



VIII CONGRESO
INTERNACIONAL

Incorporación de **BATERÍAS** en el
dimensionamiento de los sistemas,
una realidad que no se puede aplazar

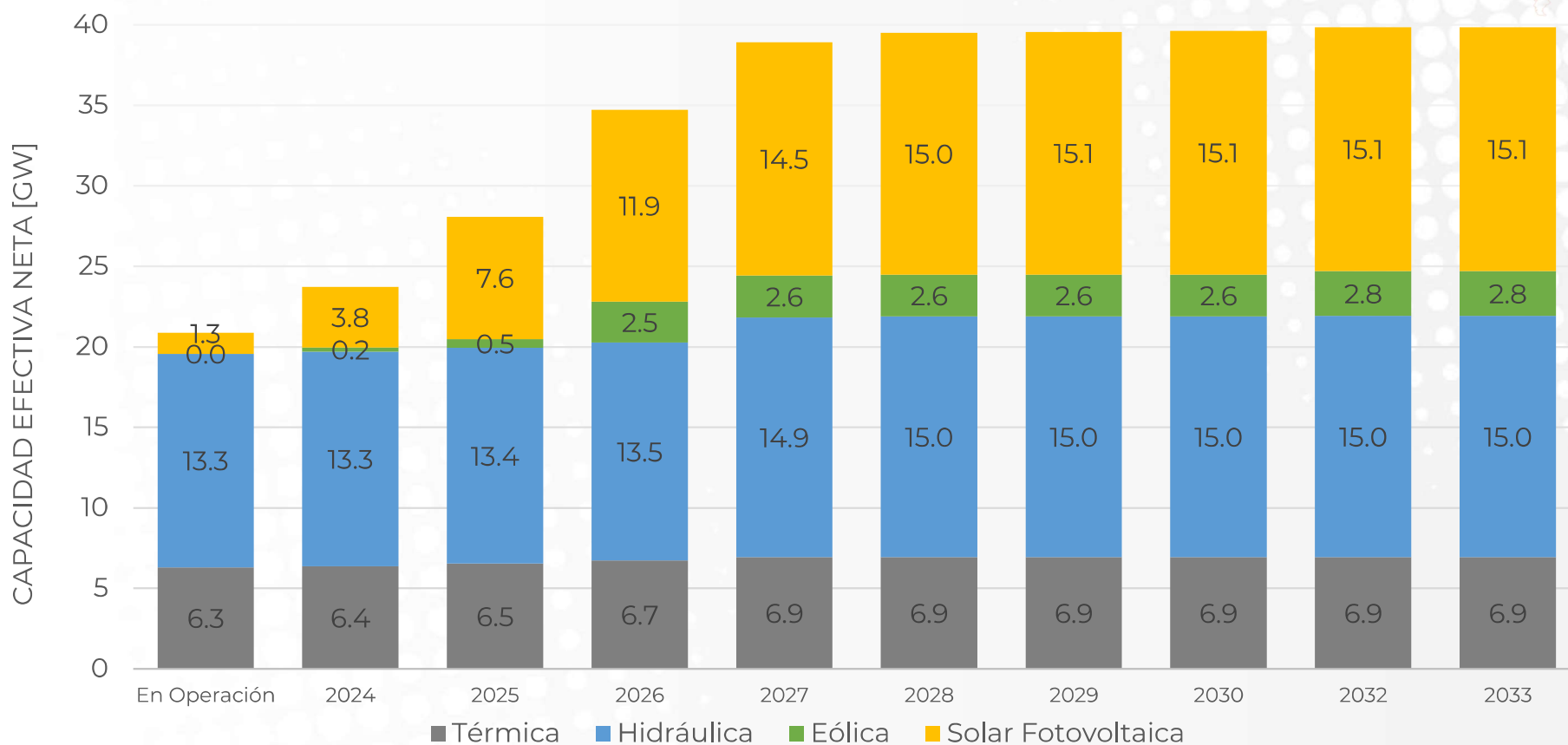
Realidades, tendencias y perspectivas en sistemas BESS

Mauricio Sánchez

Especialista Soluciones Energéticas
ISA

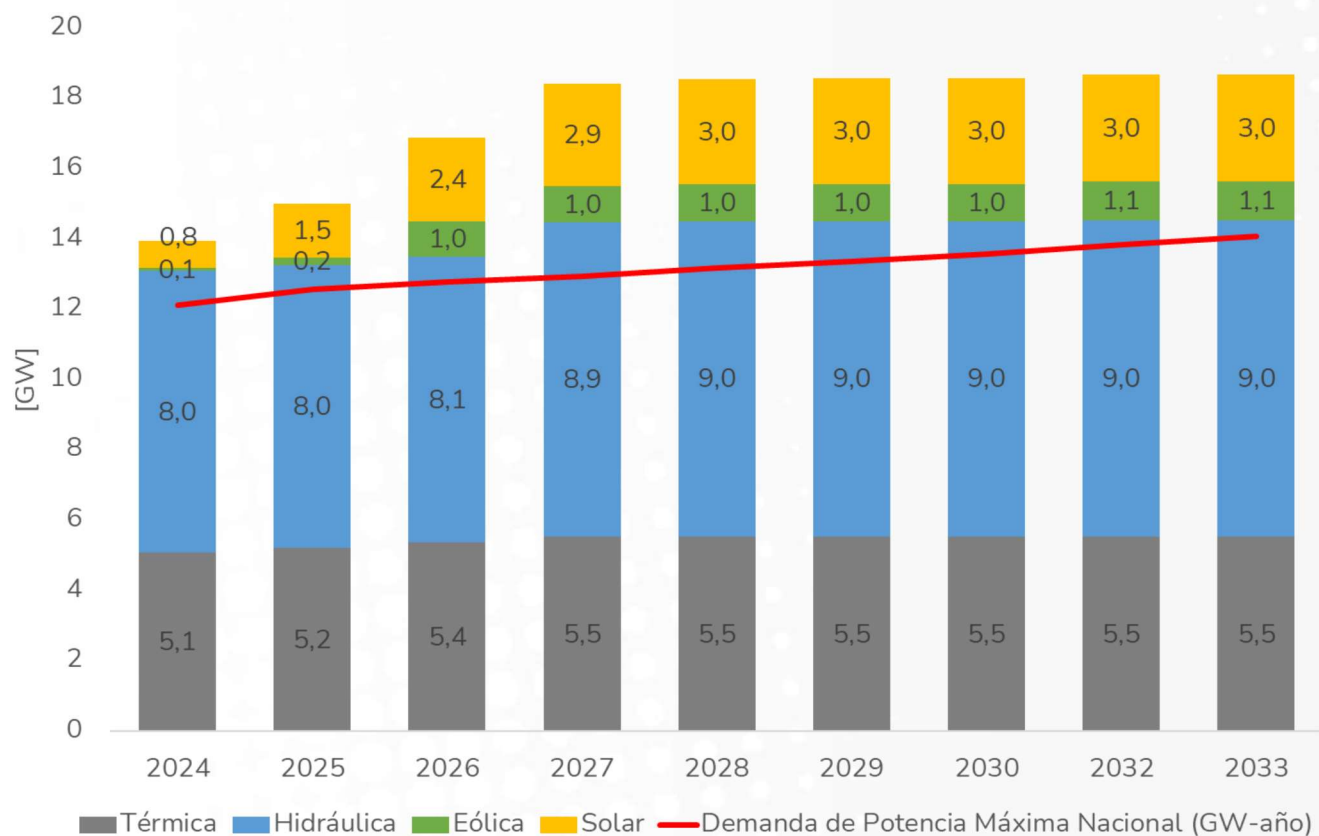


Panorama de la matriz de generación en Colombia







Fuente: UPME 2024

Panorama de la matriz de generación en Colombia



Factores de Disponibilidad

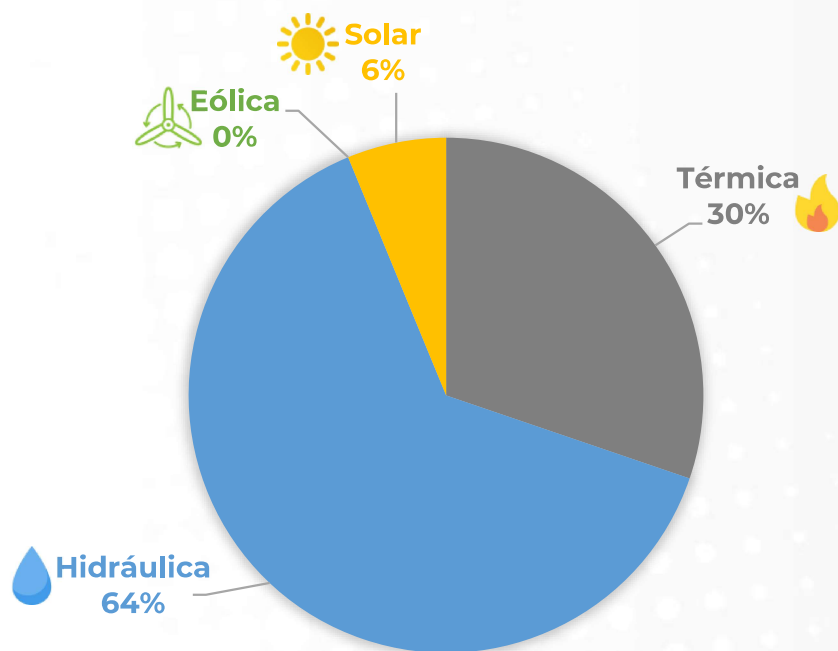
-  Solar 20%
-  Eólica 40%
-  Hidráulica 60%
-  Térmica 80%

Fuente: UPME 2024

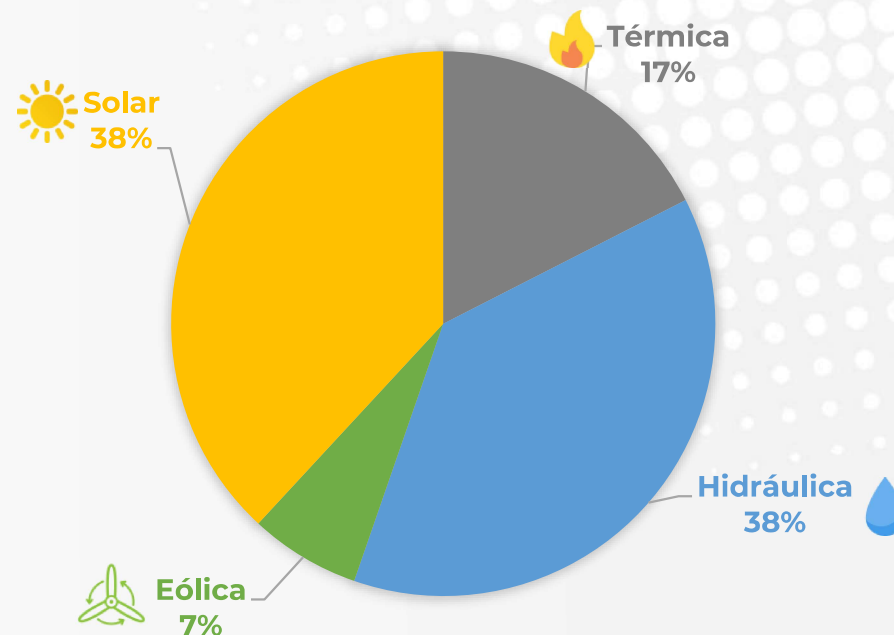
Panorama de la matriz de generación en Colombia



Capacidad Instalada a Octubre 2024
20.813 MW

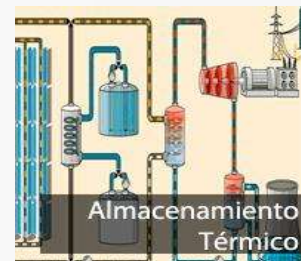
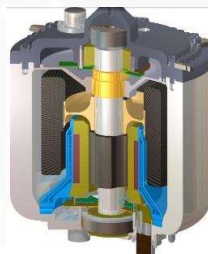
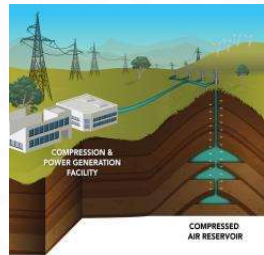
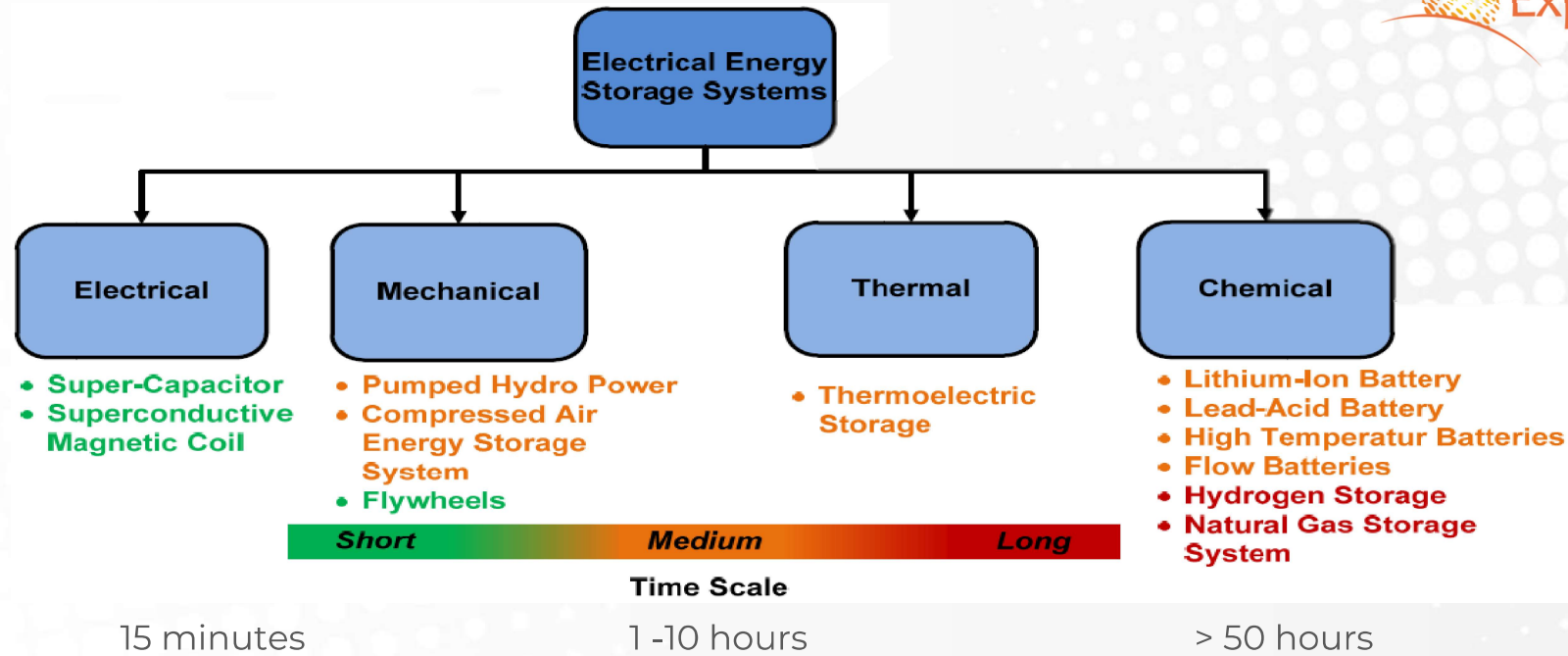


