certificaciones IEC o UL aplicables, incluso si el costo inicial es más atractivo.

Validar certificados

Verificar que los certificados estén vigentes y sean emitidos por organismos reconocidos internacionalmente. Solicitar siempre la documentación completa.

BMS con respaldo técnico

Usar equipos con BMS de fabricantes reconocidos y evitar BMS genéricos sin respaldo técnico, documentación o servicio postventa.

Consejos Prácticos



Documentación completa

Mantener un archivo con toda la documentación técnica, certificados y pruebas realizadas para facilitar trámites con aseguradoras y autoridades.

Conclusión

El BMS como elemento crítico

El Sistema de Gestión de Baterías (BMS) es el componente fundamental que garantiza la seguridad, eficiencia y longevidad de los sistemas de almacenamiento de energía.

Funciones integradas

Un BMS efectivo debe integrar monitoreo preciso, protección robusta, balanceo eficiente y comunicaciones fiables para maximizar el rendimiento del sistema.

Certificaciones como garantía

Las certificaciones internacionales (UL, IEC) son la mejor garantía de calidad y seguridad, especialmente en mercados donde la normativa local está en desarrollo.

Inversión en calidad

Invertir en sistemas BMS certificados y respaldados por fabricantes reconocidos es esencial para evitar riesgos y garantizar la viabilidad a largo plazo de los proyectos.

La seguridad y eficiencia de un sistema de baterías depende directamente de la calidad de su BMS



Smart, Safe And Non-toxic
LifePO4 Battery

B-LFP48-200PW
B-LFP48-100E

Product Certified
IEC TEST CERTIFICATE

SLBATT®
Best Solution Lithium Battery

The image shows two IEC test certificates for SLBATT batteries, overlaid on a dark blue background with a glowing light effect. The certificates are for B-LFP48-200PW and B-LFP48-100E models. The text 'Product Certified' is prominently displayed in a large, white, serif font, with 'IEC TEST CERTIFICATE' written below it in a smaller, white, sans-serif font. The SLBATT logo is in the bottom right corner.

Sistema de baterías con BMS certificado según estándares internacionales, garantizando seguridad y rendimiento óptimo

Parte 4: Tecnologías Emergentes de Almacenamiento

2025

Objetivos de Aprendizaje

-  Comprender los principios fundamentales de las baterías de estado sólido y sus ventajas frente a las tecnologías convencionales
-  Analizar las tecnologías emergentes de litio-azufre y litio-aire, sus mecanismos y potencial energético
-  Explorar el funcionamiento de las baterías de flujo redox y sus aplicaciones en almacenamiento estacionario
-  Conocer las baterías de sodio-ion como alternativa sostenible a las tecnologías basadas en litio
-  Evaluar comparativamente las tecnologías emergentes y su horizonte de comercialización

Baterías de Estado Sólido: Introducción

La próxima generación de almacenamiento

Las baterías de estado sólido representan una **evolución disruptiva** en la tecnología de almacenamiento electroquímico.

Su característica principal es la sustitución del **electrolito líquido** por un **conductor iónico sólido**, eliminando los riesgos asociados a los electrolitos orgánicos inflamables.

Mantienen el principio de intercalación de iones de litio, pero con una arquitectura interna radicalmente diferente.

Tipos de electrolitos sólidos

Poliméricos: Basados en polímeros conductores como PEO (óxido de polietileno)

Cerámicos: Materiales como LLZO ($\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$) y LGPS ($\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$)

