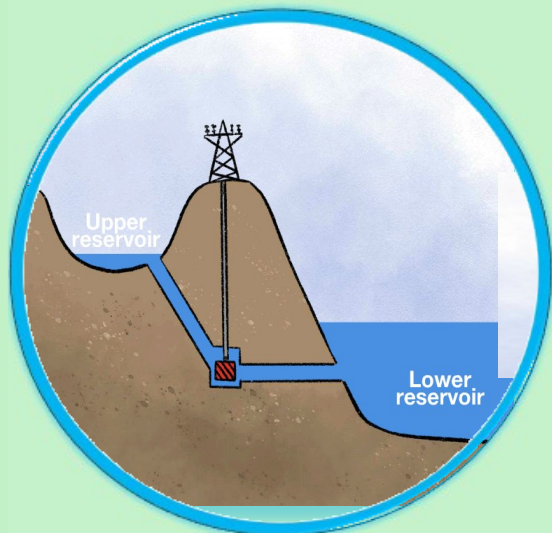
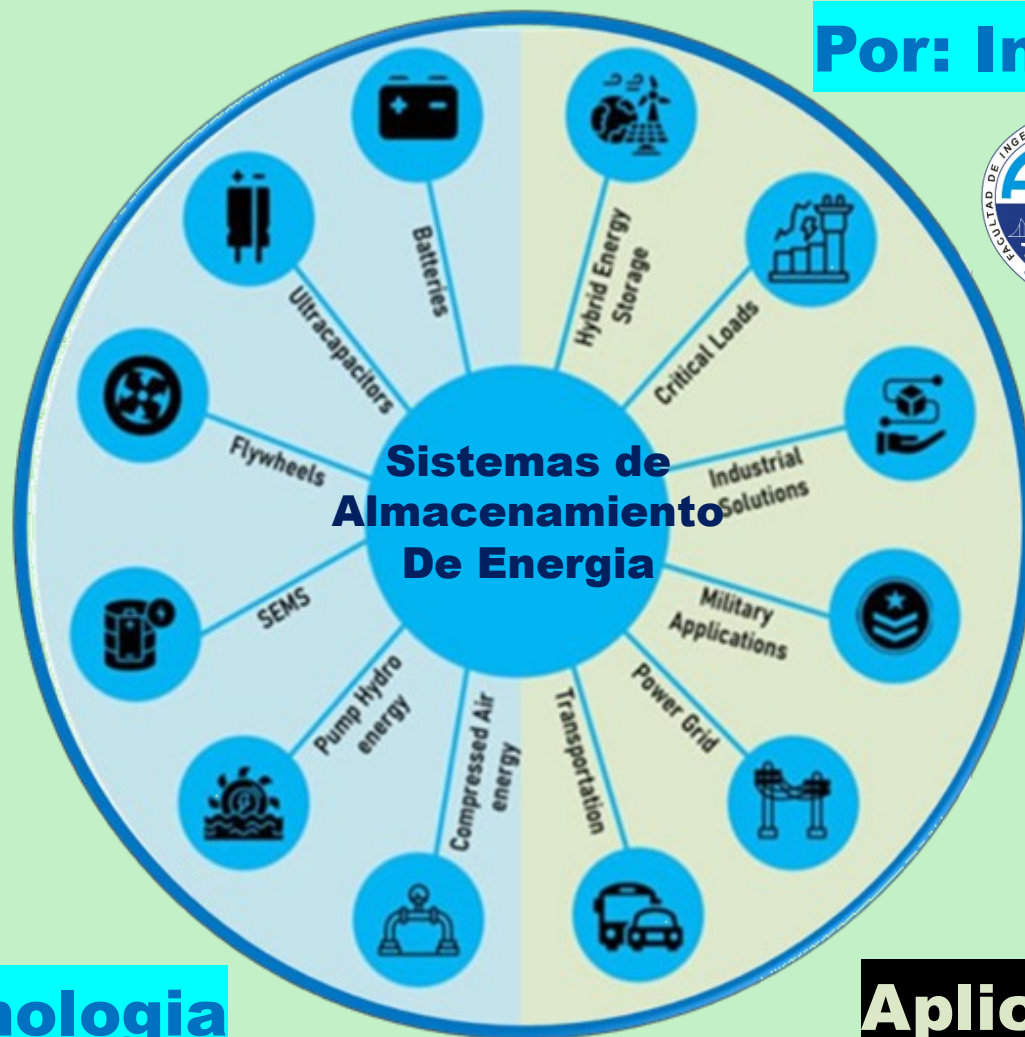


Almacenamiento de Energía: Presentación en el Instituto de Energía.