Capacidad Futura - 2029
39.844 MW



Fuente: UPME 2024

Tecnologías de Almacenamiento

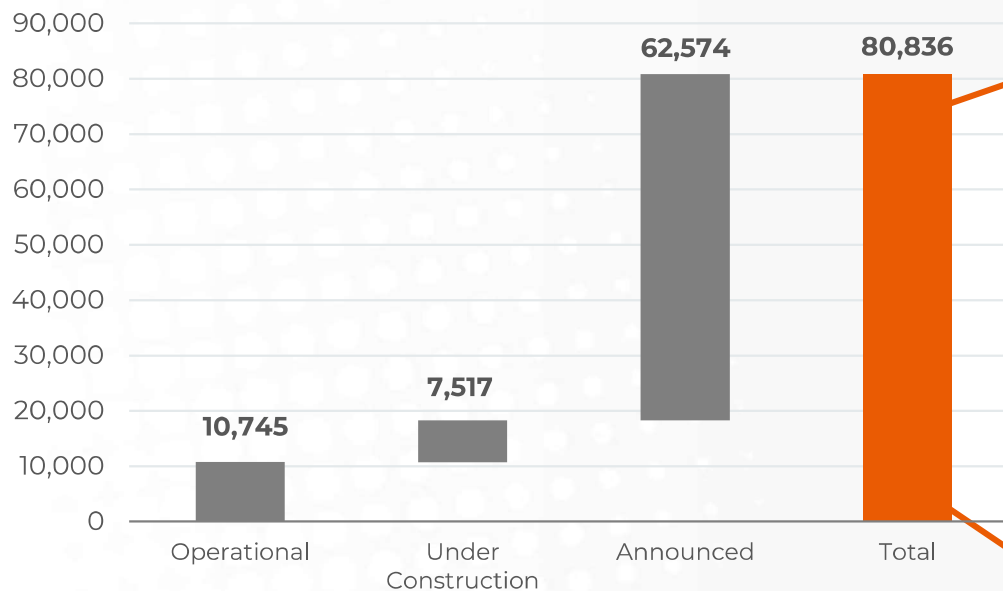


Fuente: Technology Overview Electricity Storage. ISEA Germany.

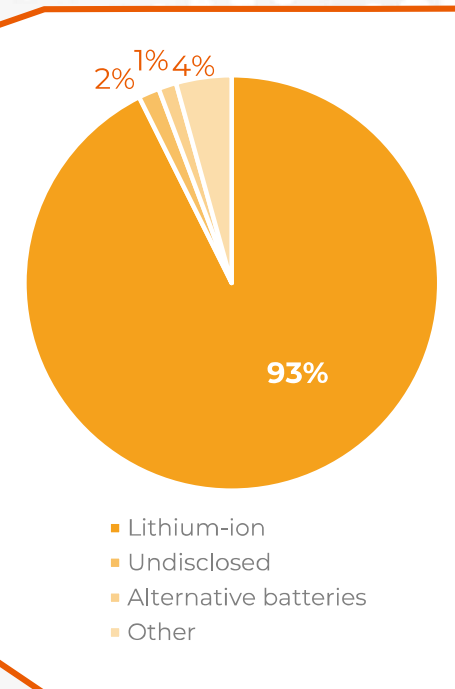
Los BESS de ión-litio dominan ampliamente el mercado de almacenamiento de energía



Proyectos mundiales de almacenamiento de energía a gran escala por estado (a partir de diciembre de 2022) en MW



A nivel mundial: 76 GW de proyectos de almacenamiento en baterías, con aproximadamente un 77% en desarrollo y un 93% de baterías de iones de litio.

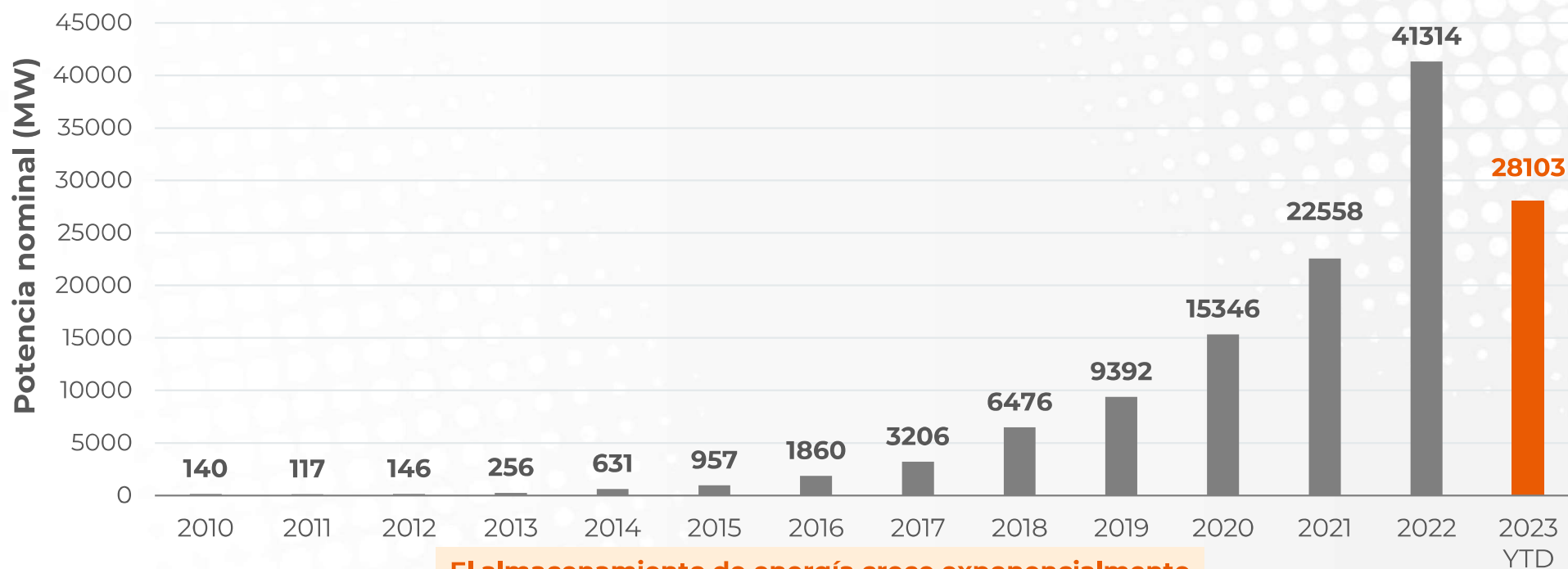


Fuente: Clean Horizon Energy Storage Source (CHESS) - septiembre de 2022
* Estas cifras no incluyen las instalaciones de Sun Cable Tennant Creek, de 7,5 GW/30 GWh, ni el proyecto XLinks Morocco-UK Power, de 5 GW/20 GWh.

Volumen acumulado proyectos de baterías anunciados (mundial)



Anuncios de proyectos de almacenamiento de energía a gran escala



Fuente: Clean Horizon Energy Storage Source (CHESS) - noviembre de 2023

* Estas cifras excluyen las instalaciones de Sun Cable Tennant Creek (2019), de 7,5 GW/30 GWh, y el proyecto Xlinks Morocco-UK Power (2021), de 5 GW/20 GWh. (excluidos unos 120 GW de energía hidráulica de bombeo)

El **LCOS** (Levelised Cost of Storage) es una métrica para estimar el coste del proyecto según el sistema

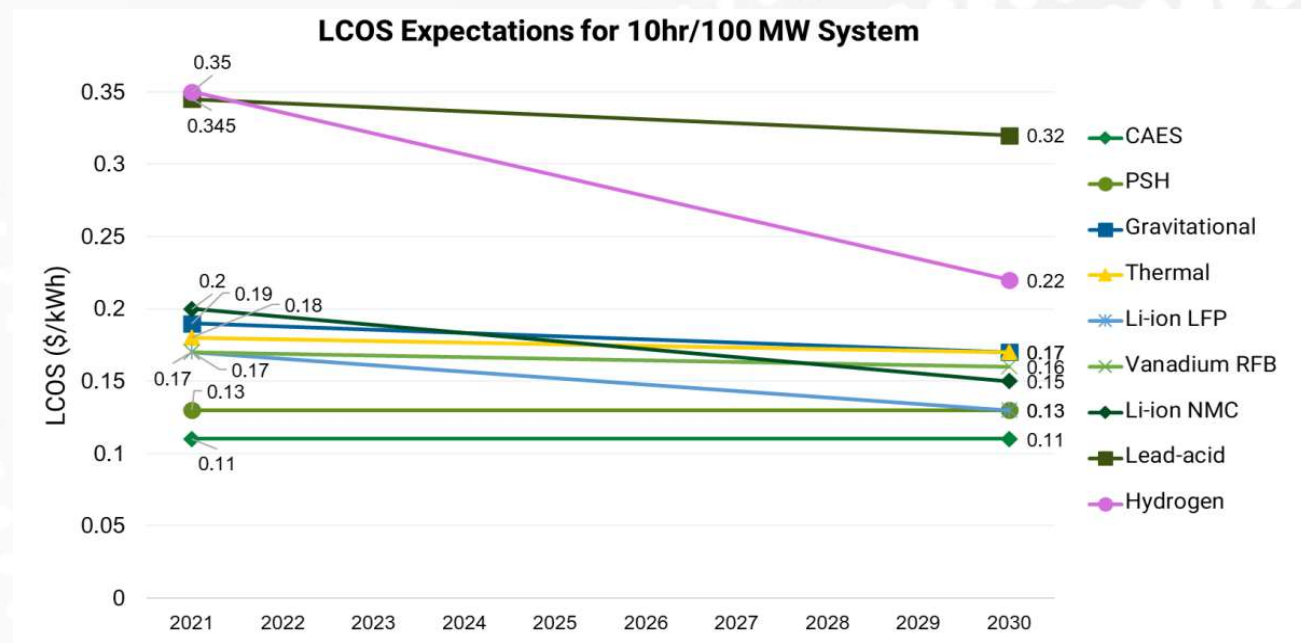


Para alcanzar el umbral de **rentabilidad**, el LCOS debe ser **inferior** al **precio de venta** de la energía vertida.