Híbridos: Combinación de materiales poliméricos y cerámicos

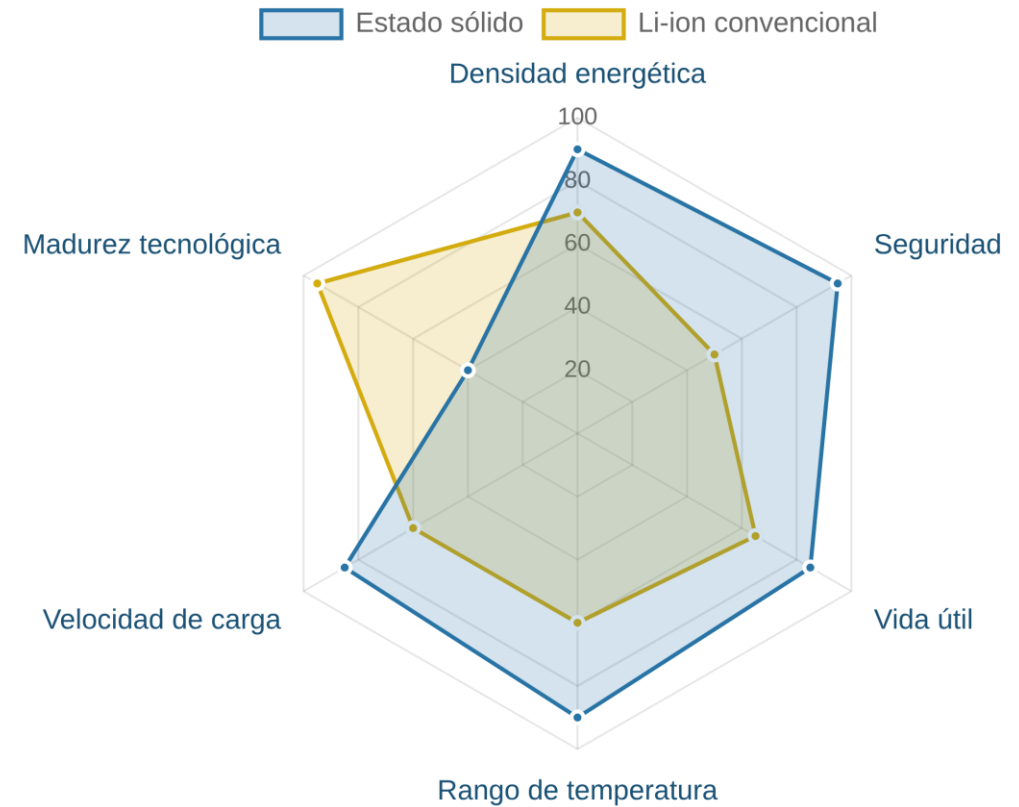
 Batería de estado sólido

Ventajas de las Baterías de Estado Sólido

Beneficios clave frente a tecnologías convencionales

- **Mayor seguridad:** Eliminación del riesgo de fugas, cortocircuitos internos e incendios asociados a electrolitos líquidos inflamables.
- **Mayor densidad energética:** Potencial teórico de 400-500 Wh/kg (vs. 250-300 Wh/kg en Li-ion convencionales) gracias a la compatibilidad con ánodos de litio metálico.
- **Carga rápida:** Mayor conductividad iónica en algunos electrolitos sólidos permite tiempos de carga significativamente menores.
- **Amplio rango de temperatura operativa:** Funcionamiento estable desde -20°C hasta +80°C, superando las limitaciones de los electrolitos líquidos.
- **Mayor vida útil:** Reducción de la degradación de electrodos y formación de dendritas, permitiendo más ciclos de carga/descarga.

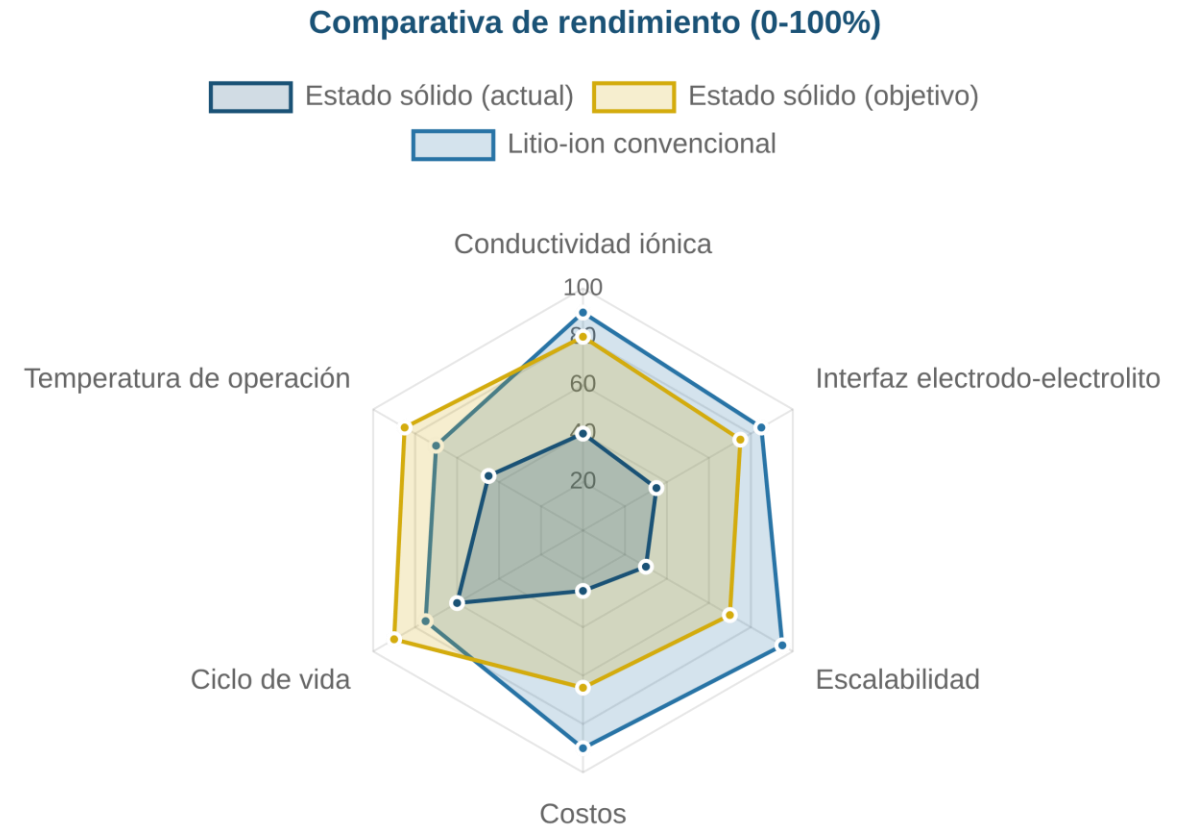
Comparación: Estado sólido vs. Li-ion convencional



Barreras para la comercialización

- ⚡ **Conductividad iónica:** Los electrolitos sólidos actuales presentan menor conductividad iónica que los líquidos, especialmente a temperatura ambiente.
- ⚡ **Interfaz electrodo-electrolito:** Problemas de contacto físico y resistencia en las interfaces, que limitan la transferencia de carga.
- 🏭 **Escalabilidad:** Dificultades para adaptar los procesos de fabricación de laboratorio a producción industrial masiva.
- 💰 **Costos:** Materiales y procesos de fabricación significativamente más caros que las tecnologías convencionales.
- ♻️ **Ciclo de vida:** Necesidad de demostrar durabilidad a largo plazo en condiciones reales de operación.

Desafíos Tecnológicos



Baterías de Litio-Azufre

Alta densidad energética teórica

Las baterías de litio-azufre (Li-S) utilizan **azufre elemental como cátodo** y **litio metálico como ánodo**.

Ofrecen una densidad energética teórica de **2,600 Wh/kg**, aproximadamente 5 veces superior a las baterías de litio-ion convencionales.