Por: Ing. Abraham Pichardo



HIDRO-BOMBEO



Tecnologia

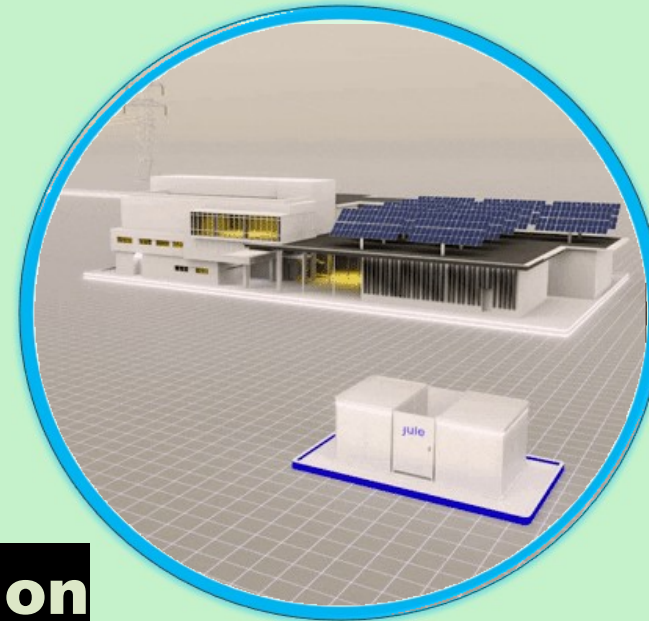
Aplicacion



Santo Domingo de Guzmán
26 de junio 2025

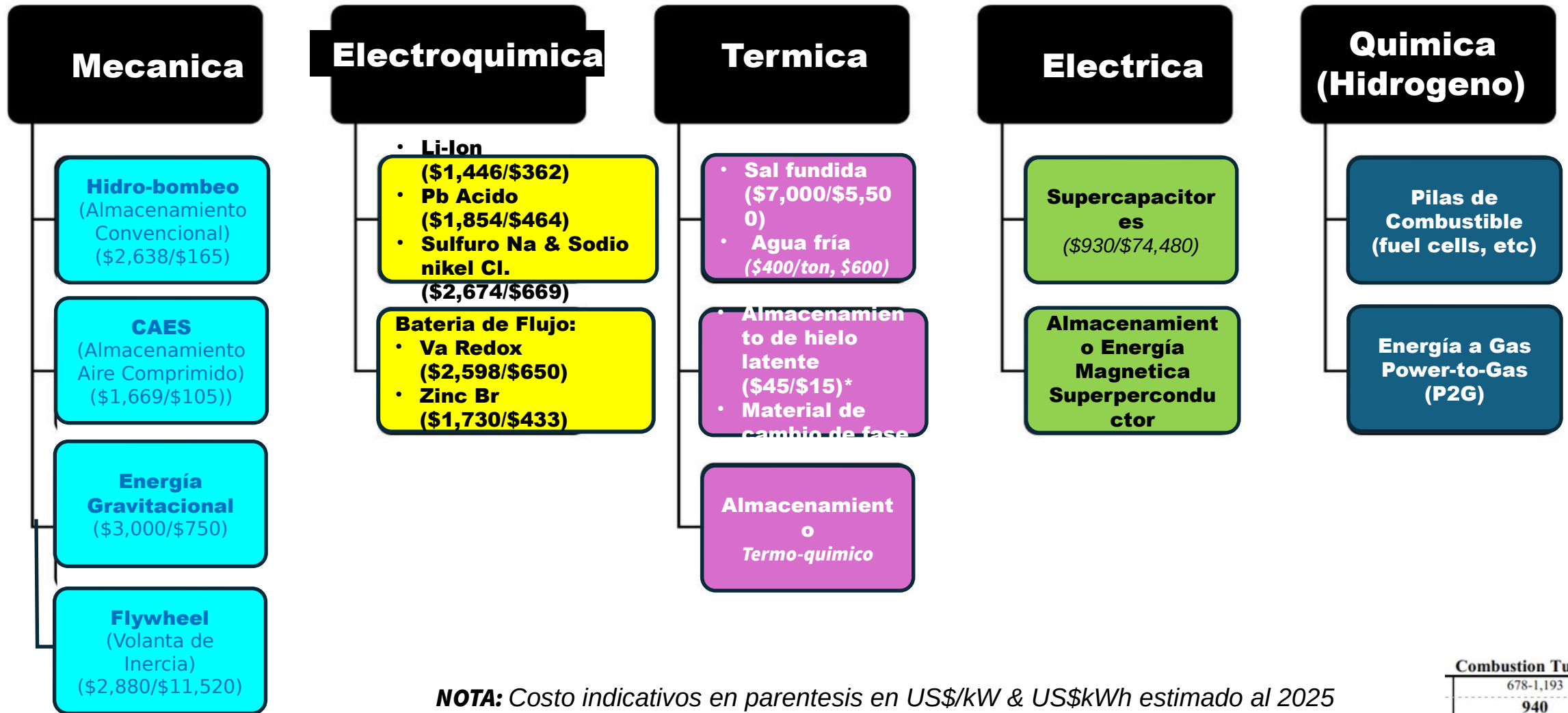


BESS



Los sistemas de almacenamiento de energía diseñados para microrredes se han convertido en un tema práctico y ampliamente debatido en el sector energético. Estos sistemas desempeñan un papel fundamental para el funcionamiento sostenible de las microrredes, abordando los desafíos de intermitencia asociados a las fuentes de energía renovables.