El **LCOS** representa el **coste de la energía descargada** por el sistema de almacenamiento, teniendo en cuenta todos los costos, incluido el coste de la energía cargada.

$$LCOS = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+d)^n}}{\sum_{n=0}^N \frac{E_{dis,n}}{(1+d)^n}}$$

- n Vida útil del sistema
- C_n TOTEX año n
- $E_{dis,n}$ Energía descargada por el sistema de almacenamiento en el año n
- d Tasa de descuento

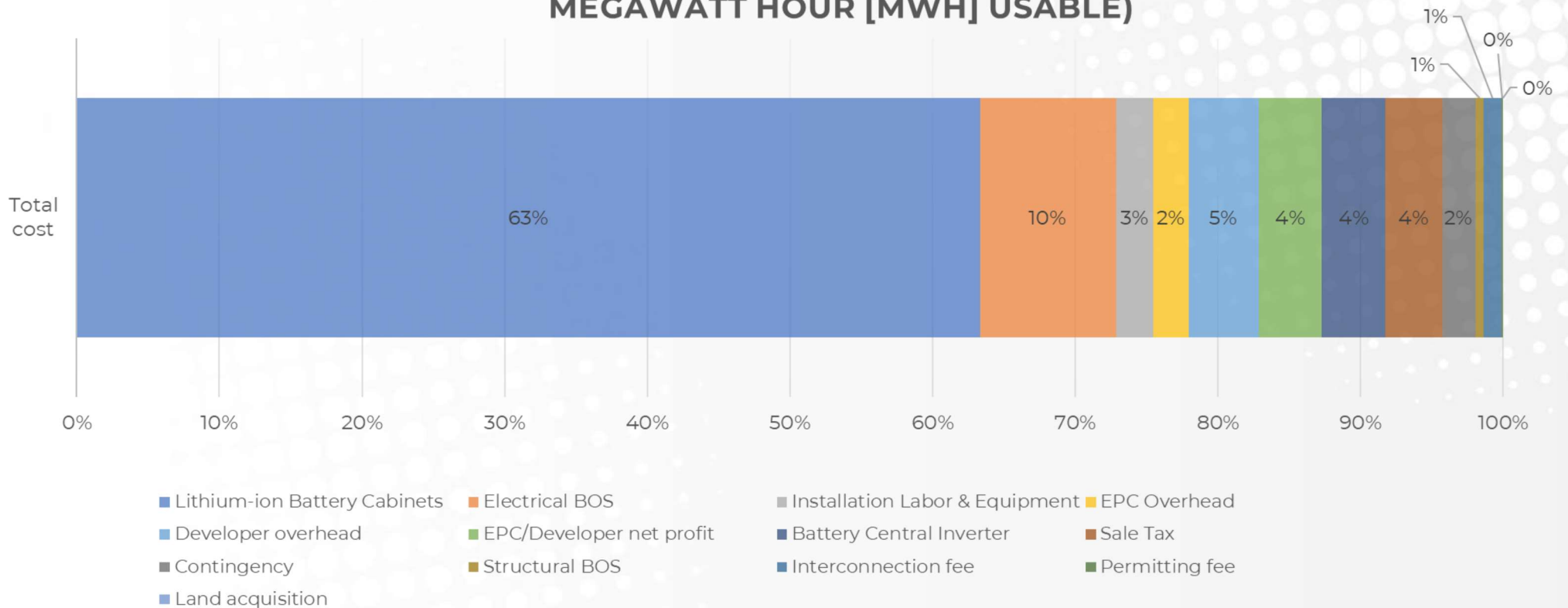


Fuente: Departamento de Energía de Estados Unidos

Costo de los Sistemas de Almacenamiento

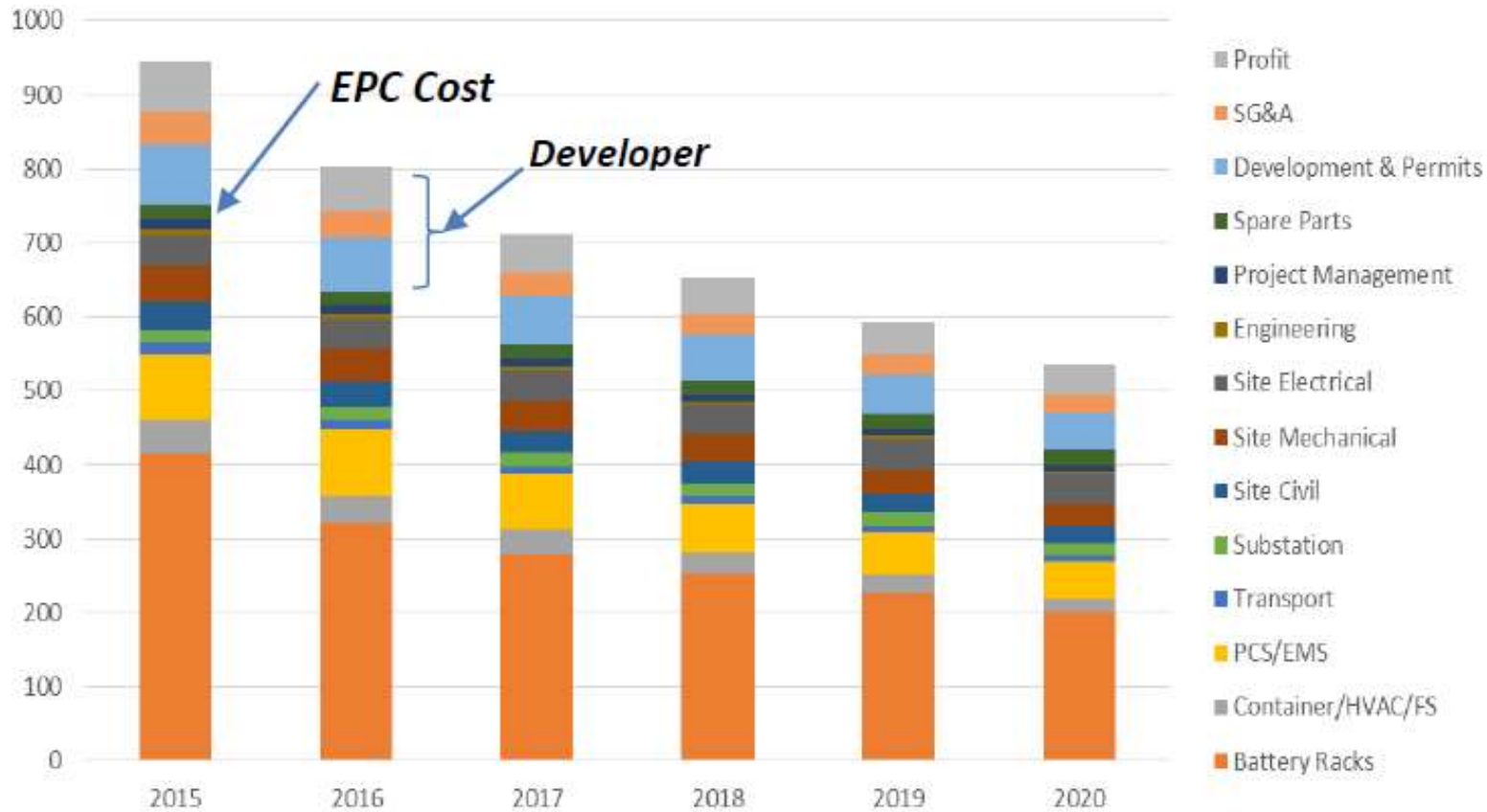


COST DETAILS FOR UTILITY-SCALE STORAGE (4-HOUR DURATION, 240-MEGAWATT HOUR [MWH] USABLE)



Fuente: NREL 2024

Installed System Price \$/kWh (2 Hr Capacity)



Proyección Costos Batería Ion Litio 4 horas

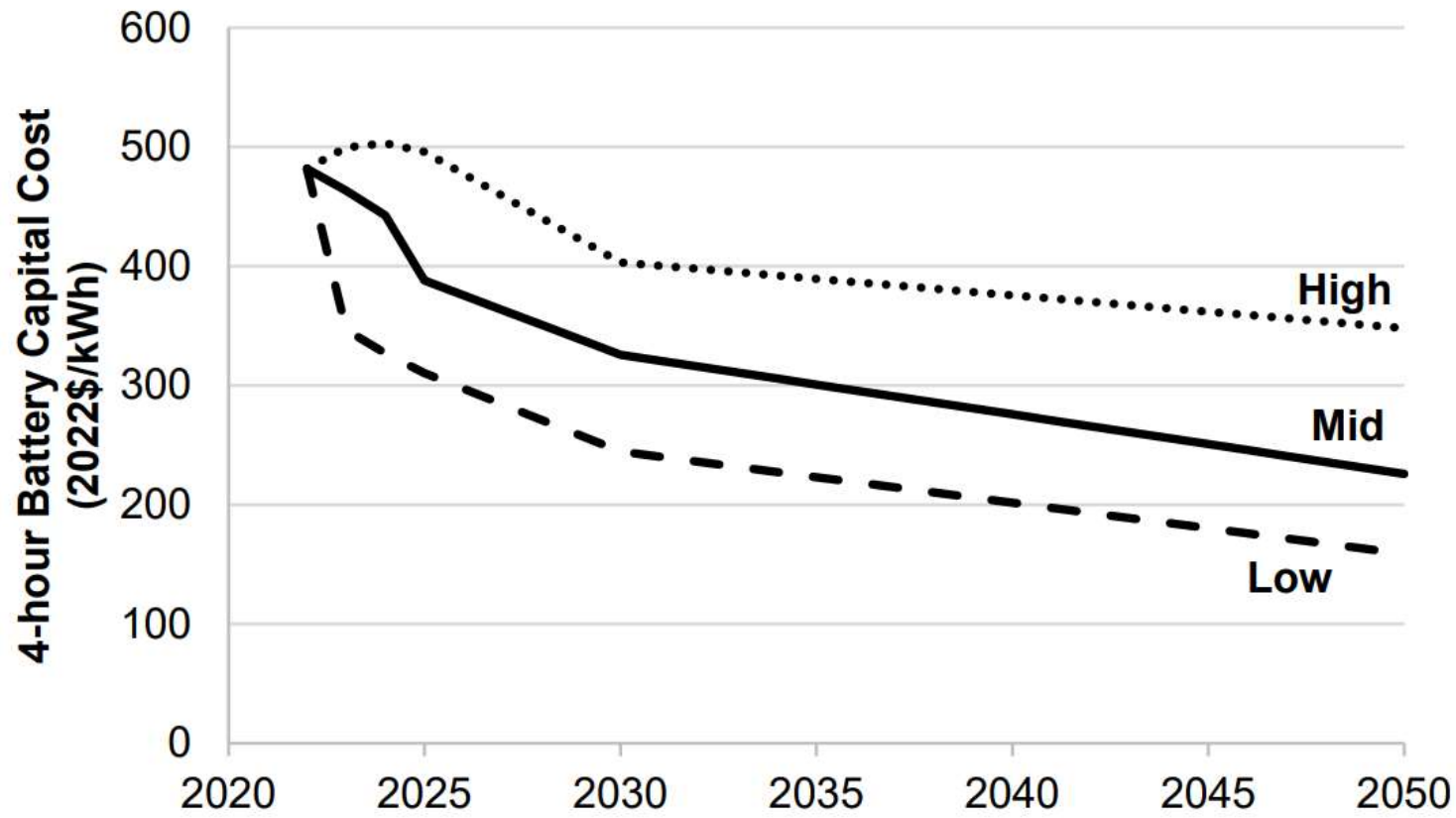


Figure 2. Battery cost projections for 4-hour lithium-ion systems.

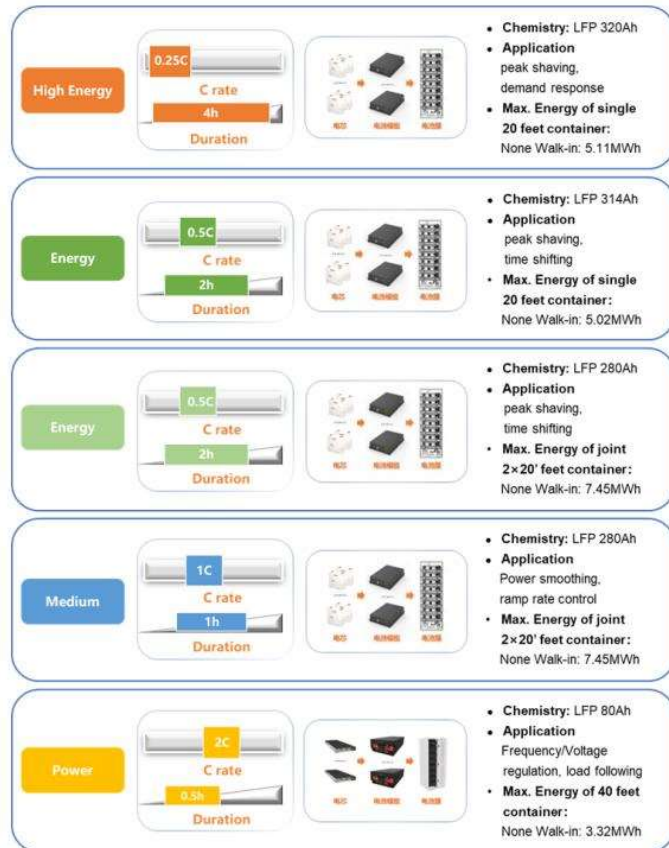
Parámetros clave - Almacenamiento



Ref	Technical attribute	Super Capacitor	Fly Wheel	Li-Ion	NAS	Flow	Advanced Lead-Acid
1	Roundtrip Efficiency %	90-94	80-90	85-92	75-80	60-70	75-80
2	Energy Density (Watt-hour/Liter, Wh/l)	2-10	10	200-350	150-200	20-70	50-100
3	Power Density (Watts / Liter, W/l)	<15	80-200	100-3,500	120-160	40-100	10-500
4	Cycle Life	1 million	Millions	3,500-6,000	5,000-10,000	>10,000	500-2,000
5	Depth of Discharge	75%	75%	97- 100%	98-100%	98-100%	65-70%
6	Self-Discharge	6% / day	5-15% /hr	5%/ month	10%/ day	0.1-0.4% / day	0.1-0.4% / day
7	Power Installed Cost \$/kW	10-20	400	150-200	150-200	1,000	150-200
8	Energy Installed Cost \$/kWh	10,000-20,000	1300	300-800	500-700	300-500	100-250
9	Response Time (ms)	<10	10	3-5	3-5	10-5000	3-5
10	Calendar Life (years)	15	15	15	20	15	5
11	Typical power	1-1000kW	1-1000kW	0.1-100MW	50 MW	10kW-50MW	0.1-36MW
12	Typical Energy	1-100kWh	1-100kWh	0.5-400MWh	10-300MWh	1-100MWh	0.5-24MWh
13	Typical temperature of operation	- 40 to 65C	- 5 to 50C	0 to 45C	270 to 350C	- 5 to 50C	- 20 to 50C
14	Physical Space Requirements (Square Feet / MW)	9717	5830	212	333	1296	777

CARACTERÍSTICA “C-RATE”