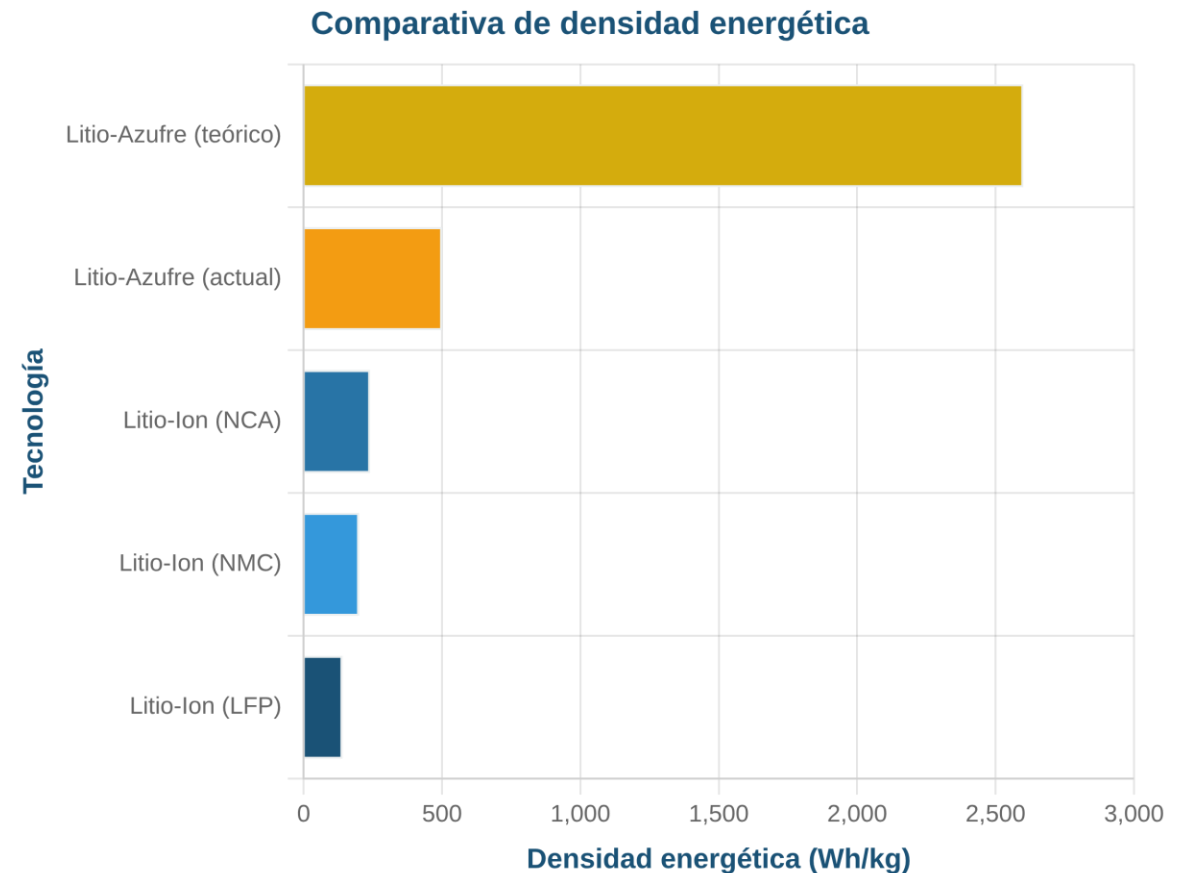
- ⊕ **Ventajas:** Bajo costo del azufre, alta densidad energética, menor impacto ambiental
- ⊖ **Desafíos:** Efecto shuttle de polisulfuros, baja conductividad del azufre, expansión volumétrica, degradación del ánodo de litio

Reacción electroquímica

Cátodo (reducción): $S + 2Li^+ + 2e^- \rightarrow Li_2S$

Ánodo (oxidación): $2Li \rightarrow 2Li^+ + 2e^-$

Reacción global: $2Li + S \rightarrow Li_2S$



El límite teórico de densidad energética

Las baterías de litio-aire (Li-O₂) utilizan **oxígeno atmosférico** como reactivo catódico, eliminando la necesidad de materiales pesados en el cátodo.

Ofrecen una **densidad energética teórica** de hasta 3,500 Wh/kg, comparable a la gasolina y aproximadamente 10 veces superior a las baterías Li-ion convencionales.

⚡ **Principio:** Durante la descarga, el litio metálico se oxida en el ánodo y el oxígeno se reduce en el cátodo, formando peróxido de litio (Li₂O₂).