Almacenamiento de Energía y Costos Indicativos

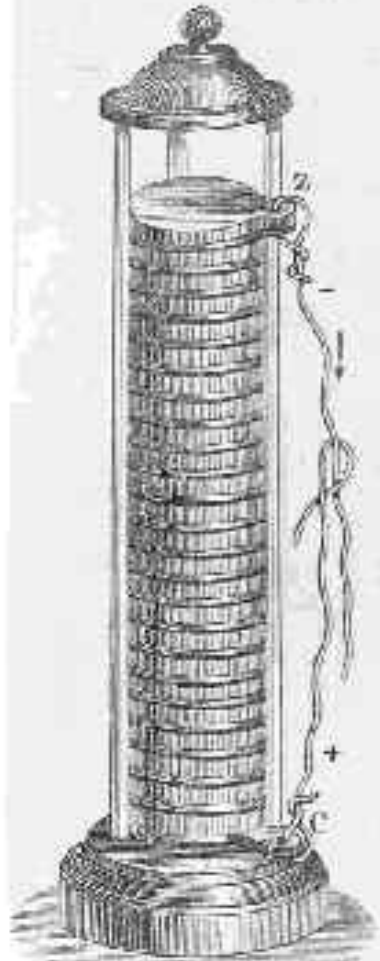


NOTA: Costo indicativos en parentesis en US\$/kW & US\$/kWh estimado al 2025

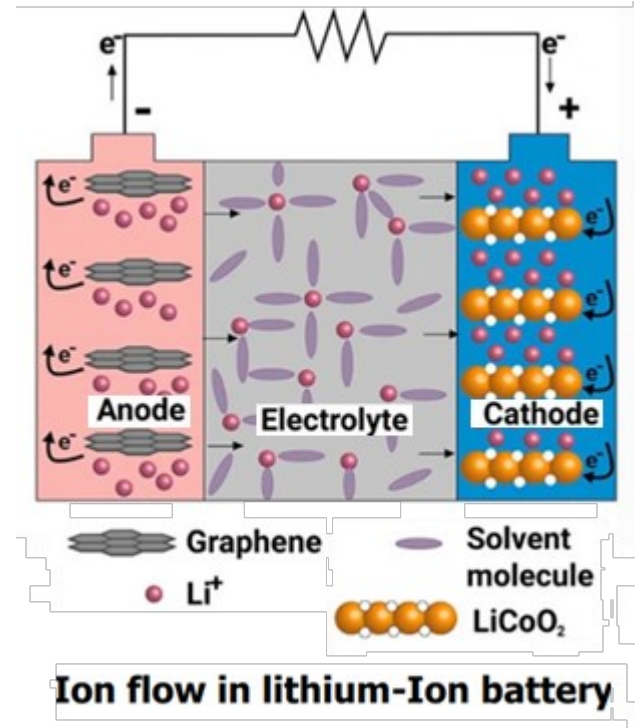
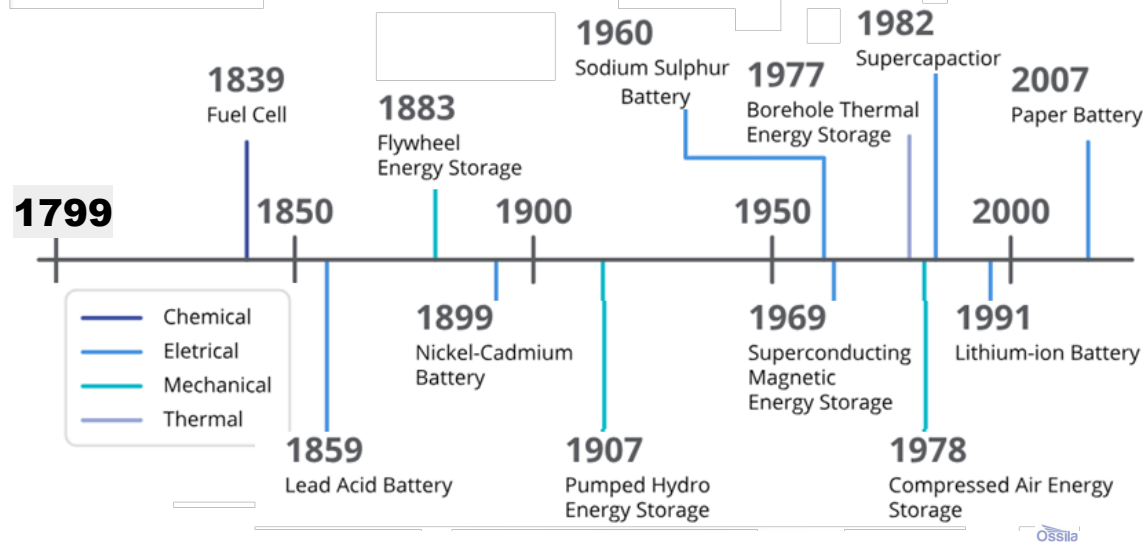
Combustion Turbine
678-1,193
940

Las instalaciones de almacenamiento de energía a nivel mundial están dominadas por la energía hidro-bombeo, seguida de las baterías de red, siendo las baterías de iones de litio el tipo más común. Si bien la energía hidroeléctrica de bombeo posee la mayor capacidad instalada, se proyecta que las baterías de red impulsarán la mayor parte del crecimiento futuro.

Primera Batería a Presente Tecnología de Almacenamiento



- **1799**, Alessandro Volta desarrolló la primera batería eléctrica
- **1859**, [Gaston Planté](#) desarrolló la batería de plomo-ácido
- **1881**, Camille Alphonse Faure desarrolló un modelo más eficiente y confiable en los primeros automóviles eléctricos.
- **1899** baterías logra 100 km/h en automóvil eléctrico, las que hoy todavía trabajan esencialmente bajo el mismo principio.



PRIMERA BATERIA: Esta batería, conocida como pila voltaica, consistía en dos placas de diferentes metales sumergidas en una solución química. El desarrollo por parte de Volta de la primera fuente de corriente eléctrica continua y reproducible supuso un paso importante en el estudio del electromagnetismo y en el desarrollo de equipos eléctricos.