Tasa de carga o descarga



$$C = \frac{1}{\text{Tiempo de carga [horas]}}$$

C-RATE típicos

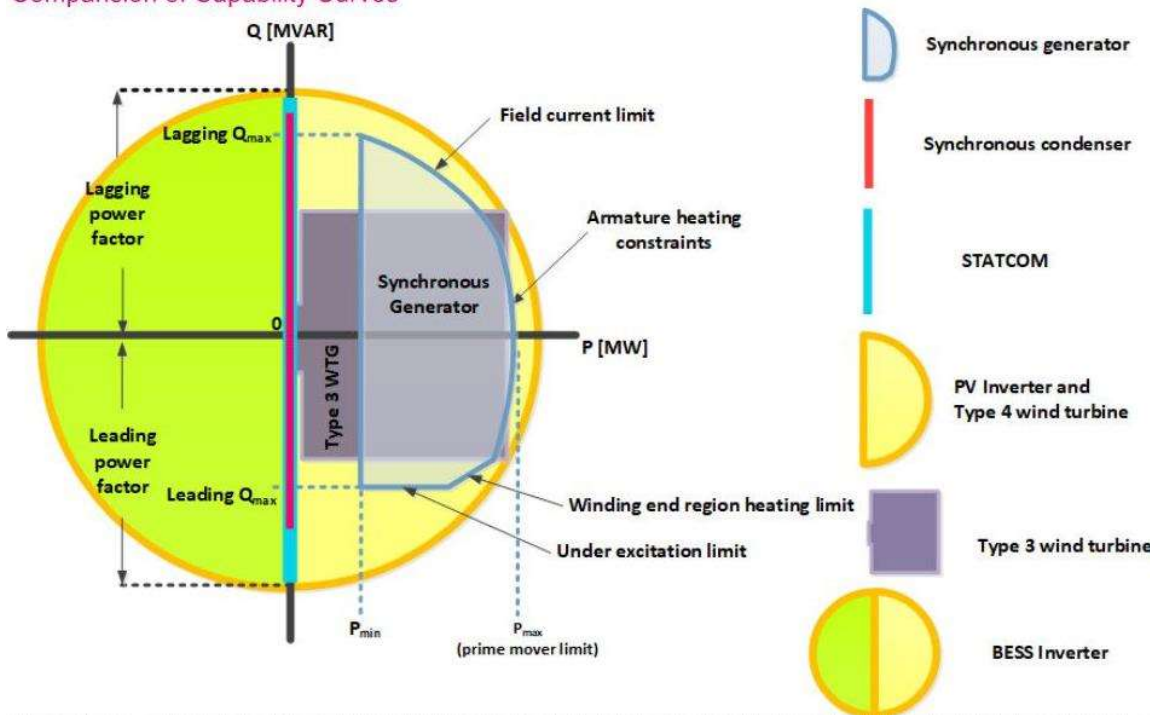
Ref	C-rate	Time
1	5C	12 min
2	2C	30 min
3	1C	1h
4	0.5C or C/2	2h
5	0.2C or C/5	5h
6	0.1C or C/10	10h
7	0.05C or C/20	20h

Fig. 2-1: Narada's Product Portfolio

Capacidad de Operación de un BESS

Operación en los **cuatro** cuadrantes de la característica P-Q






Comparison of Capability Curves



https://www.google.com.co/search?q=BESS+four+quadrant&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjHiKS57uLTAhWI6SYKHwafBzEQ_AUIBigB&biw=960&bih=450#imgrc=T0jeocclzB-b0M



Ventajas

-  Bajos requerimientos de espacio.
-  Menor impacto social-ambiental
-  Rápida instalación.
-  Modularidad.
-  Flexibilidad para múltiples aplicaciones.

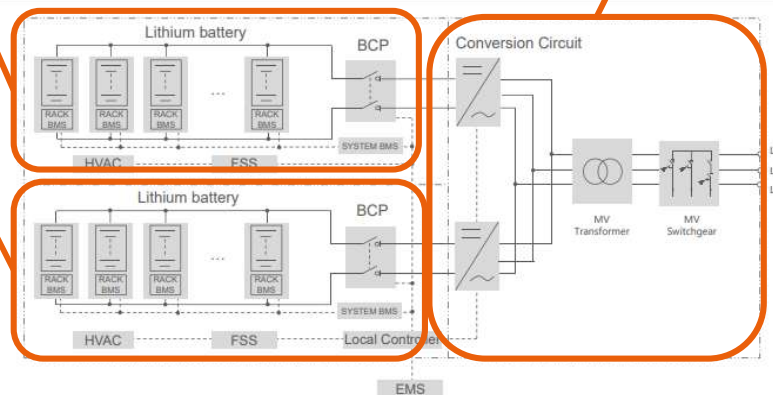
Componentes Principales de un Proyecto BESS



Sistema BESS completo: batería, inversor, transformador (skid Sungrow - BESS ST7454KWH(L)-3450UD-MV)



CIRCUIT DIAGRAM



3450UD-MV	Batería: entrada de CC
Rango de tensión CC (V)	1,123.2 - 1,497.6 V
Configuración del sistema	416S10P*2 (Máx. 416S12P*2)
Capacidad de la batería (BOL)	3.727 kWh*2 (Máx. 4.473 kWh*2)

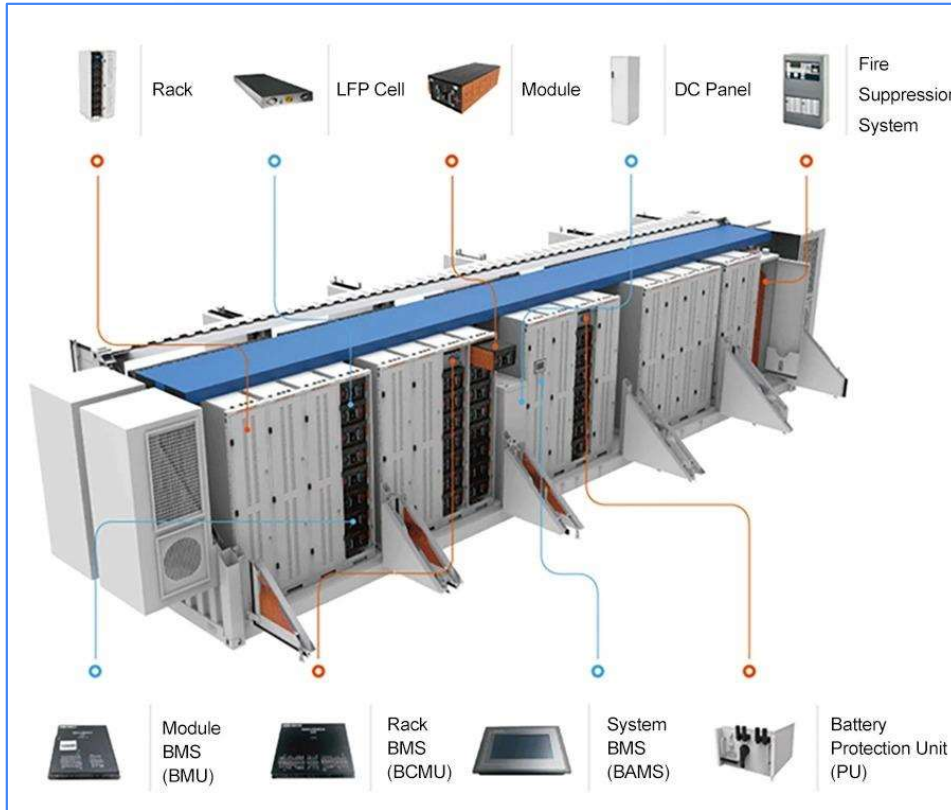
3450UD-MV	Batería: salida de CA
Potencia de salida de CA	3.450 kVA
Tensión	0,69 kV

3450UD-MV	Transformador
Potencia nominal	3.450 kVA
Tensión BT/MT	0,69 kV / 10 - 35 kV
Vector	Dy11

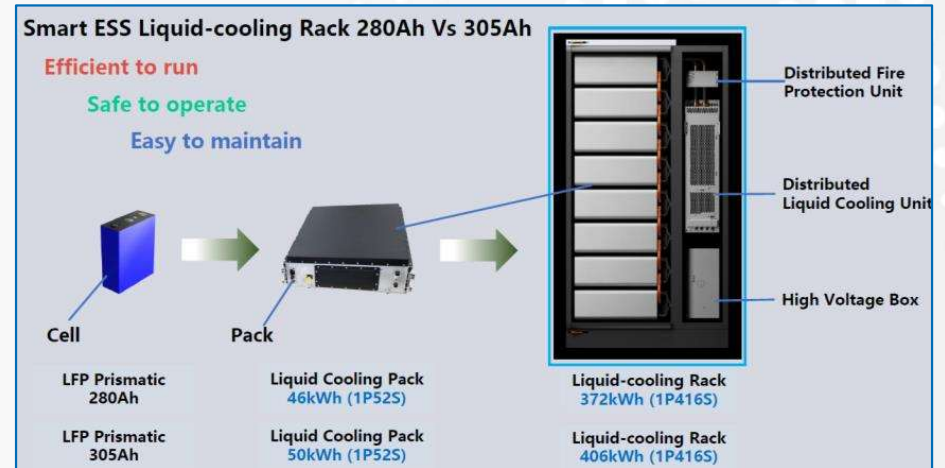
Fuente:
<https://uk.sungrowpower.com/upload/file/20210909/EN%20BR%20Sungrow%20Energy%20Storage%20System%20Products%20Catalogue.pdf>

Battery Energy Storage Systems - BESS

Containers



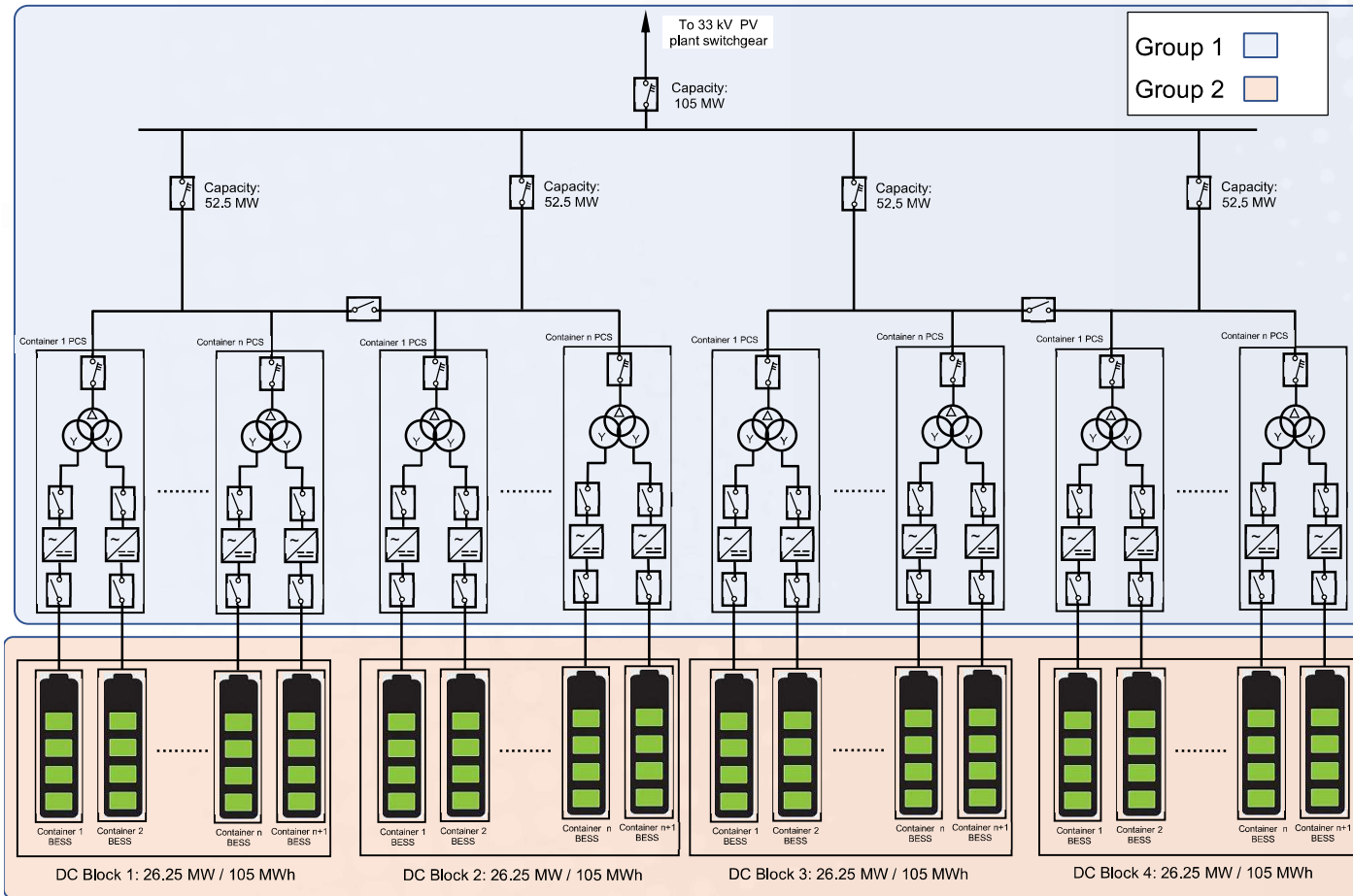
Pods



Fuente: 1. <https://www.evlithium.com/energy-storage-system-solutions/90kw-266kwh-all-in-one-cabinet-bess.html>

Fuente: 2 <https://www.keheng-battery.com/Keheng-1mw-battery-container-300kw-500kw-800kw-energy-storage-system-ess-solar-power-system-p.html>