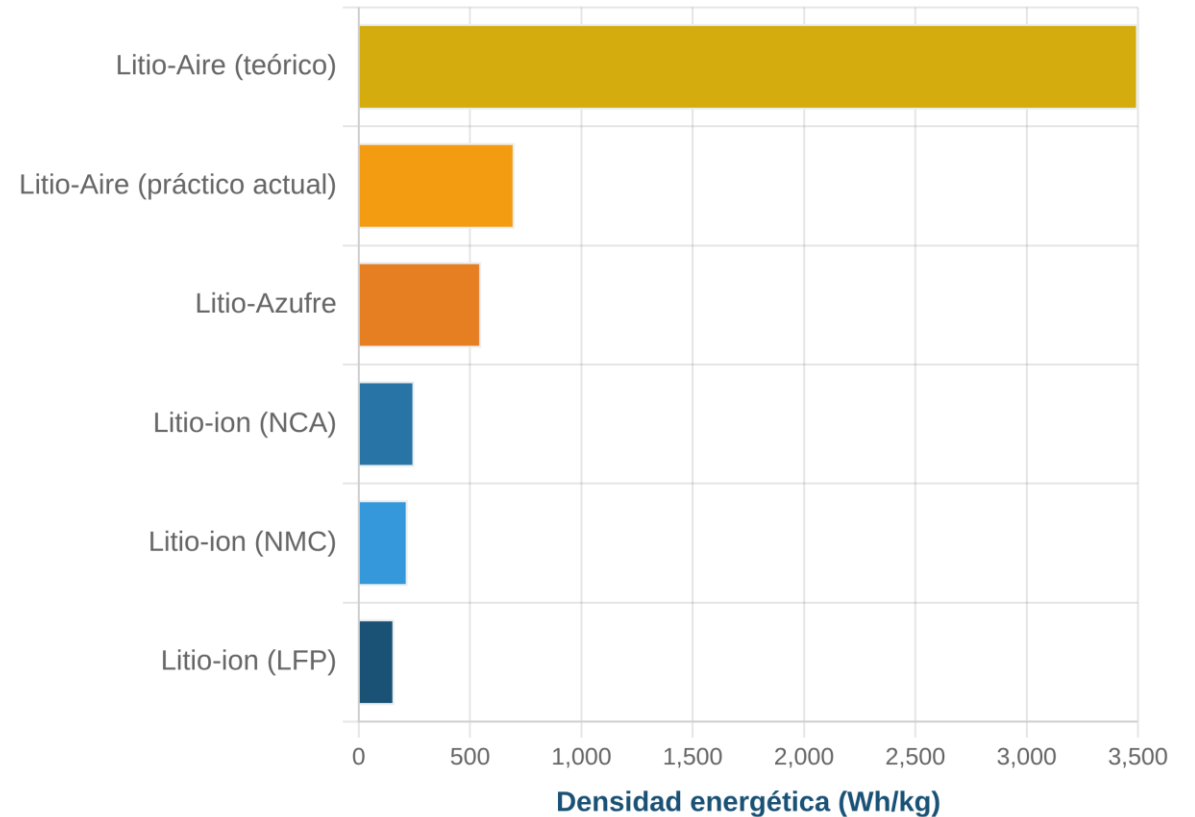
Reacción electroquímica

Ánodo: $2\text{Li} \rightarrow 2\text{Li}^+ + 2\text{e}^-$

Cátodo: $\text{O}_2 + 2\text{Li}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Li}_2\text{O}_2$

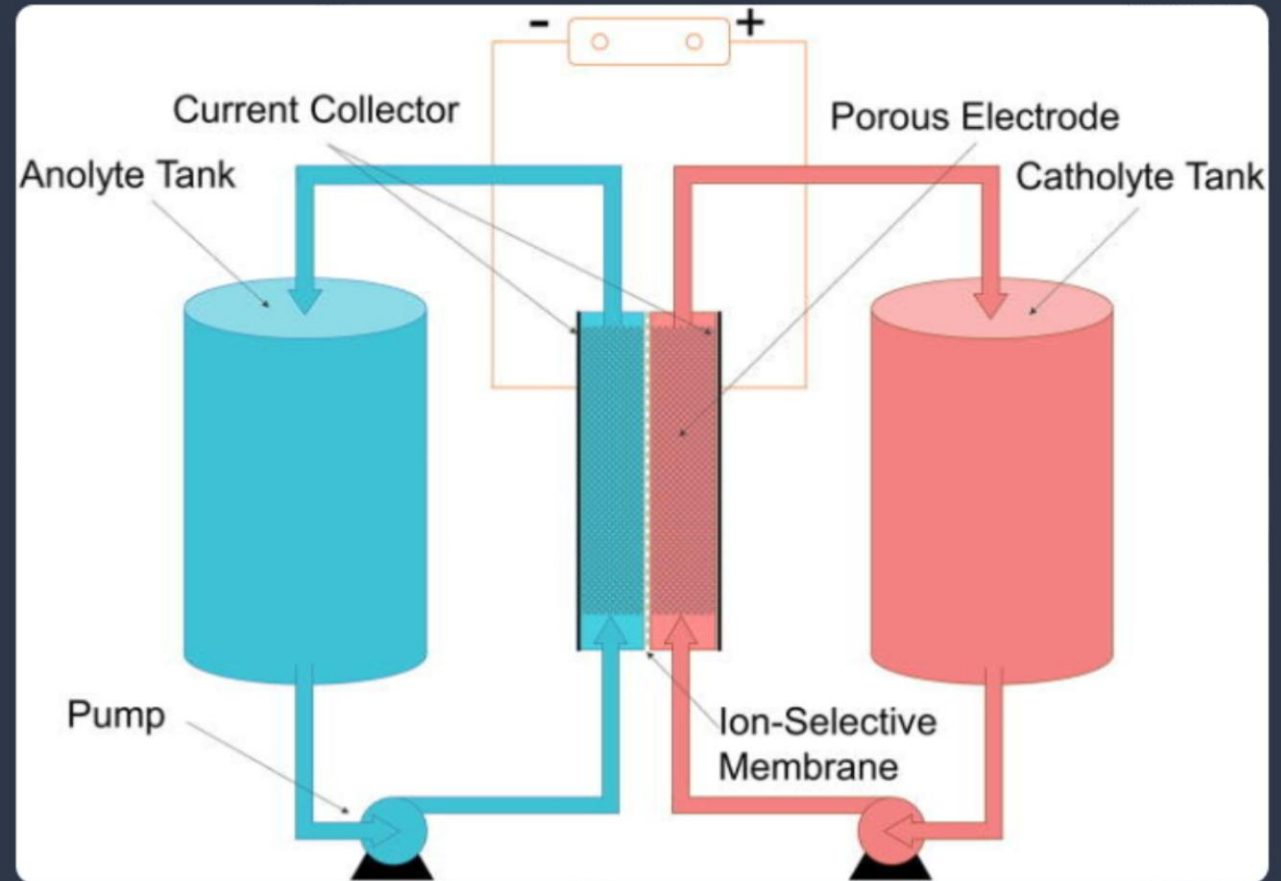
Global: $2\text{Li} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Li}_2\text{O}_2$

Comparativa de densidad energética entre tecnologías



Más Allá del Litio: Baterías de Flujo Redox

Concepto clave: La energía no se almacena en los electrodos, sino en tanques externos de electrolitos líquidos (**anolito** y **catolito**).



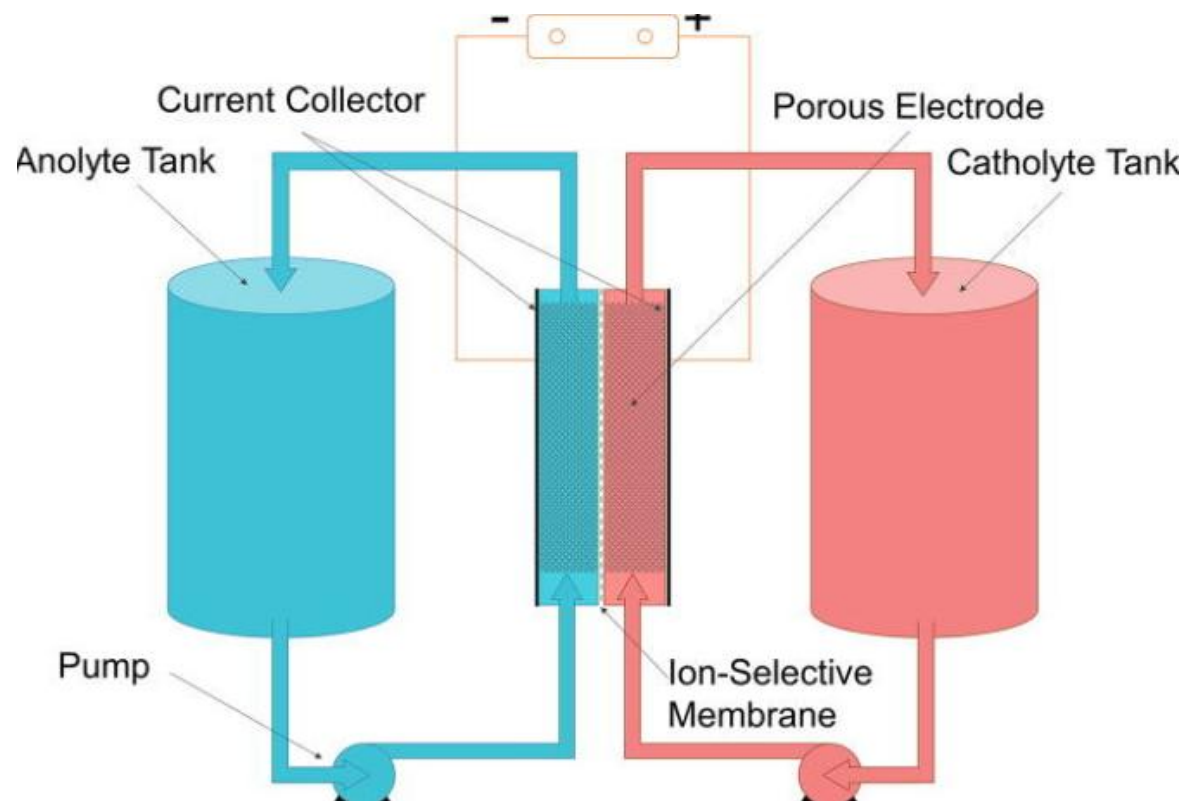
Almacenamiento escalable para aplicaciones estacionarias

Las baterías de flujo redox (RFB) son sistemas de almacenamiento donde la **energía se almacena en electrolitos líquidos** contenidos en tanques externos.

A diferencia de las baterías convencionales, la **capacidad energética** (determinada por el volumen de electrolito) es **independiente de la potencia** (determinada por el área de la celda).

- + **Vanadio (VRFB):** La más desarrollada, utiliza diferentes estados de oxidación del vanadio
- + **Zinc-Bromo:** Mayor densidad energética pero menor vida útil
- + **Hierro-Cromo:** Bajo costo pero menor eficiencia energética

Baterías de Flujo Redox



Baterías de Flujo: Ventajas y Desafíos

Ventajas

**Escalabilidad Independiente:**

Potencia y energía se escalan por separado.

**Larga Vida Útil:**

Más de 10,000 ciclos de carga y descarga.

**Seguridad Inherente:**

Sin riesgo de embalamiento térmico.

Desafíos

**Baja Densidad Energética:**

Sistemas de gran tamaño y volumen.

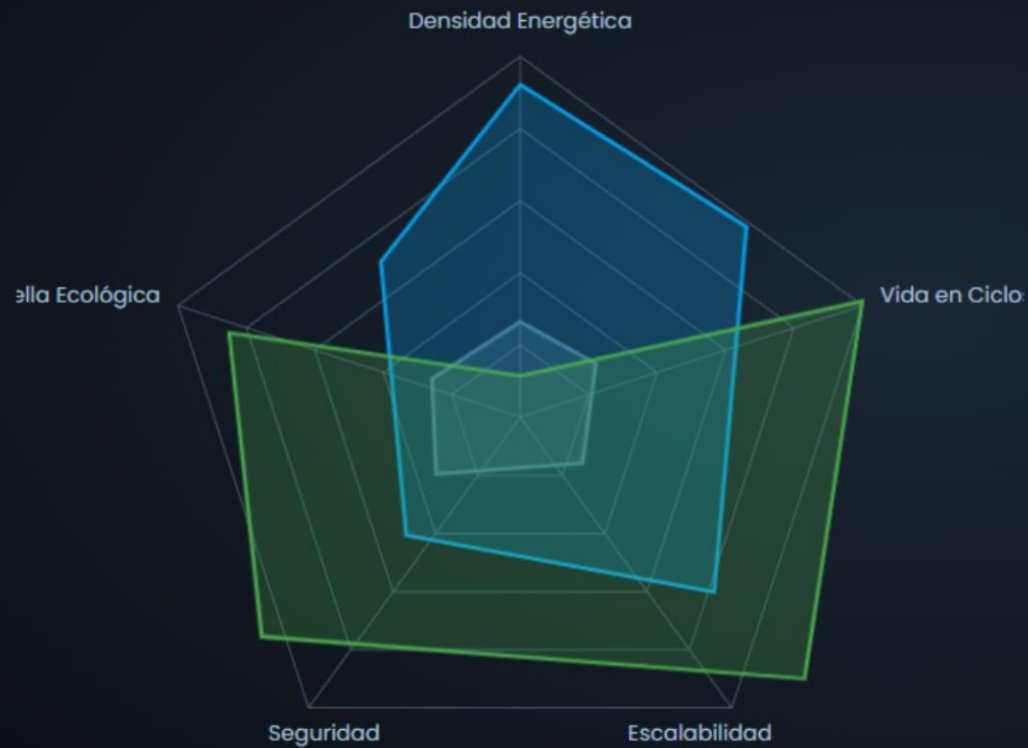
**Complejidad Mecánica:**

Requiere bombas, tanques y tuberías.

**Costo Inicial Elevado:**

Inversión inicial superior a otras tecnologías.

Comparativa Tecnológica Global



- Plomo-Ácido
- Li-ion (NMC)
- Flujo Redox (Vanadio)

Cada tecnología posee un nicho de mercado definido: **Li-ion** lidera en aplicaciones que requieren alta densidad energética, **Flujo Redox** es ideal para almacenamiento a gran escala por su longevidad y escalabilidad, mientras que **Plomo-Ácido** sigue siendo una solución viable por su madurez y bajo costo inicial.