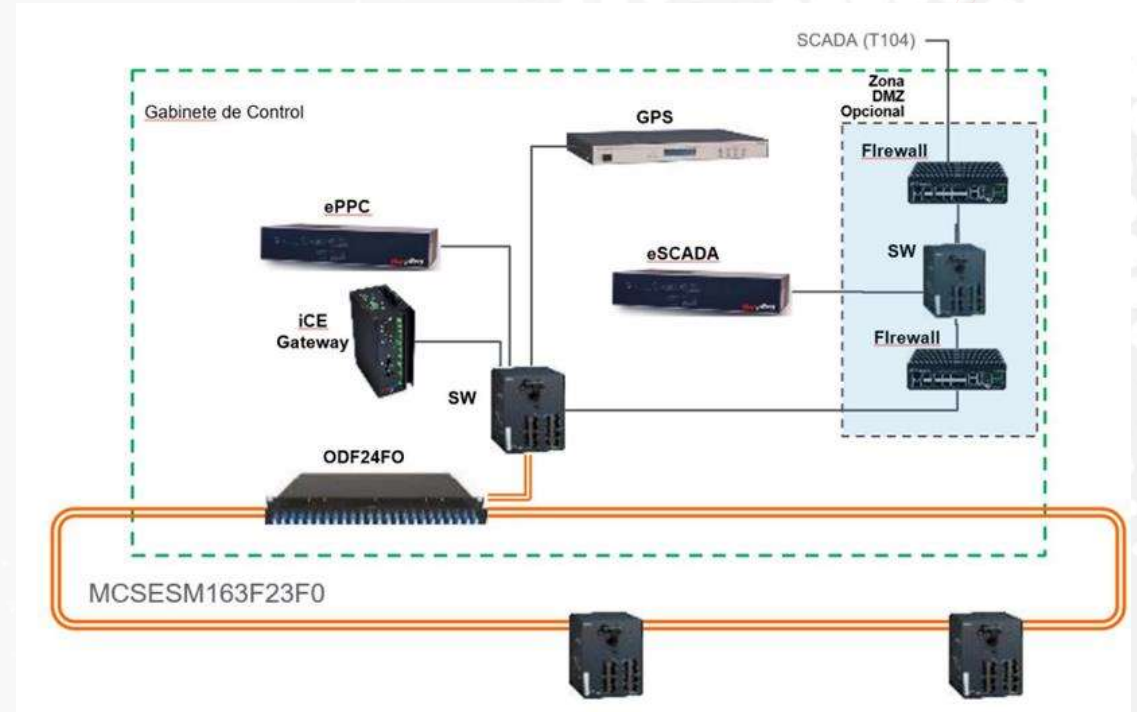
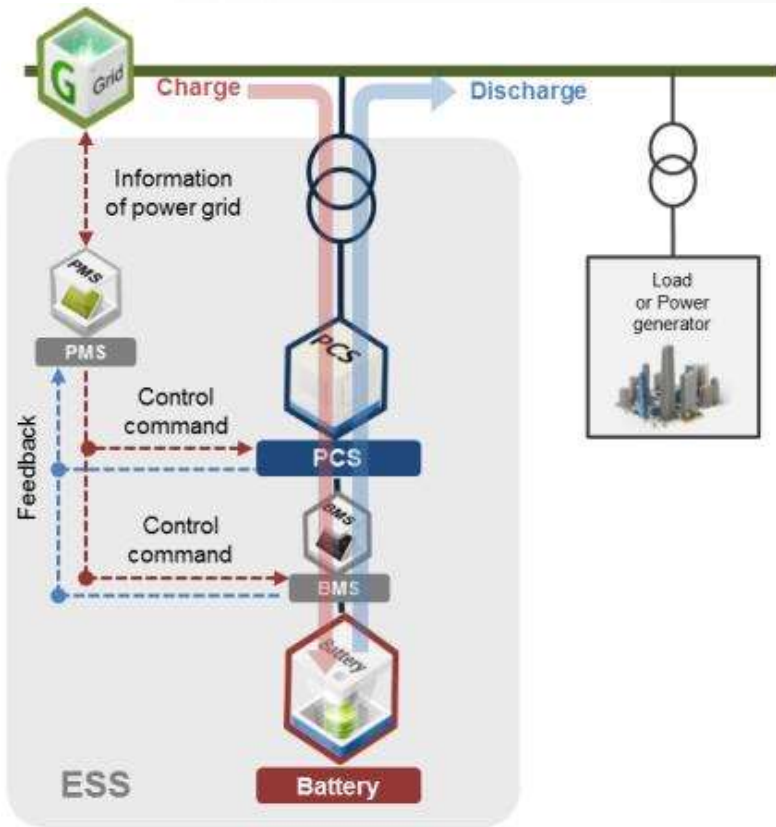
Arquitectura de Conexión de un Proyecto BESS



BESS
105 MW – 4h
420 MWh

Fuente: NREL 2021

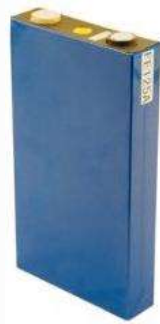
Componentes Principales Arquitectura



Fuente: Schneider

Fuente: Hyosung

Cell (FE125A)		
Cell Capacity (Ah)	125	
Cell Voltage Max. (V)	3.6	
Cell Voltage Min. (V)	2.8	
Cell Voltage Nom. (V)	3.2	
Cell Energy (Wh)	400	
Cell C – Rate Charge/Discharge	1C	



$$E_{\text{cell}} = V_{\text{cell}} * I_{\text{cell}} = 3.2\text{V} * 125\text{Ah} = 400 \text{ Wh}$$

Module (76.8NESP250)		
Cell Connection (S/P)	24	2
Module Capacity (Ah)	250	
Module Voltage Max. (V)	86.4	112.5%
Module Voltage Min. (V)	67.2	87.5%
Module Voltage Nom. (V)	76.8	
Module Energy (kWh)	19.2	



$$V_{\text{mod}} = V_{\text{cell}} * \#\text{CellsSer.} = 3.2\text{V} * 24 = 76.8 \text{ V}$$

$$I_{\text{mod}} = I_{\text{cell}} * \#\text{CellsParal.} = 125\text{Ah} * 2 = 250 \text{ Ah}$$

$$E_{\text{mod}} = V_{\text{mod}} * I_{\text{mod}} = 76.8\text{V} * 250 \text{ Ah} = 19.2 \text{ kWh}$$

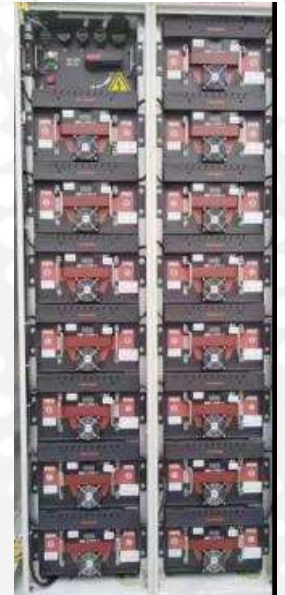
Proyecto en Italia
 BESS de 70 MW / 340 MWh
 T= 4.86h, C – Rate = 0.2

Rack (768125288)		
Module Connection (S/P)	15	1
Rack Capacity (Ah)	250	
Rack Voltage Max. (V)	1296	112.5%
Rack Voltage Min. (V)	1008	87.5%
Rack Voltage (V)	1152	
Rack Energy (kWh)	288	

$$V_{\text{rack}} = V_{\text{mod}} * \#\text{Mods. Ser.} = 76.8\text{V} * 15 = 1152 \text{ V}$$

$$I_{\text{rack}} = I_{\text{mod}} * \#\text{Mods. Paral.} = 250\text{Ah} * 1 = 250 \text{ Ah}$$

$$E_{\text{rack}} = V_{\text{rack}} * I_{\text{rack}} = 1152\text{V} * 250 \text{ Ah} = 288 \text{ kWh}$$



Narada



Container		
Rack Connection (S/P)	1	20
Container Capacity (Ah)	5000	
Rack Voltage Max. (V)	1296	112.5%
Rack Voltage Min. (V)	1008	87.5%
Container Voltage (V)	1152	
Container Energy (kWh)	5760	
Eficiencia de Carga (%)	96.44%	
Eficiencia de Descarga (%)	96.44%	
RTE (%)	93.00%	

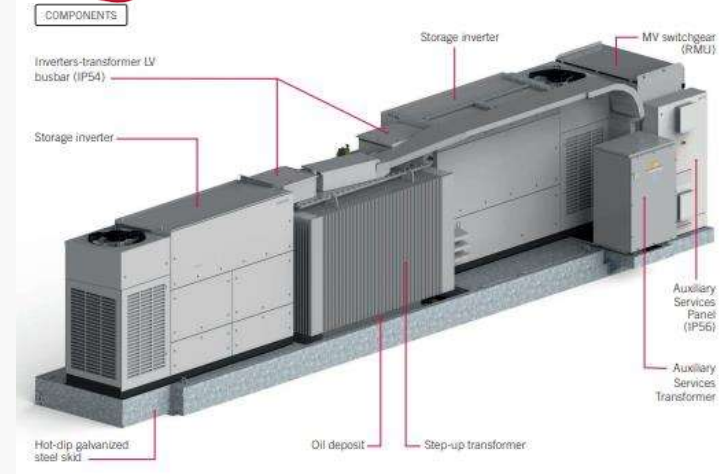
$$V_{\text{cont}} = V_{\text{rack}} * \#\text{RacksSer.} = 1152\text{V} * 1 = 1152\text{V}$$

$$I_{\text{cont}} = I_{\text{rack}} * \#\text{RacksParal.} = 125\text{Ah} * 20 = 5000\text{Ah}$$

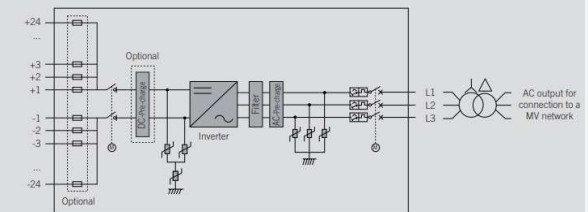
$$E_{\text{cont}} = V_{\text{cont}} * I_{\text{cont}} = 1152\text{V} * 125\text{Ah} = 5760\text{kWh}$$