Alternativa sostenible al litio

Las baterías de sodio-ion (Na-ion) funcionan con un **principio similar** a las de litio-ion, pero utilizando **iones de sodio (Na^+)** como portadores de carga.

El sodio es el **sexto elemento más abundante** en la corteza terrestre, mucho más accesible y económico que el litio.

- + **Ventajas:** Bajo costo, abundancia de materias primas, sostenibilidad, seguridad mejorada
- **Desventajas:** Menor densidad energética (100-150 Wh/kg), mayor peso, tecnología menos madura

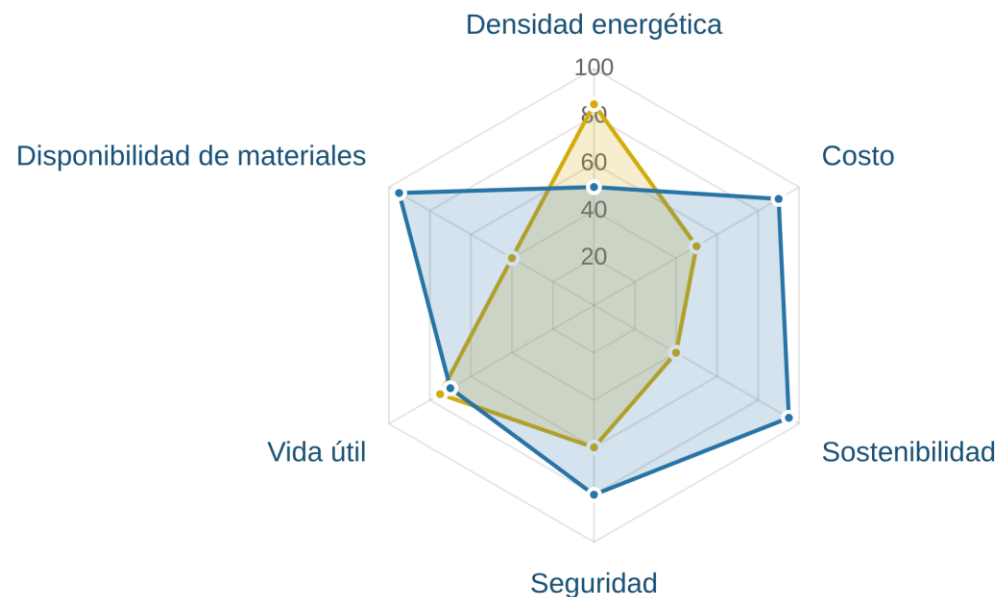
Aplicaciones ideales

Almacenamiento estacionario a gran escala, sistemas de respaldo, aplicaciones donde el costo es más importante que el peso o volumen.

Baterías de Sodio-Ion

Comparación: Sodio-ion vs. Litio-ion

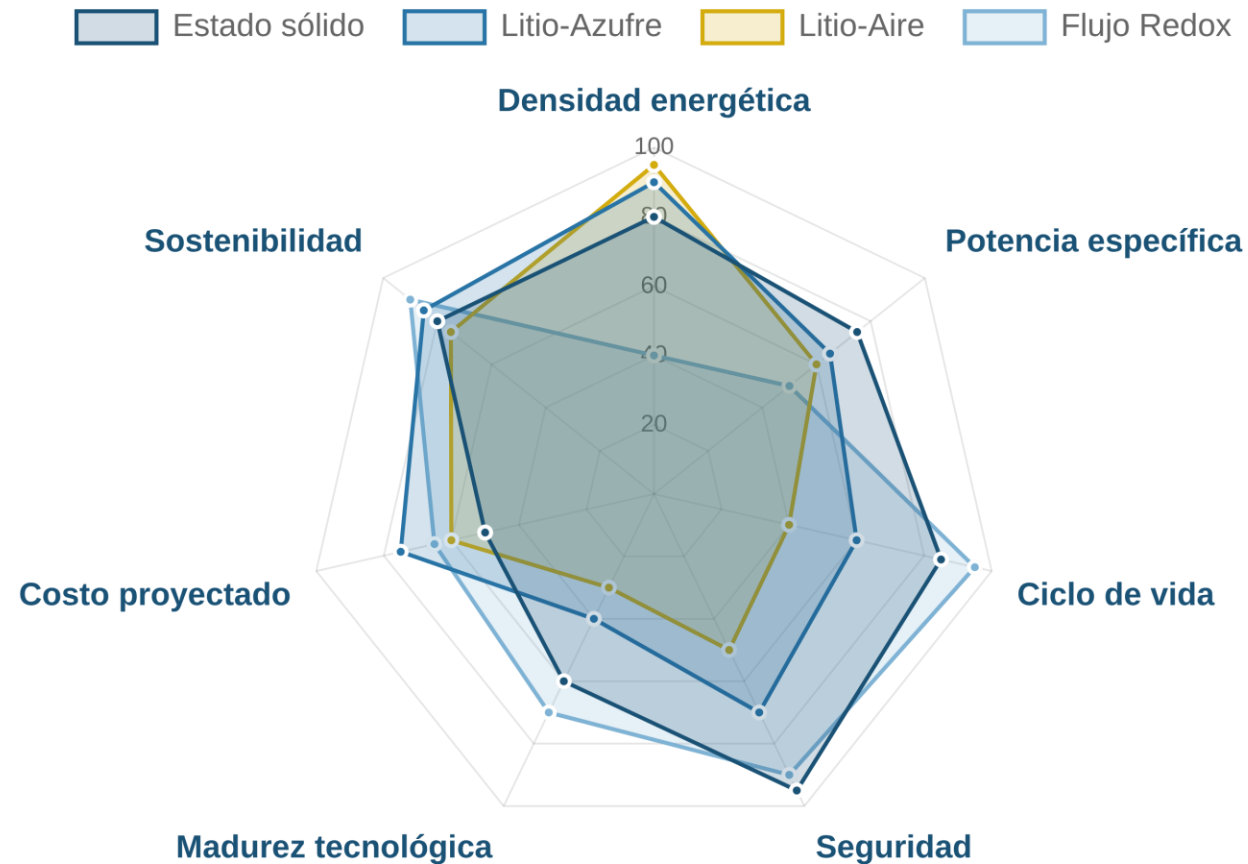
■ Sodio-ion ■ Litio-ion (NMC)



Comparativa de Tecnologías Emergentes

Análisis comparativo de tecnologías emergentes de almacenamiento

Evaluación comparativa de parámetros clave (0-100%)



Resumen y Conceptos Clave

Baterías de estado sólido

Sustitución del electrolito líquido por conductor iónico sólido, ofreciendo mayor seguridad y densidad energética. Principales desafíos: conductividad iónica, interfaz electrodo-electrolito y escalabilidad.