Ingeteam

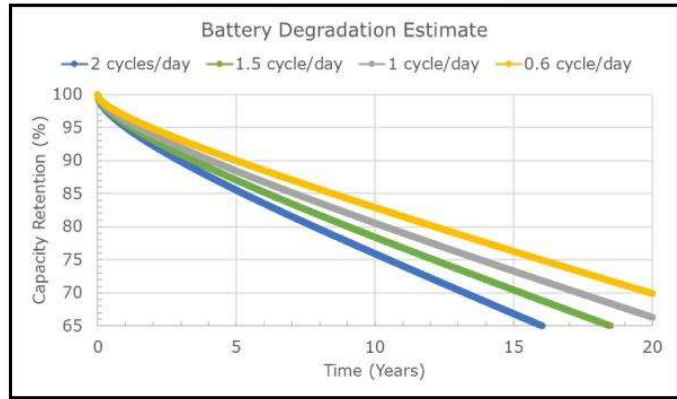


INGECON® SUN STORAGE 3660TL

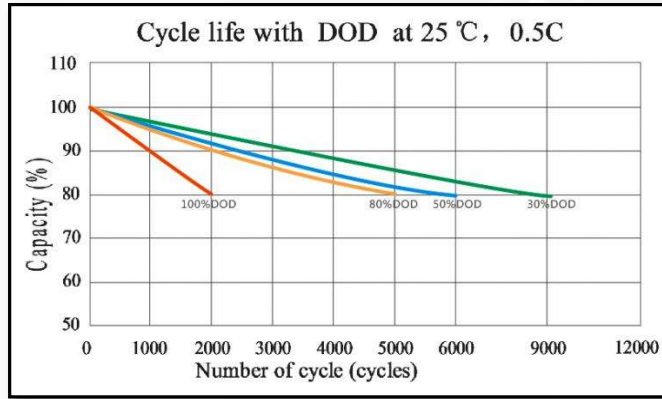


Factores de Degradación

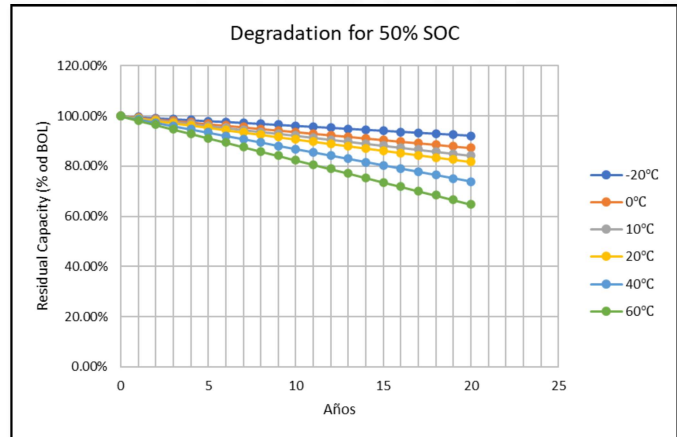
Número de Ciclos



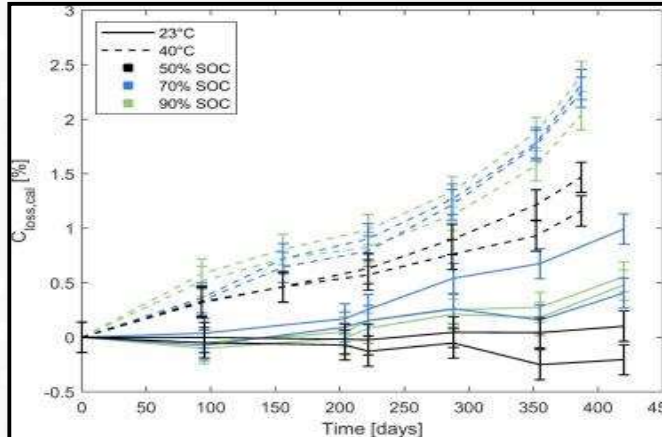
Depth of Discharge – DoD



Temperatura



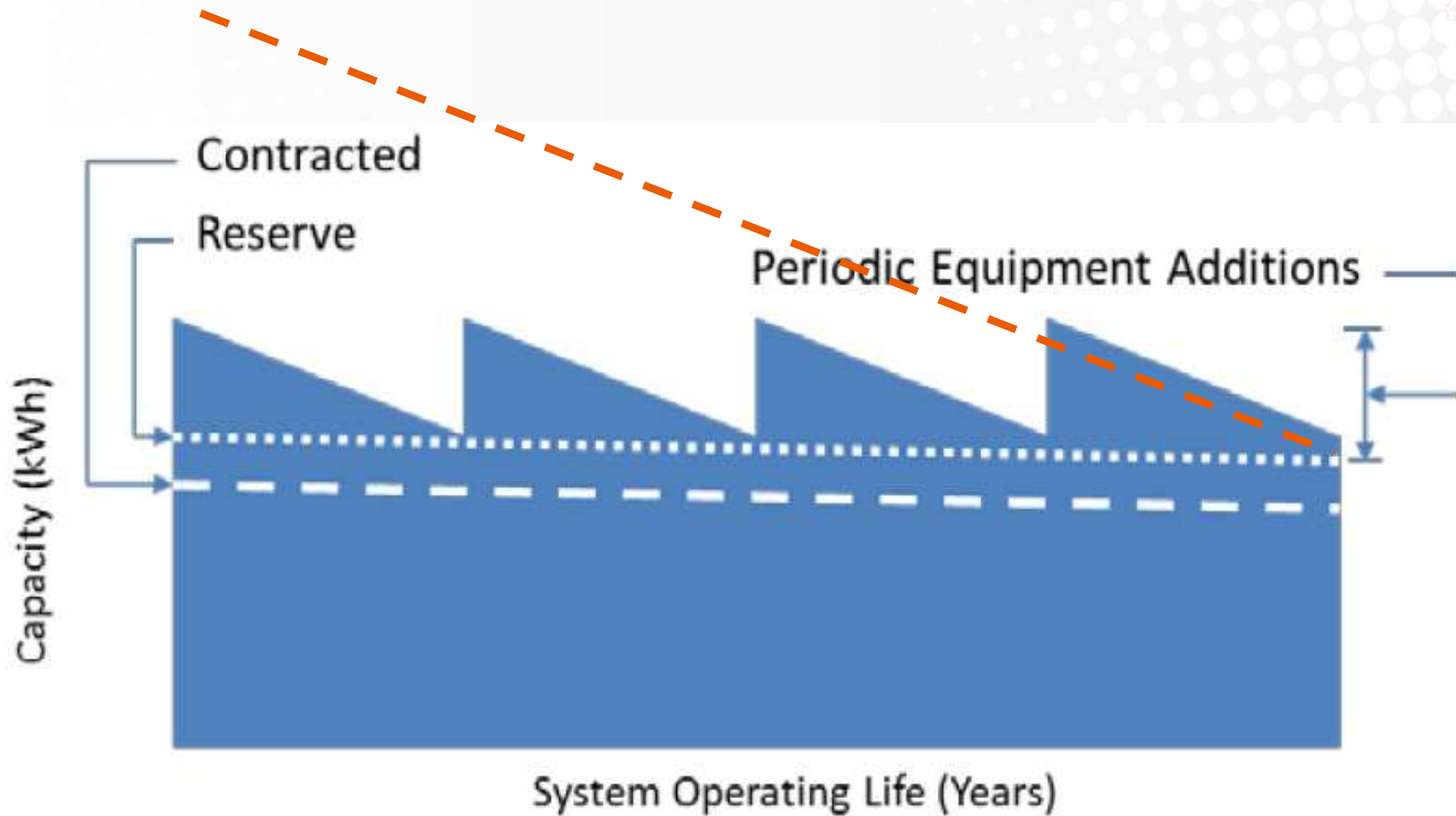
Envejecimiento



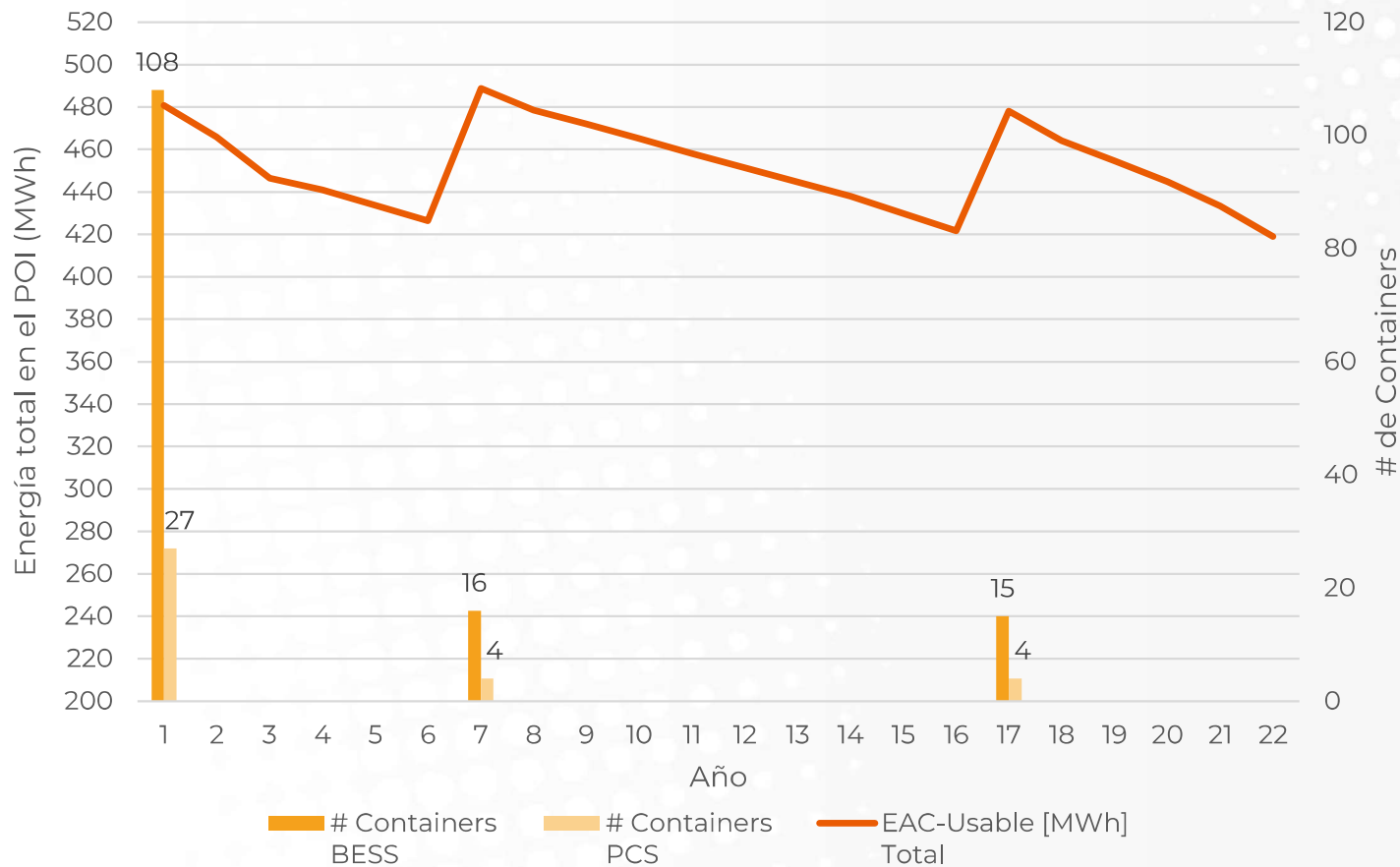
Battery Lifetime Analysis and Simulation Tool Suite



Estrategia Mantenimiento de Capacidad **Augmentation**



Ejemplo Augmentation

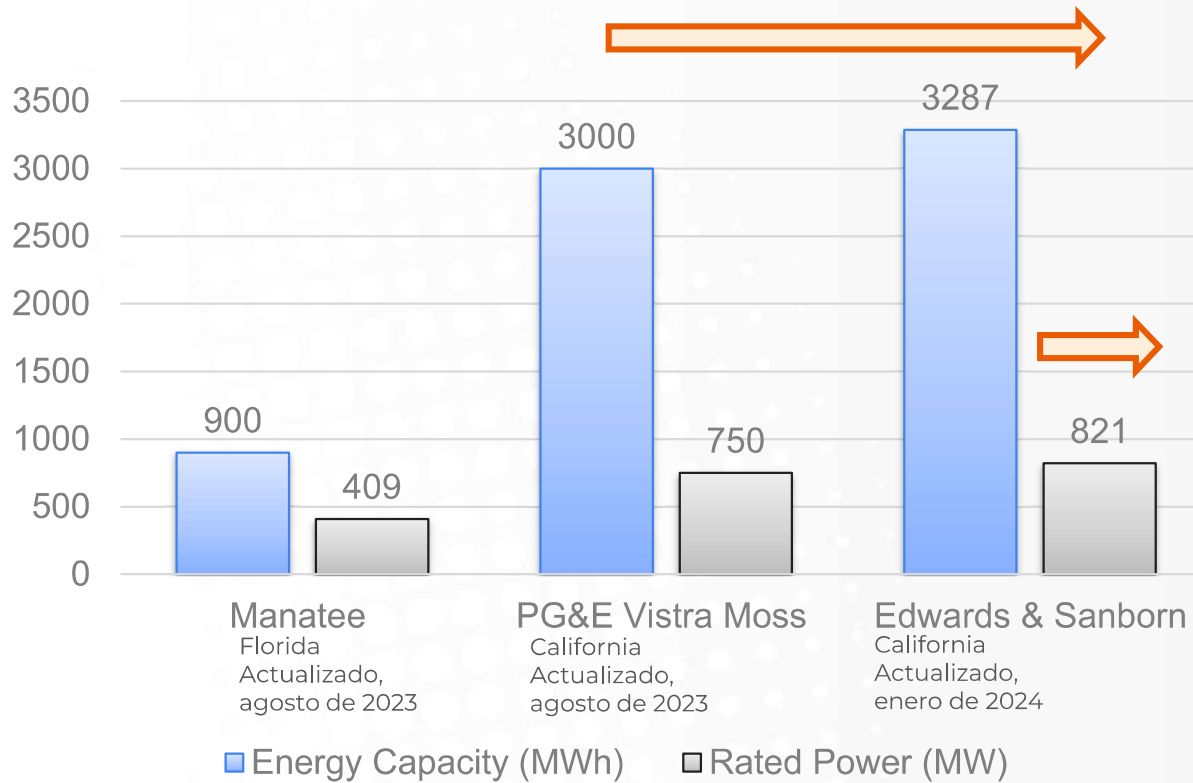


**Objetivo en el POI:
105 MW / 420 MWh**

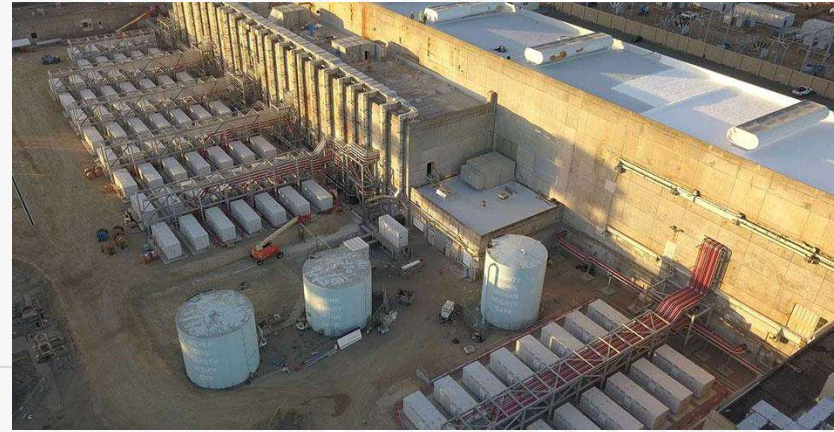
T= 4h, C-Rate = 0.25

Proyectos BESS más Grandes del Mundo

Top 3: Los mayores proyectos de almacenamiento de energía de litio en funcionamiento
 En MW y MWh



BESS: LG Chem



PV Edwards Sanborn: 875MW_{DC}
 BESS: LG Chem, Samsung, BYD



Productos y Servicios en el Sistema Eléctrico

PRODUCTO	Energía 
SERVICIOS	Transporte (T&D) 
	Mover energía en el tiempo 
	Balance (Frecuencia) 
	Flexibilidad 
	Confiabilidad Global Energía (Cargo por confiabilidad) 
	Confiabilidad Global Potencia (Cargo por capacidad) 
	Seguridad del sistema (Capacidad y Alivio congestiones) 
	Calidad 



Aplicaciones BESS Behind the Meter (BTM) – Sector Industrial



REDUCCIÓN DE COSTOS DE ENERGÍA

BESS + FNCER para incrementar la autogeneración para reducir consumo de red
El BESS almacena excedentes FNCER



MEJORAR LA CONFIABILIDAD

Para respaldo de energía en caso de salida de activos de red o generación y evitar pérdidas de producción



MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO

Para Sags y Swells, soporte de Tensiones, compensar f.p., control de frecuencia en sistemas Off – Grid (aplicaciones GF)



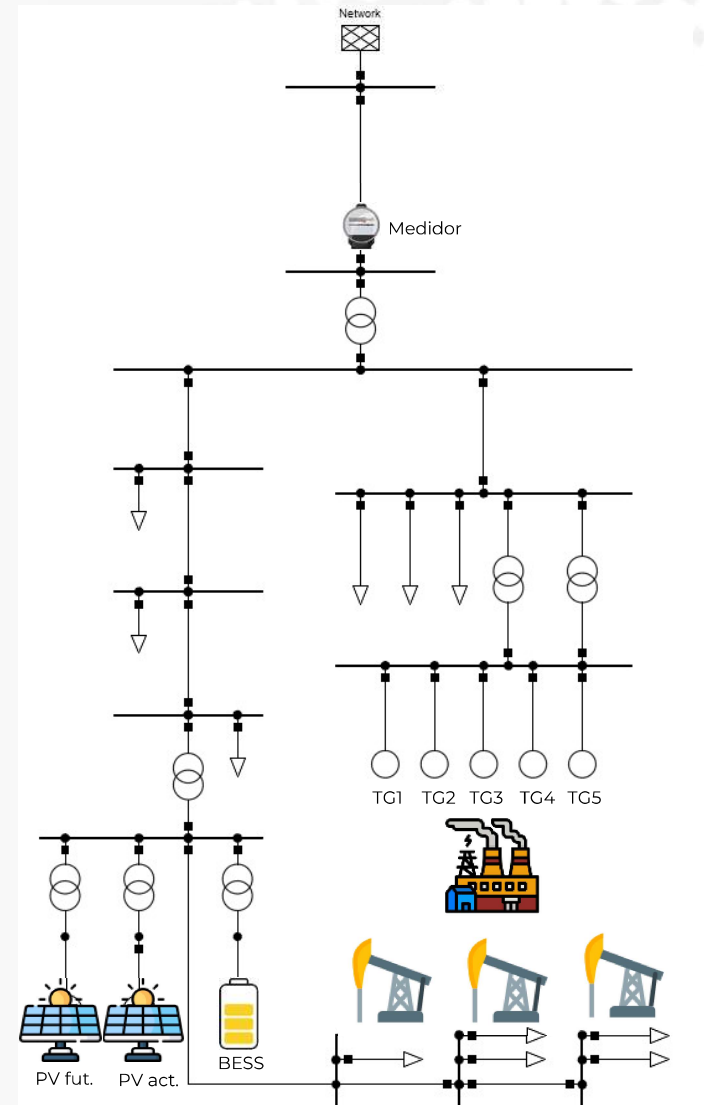
COMO ACTIVO DE RED

Diferir o reemplazar expansión de red



DESCARBONIZAR OPERACIONES

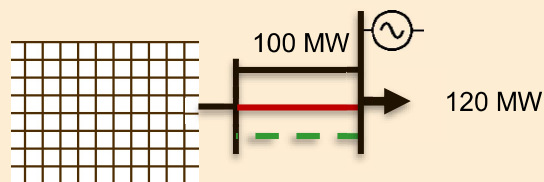
Para reducir autogeneración térmica de respaldo o de la red



Almacenamiento como **solución estructural** de transmisión

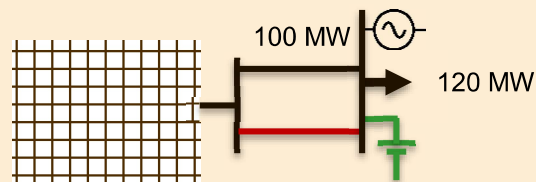


Construir una línea



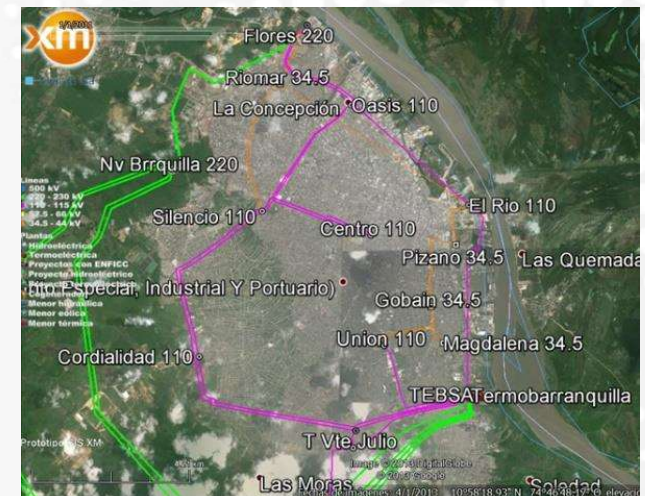
- Para cubrir la contingencia n-1 en la punta se requiere generación de seguridad, generalmente durante más tiempo que lo óptimo.
- La decisión de largo plazo de levantar la congestión requiere análisis de beneficio-costos versus el costo de construir una línea de transmisión.
- La oportunidad de la expansión depende del crecimiento de la demanda, su forma y los costos de generación..

Instalar una batería



- El almacenamiento cubre contingencias n-1 recortando los picos diarios o inyectando potencia automáticamente cuando ocurran eventos en el sistema. Se carga con energía barata de la red.
- Es un recurso ideal de seguridad. Como un Esquema Suplementario de Protección Sistémica que no deslastra carga, sino que entrega energía.
- Puede ser ampliado modularmente hasta que se requiera una línea.

UPME STR01-2021

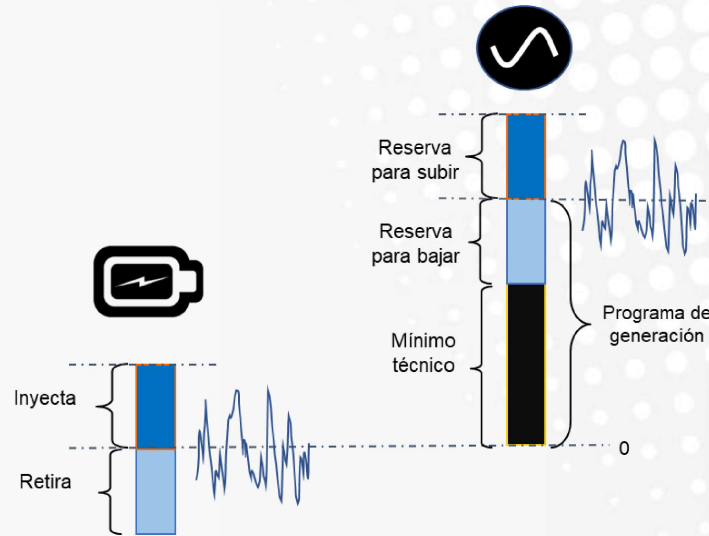
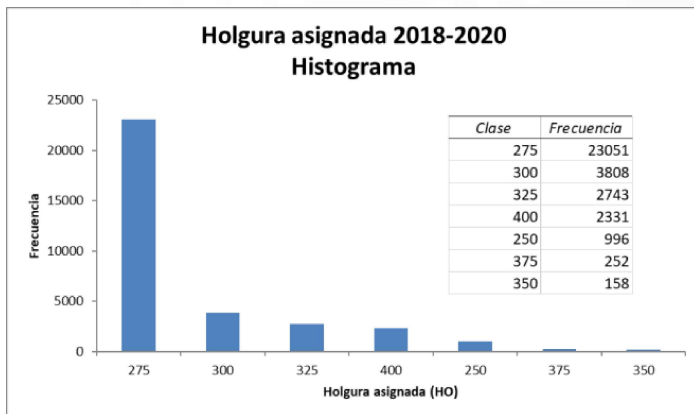


Batería 45MW/52MWh
 Entrada en operación: junio 30 de 2023
 Ahorros para los consumidores de:
≈ USD 68.75 millones/año

Almacenamiento para **regulación de frecuencia**



Responsabilidad Comercial AGC		
Año	mill COP	mill USD
2018	343,572	116
2019	270,974	83
2020	275,378	75



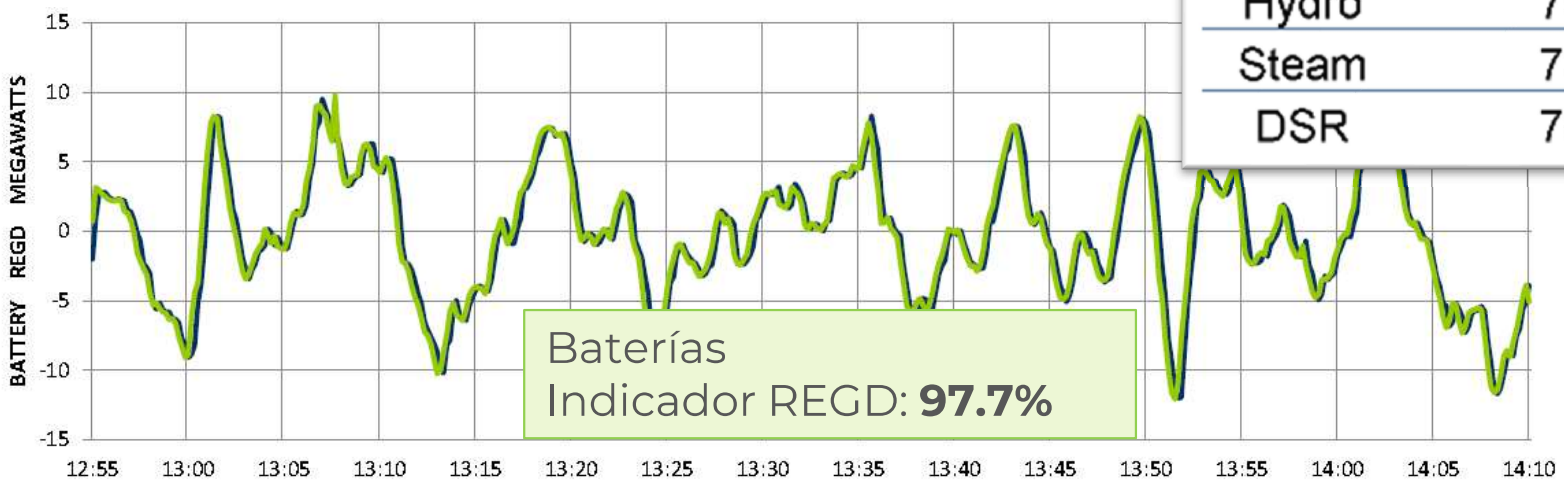
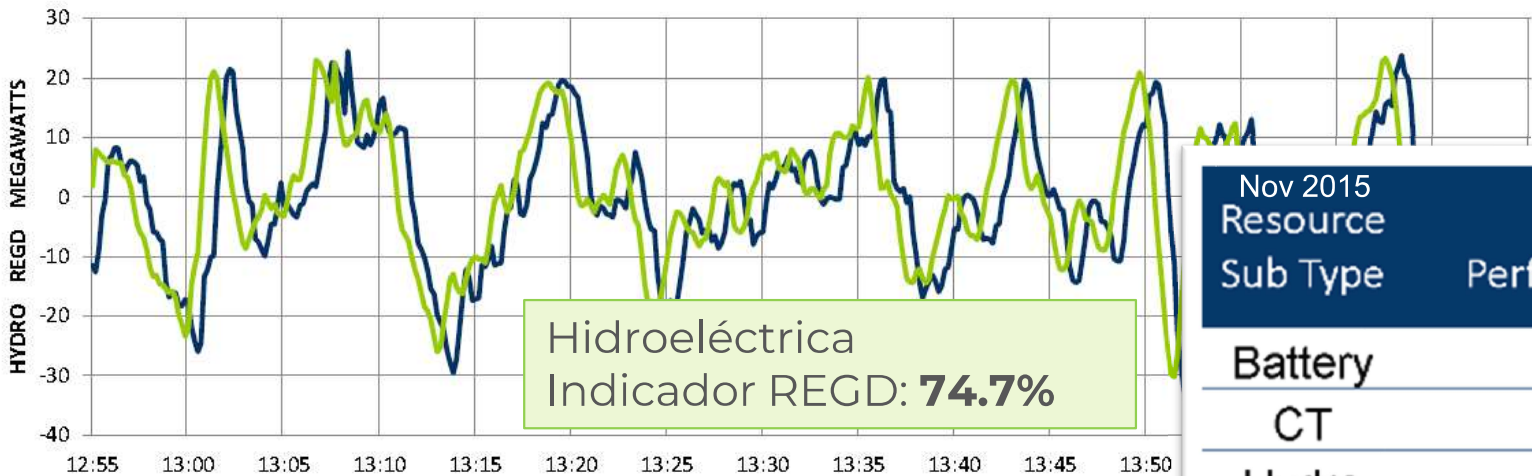
* VPN RSF (15 años) - Mill USD	706.95
VPN remuneración al inversionista (15 años) - Mill USD	334.78
B/C	2.11
Payback (años)	2.16

Ahorro promedio año: **USD 57 millones**

Requerimiento AGC: 400 MW @ 60 min → Costo Batería: 226 MM USD

* Se asume valor promedio de costo de AGC durante 15 años y tasa de retorno de la inversión de 11.5%

Ejemplo de Control de Frecuencia (PJM)



Nov 2015 Resource Sub Type	REGA Performance	REGD Performance
Battery		94.0
CT	84.4	90.0
Hydro	79.6	75.7
Steam	73.6	
DSR	78.8	84.2