Litio-azufre y litio-aire

Tecnologías con densidades energéticas teóricas 5-10 veces superiores a las baterías convencionales. Limitadas por desafíos de estabilidad, ciclo de vida y complejidad técnica.

Baterías de flujo redox

Sistemas donde la energía se almacena en electrolitos líquidos externos, permitiendo escalar capacidad y potencia de forma independiente. Ideales para almacenamiento estacionario a gran escala.

Horizonte de comercialización

Las baterías de estado sólido son las más cercanas a la comercialización masiva (2025-2030), seguidas por litio-azufre. Las tecnologías de litio-aire requieren avances fundamentales antes de su implementación práctica.

Toyota (Japón)

Desarrolló prototipos superando problemas de corta vida útil. Planea producción en masa hacia 2027-2028.

- ⚡ 20% más autonomía que baterías Li-ion actuales
- 🔌 Carga rápida (10-80% en ~10 minutos)
- ⚠️ Versión mejorada proyecta 50% más autonomía (>1000 km)

QuantumScape (EE. UU.)

Startup respaldada por Volkswagen que investiga baterías con ánodo de litio-metal y electrolito cerámico.

- 📦 Prototipo multicapa de 10 capas (2021)
- ♻️ >80% capacidad tras 800 ciclos (~240.000 km)
- 🏗️ Desafíos: escalado y manufactura consistente

Baterías de Estado Sólido



Prototipo de batería de estado sólido de QuantumScape

Baterías de Litio-Oxígeno (Litio-Aire)

Argonne National Lab (EE. UU.)

Investigadores del DOE lograron en 2023 un hito en baterías litio-aire con electrolito sólido cerámico-polimérico.

- 🔋 Energía específica ~4 veces mayor que ion-litio
- 🔄 1000 ciclos estables con aire ambiente
- 🚗 Potencial para autonomías de hasta 1600 km

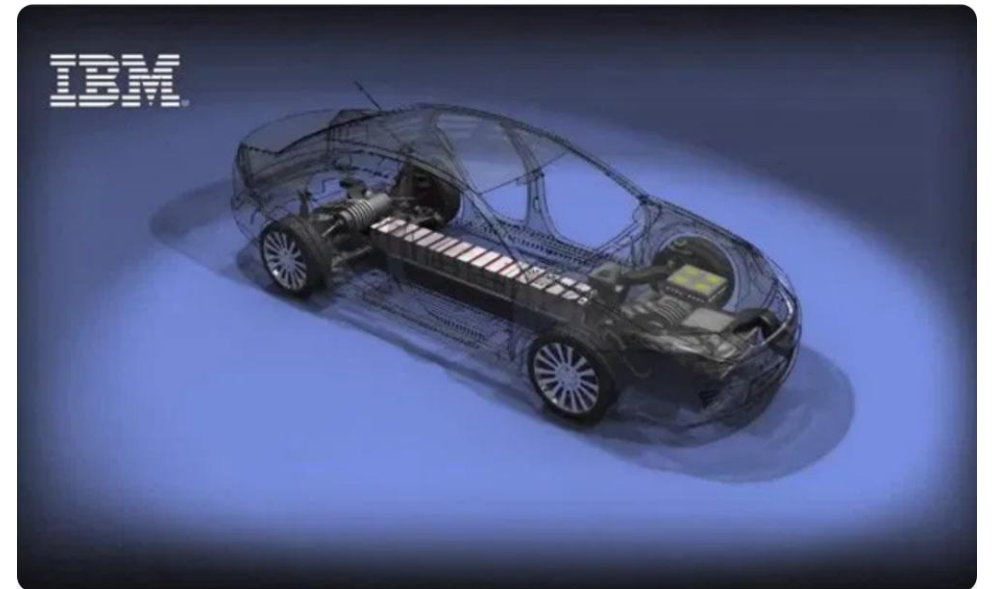
Proyecto IBM Battery 500 (EE. UU.)

Iniciado en 2009, buscaba crear baterías litio-aire capaces de 500 millas (~800 km) de alcance.

- ⚠️ Desafíos: ánodo de litio metálico muy reactivo
- 🚫 Formación de subproductos indeseados
- ➔ Proyecto reorientado hacia baterías de sodio-aire



Concepto de batería litio-aire con alta densidad energética



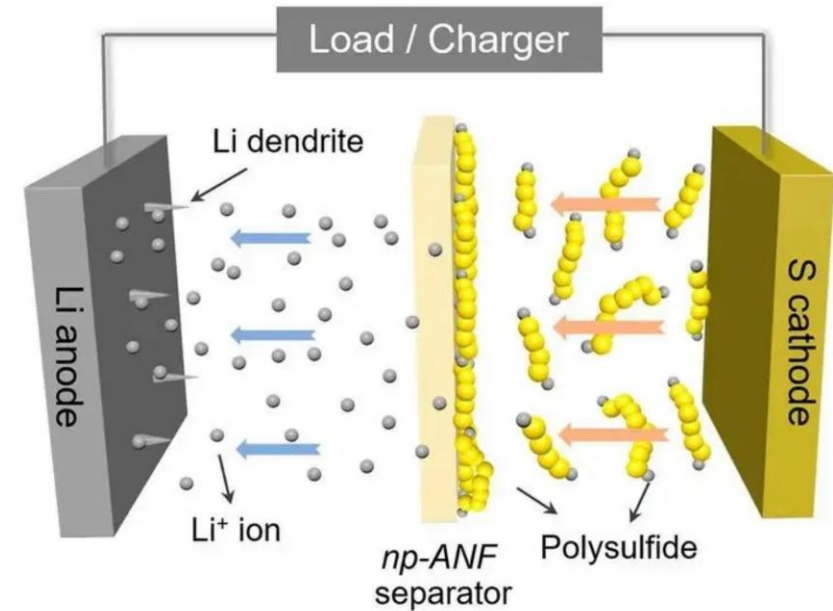
Proyecto IBM Battery 500 para vehículos eléctricos

Baterías de Litio-Azufre

OXIS Energy (Reino Unido)

Empresa pionera (2004-2021) en baterías recargables de litio-azufre, enfocada en aplicaciones aeronáuticas.

- ⚡ 425-470 Wh/kg de energía específica (>2x que Li-ion)
- ✈️ Primeros vuelos de prueba completados en 2019
- ⚠️ Desafío: degradación por polisulfuros solubles



Batería de litio-azufre de alta densidad energética

Li-S Energy (Australia)

Spin-off australiano que continúa avanzando la tecnología Li-azufre.

Integración en drones con vuelos de 30 minutos (2024-2025)

- 🔋 Celdas Gen3 semisólidas: ~450-498 Wh/kg
- 🏭 Planta piloto en Geelong con capacidad de 2 MWh/año

Baterías de Flujo Redox

Mega-proyecto VRFB Dalian (China)

China completó la mayor batería de flujo de vanadio del mundo en Xinjiang en 2025, acoplada a una planta solar de 1 GW.

🔋 Escala: 200 MW/1000 MWh (5 horas de descarga)

🛡️ Seguridad: no inflamable, vida útil >15 años

🌿 Evita >1.6 millones de toneladas de CO₂/año

Batería de flujo Zn-Br para hospital (EE. UU.)

Proyecto CHARGES en California: sistema de 34.4 MWh para alimentar el 80% del consumo de un hospital infantil.

🕒 2-12 horas de almacenamiento sin degradación

💰 Ahorro proyectado: ~\$15 millones en 25 años

⚠️ Desafío: alto costo inicial pese a ventajas técnicas

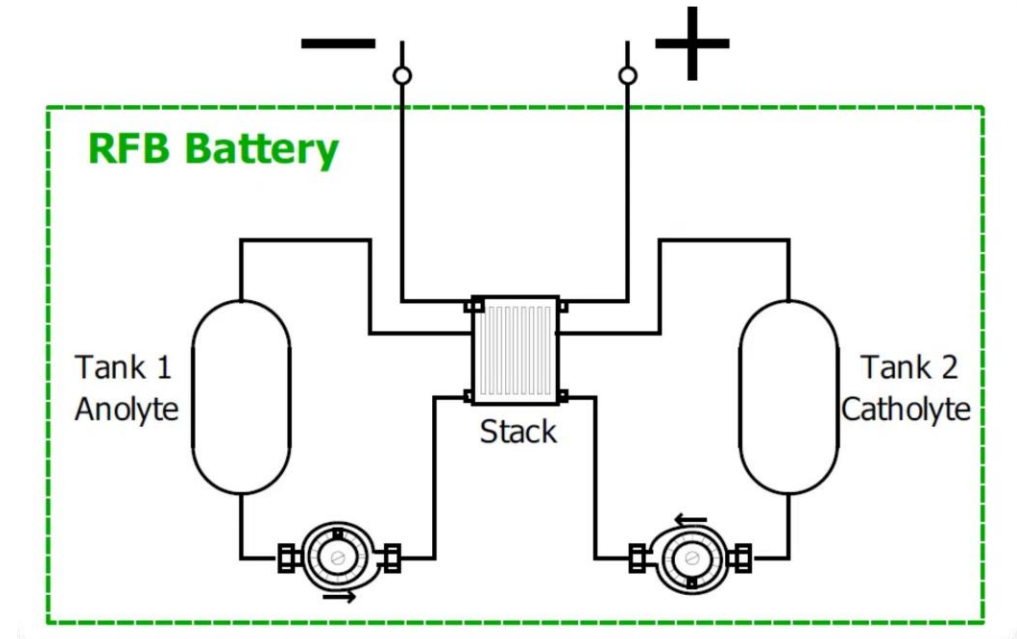


Diagrama de funcionamiento de una batería de flujo redox



Baterías de Sodio-Ion

Vehículos eléctricos con Na-ion (China)

En 2023-2024, China puso en producción los primeros coches eléctricos comerciales con baterías de ion sodio.

 Yiwei 3 de JAC: ~25 kWh, densidad ~120 Wh/kg

 Autonomía: ~252 km (CLTC)

 CATL "Naxtra": 90% capacidad a -40°C



Vehículo eléctrico con batería de sodio-ion

Almacenamiento estacionario Na-ion (China)

En junio de 2024 entró en servicio en Hubei el mayor sistema de almacenamiento Na-ion del mundo.

 Capacidad: 100 MWh, operado por Datang

 Reduce ~13.000 toneladas CO₂/año



Sistema de almacenamiento estacionario Na-ion en China

Ventajas clave: Menor costo, materiales abundantes, mayor seguridad y mejor rendimiento en clima frío.

Desafíos Comunes y Oportunidades

Desafíos

- ⚡ **Densidad energética:** Las nuevas químicas deben superar a las baterías Li-ion convencionales.
- ♻️ **Vida útil:** Muchas tecnologías enfrentan degradación acelerada tras ciclos repetidos.
- 💰 **Costos de producción:** El escalado industrial requiere procesos económicamente viables.

Oportunidades

- ✈️ **Nuevas aplicaciones:** Aviación eléctrica, almacenamiento a gran escala y micromovilidad.
- 🌿 **Sostenibilidad:** Reducción de huella ambiental con materiales abundantes y menos tóxicos.
- 🌐 **Independencia de materiales críticos:** Alternativas al litio, cobalto y níquel.



Batería de flujo Zn-Br, ejemplo de tecnología emergente