— Response
— Desired

Proyectos en **Latinoamérica**



ISA ha realizado estudios en proyectos de almacenamiento por ~1.184 MW/662 MWh

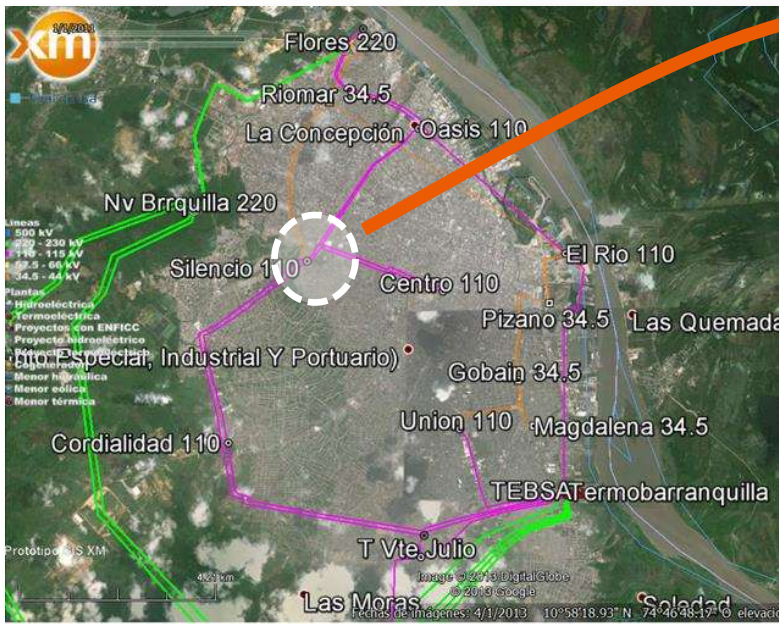


Proyecto	Aplicación	Solución	Participación ISA	Estado proyecto
BESS Atlántico 	Descongestión de red y reducción de generación de seguridad térmica	45 MW / 45 MWh	Estructuró y presentó oferta	Adjudicado a Canadian Solar
BESS Registro 	Peak-shaving y control de rampas	30 MW / 60 MWh	Propiedad 100% ISA: Construyó, opera y mantiene	En operación
BESS APLO 	Control de flujo para diferir señal de expansión de red	2 x 500 MW/ 125 MWh	Estructuró y presentó oferta	Stand-by
BESS Delta 	Guardar energía solar cortada	105 MW/420 MWh	Estructuró y presentó oferta	Adjudicado a Transelec
BESS Brisas 	Guardar energía solar cortada y control de potencia reactiva	4 MW/12 MWh	Estructuró y presentó oferta	Stand-by
BESS Copey 	Guardar excedentes de energía solar	Estudio de prefactibilidad	En estudio de prefactibilidad	En estudio
BESS Caño Sur 	Confiabilidad	Estudio de prefactibilidad	En estudio de prefactibilidad	En estudio

Almacenamiento como **solución de congestión** en **Colombia**



Convocatoria UPME STR 01-2020 SAEB Barranquilla



Sistema de Almacenamiento con Baterías (SAEB)
45 MW / 52 MWh

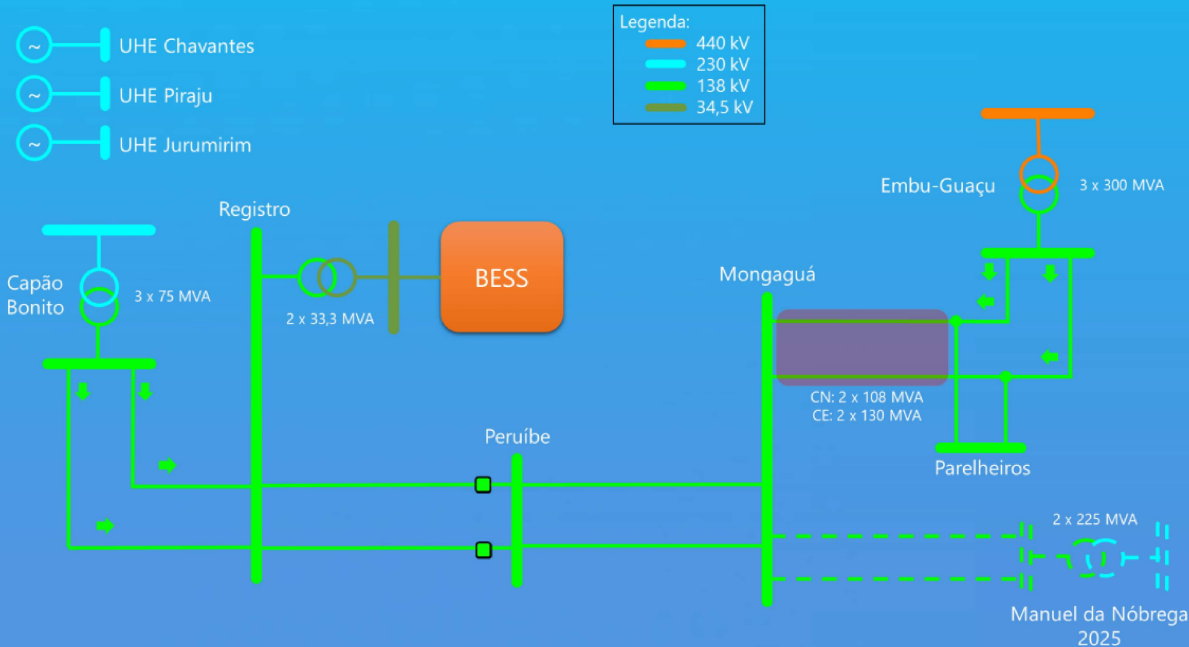
El **SAEB de Barranquilla** tiene el potencial de reducir los costos de restricciones en **USD 62 millones** anuales durante 3 años

Caso Brasil: Alívio de congestiones Litoral del sur



BESS foi dimensionado para reduzir o carregamento da LT 138 kV Embu Guaçu – Mongaguá nos momentos de pico de consumo

Região de Influência – Litoral Sul



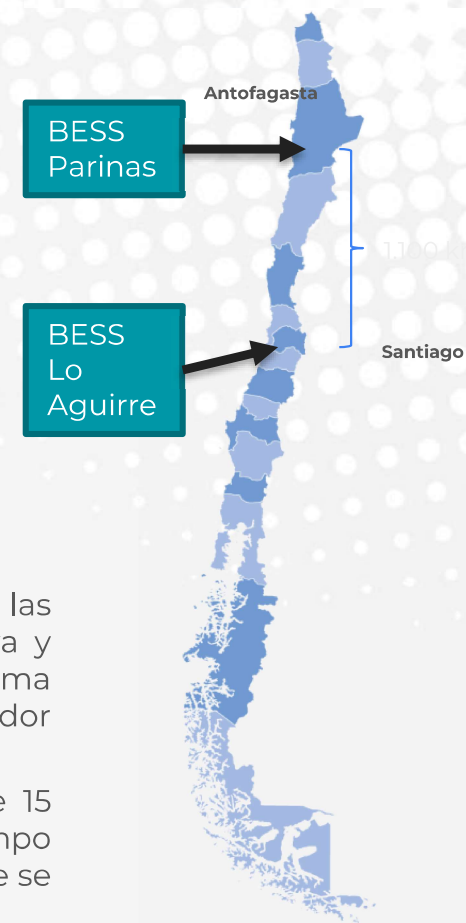
O projeto em números

- Potência: **30 MW**
- Capacidade: **60 MWh**
- Tempo de descarga: **2 horas**
- Vida útil: **17 anos**
- Ciclos: **20 por ano**
- 180 racks - **30 contêineres**
- Área: **~ 4 mil m²**

BESS Registro



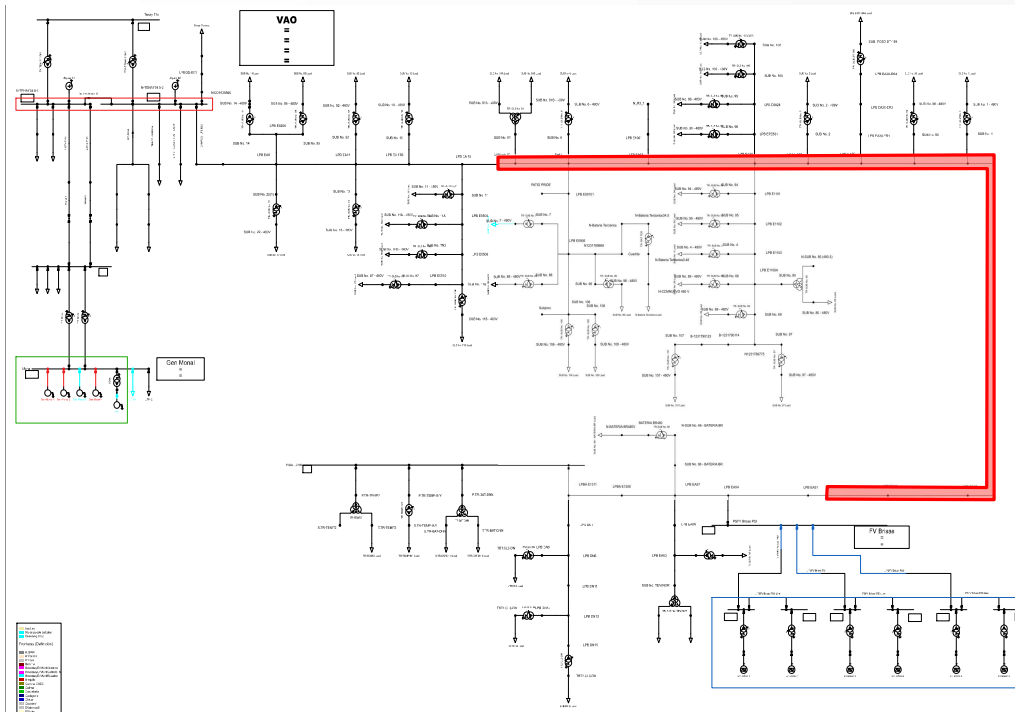
Caso Chile: Alivio de congestiones en corredor a 500 kV



Propósito de la obra: incrementar las transferencias por el corredor de 500 kV entre las subestaciones Parinas y Lo Aguirre mediante la compensación dinámica de potencia activa y reactiva entregada por dos equipos BESS instalados en ambas subestaciones operando en forma coordinada. Operación automática requiere monitorear transferencia y contingencias en corredor de 500 kV.

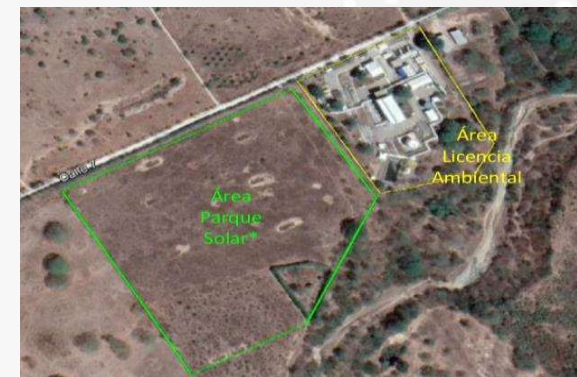
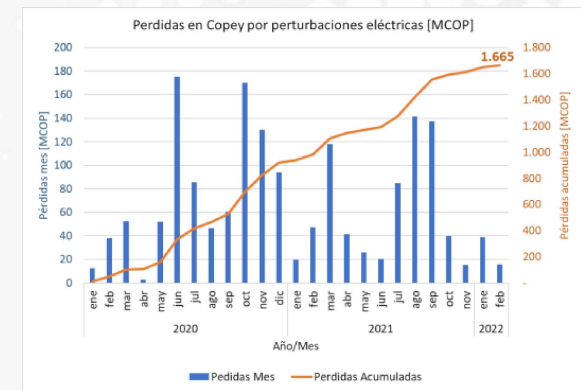
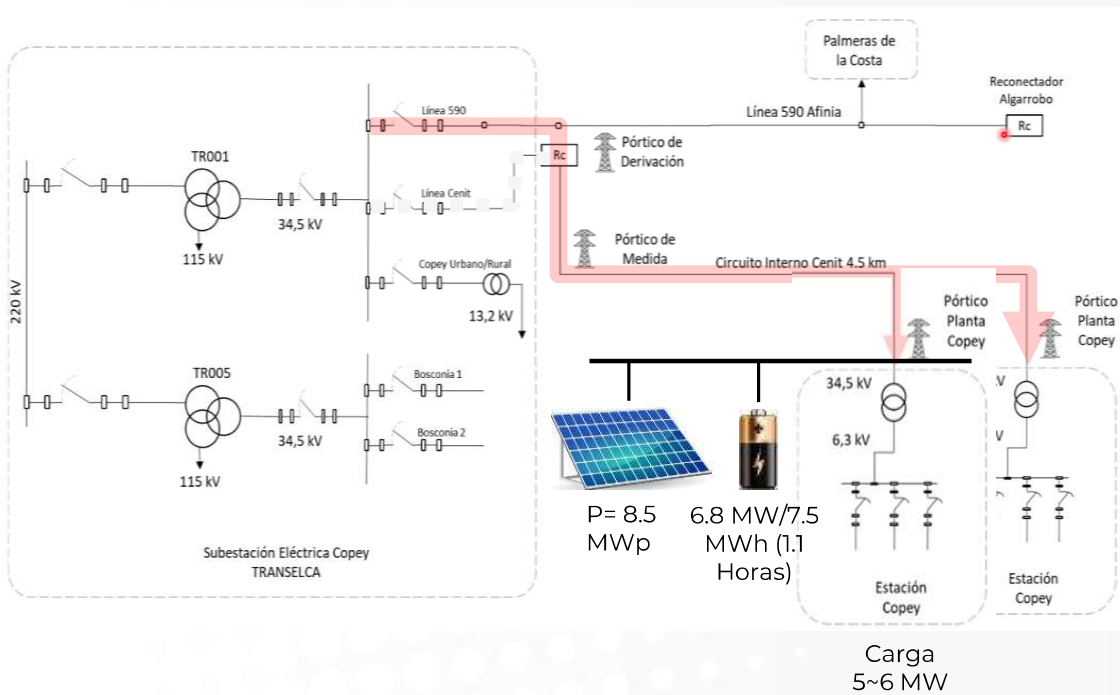
Ante la falla de un circuito del enlace, los equipos BESS intercambiarán potencia durante 15 minutos, manteniendo transferencias admisibles por el circuito sano (sin sobrecargas), tiempo durante el cual el Coordinador podrá iniciar las acciones de redespacho, de la misma forma que se realiza actualmente, por un monto de 500MW.

Sistema de Almacenamiento Brisas



BESS Brisas
4 MW / 12 MWh

Sistema de Almacenamiento Copey



Muchas gracias por su atención

Mauricio Sánchez
Especialista Soluciones Energéticas

 +57 300 6146828

 hsanchez@isa.com.co

 www.isa.com



VIII CONGRESO
INTERNACIONAL

Incorporación de **BATERÍAS** en el
dimensionamiento de los sistemas,
una realidad que no se puede aplazar