Componentes de un SAEB / BESS)- Mas que Baterias

Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (SAEB)/ Battery Energy Storage System (BESS)";

Tecnologías de Baterías

- Iones de litio (Li-Ion)
- Plomo-ácido (PbA)
- De flujo
- Iones de sodio
- Estado sólido
- Zinc-aire
- Níquel-cadmio (NiCd)
- Sodio-azufre (NaS)

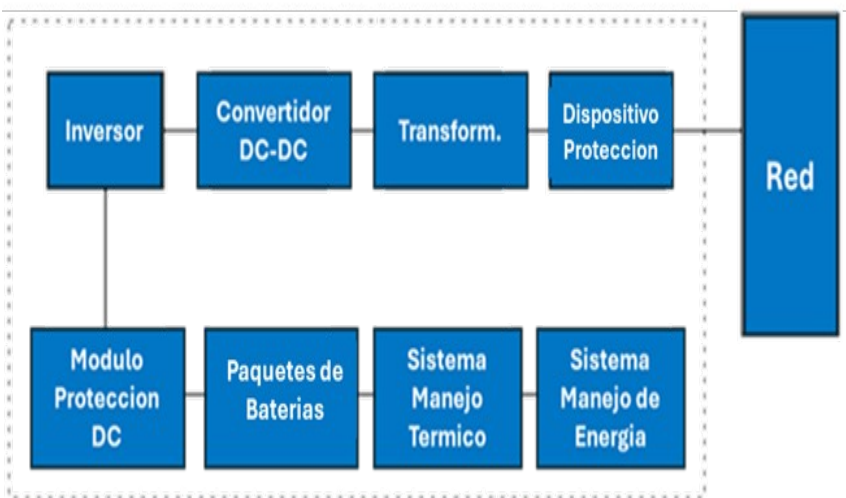
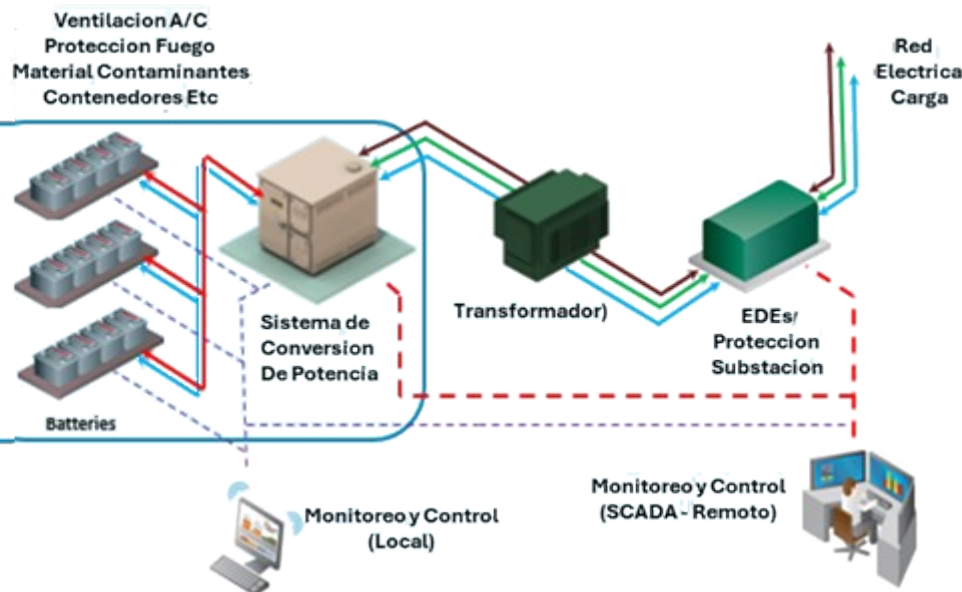
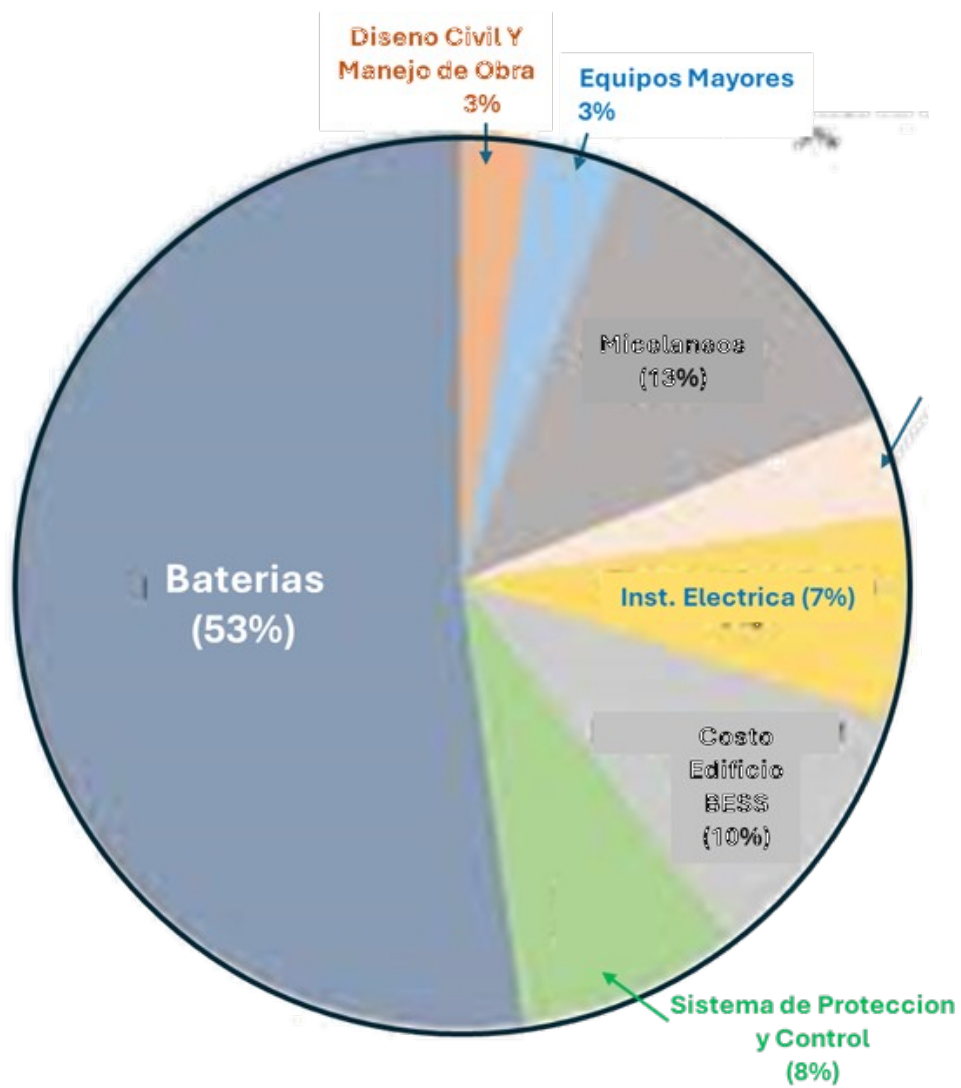


DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN BESS



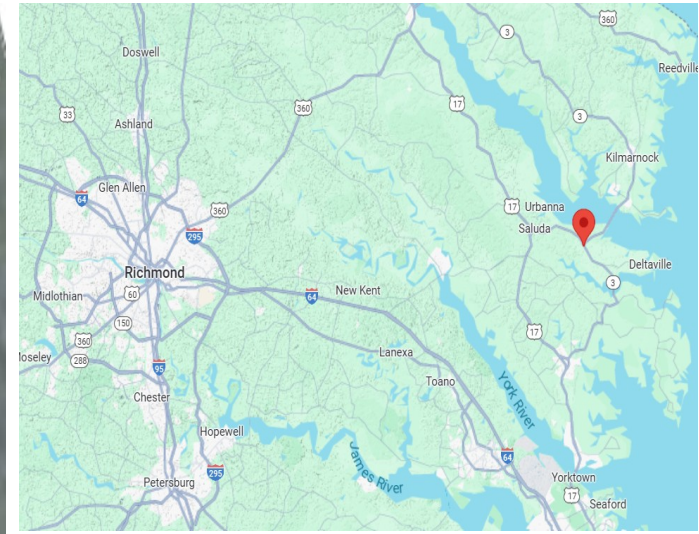
REQUISITOS DE UN BESS

- Equilibrio de voltajes de celda;
- Control de carga y descarga;
- Detección de anomalías;
- Gestión térmica;
- Protección de seguridad.



Distribucion Costo Indicativo de un BESS

Actual Proyecto BESS 80 MW, 4 Hrs en Etapa Inicial

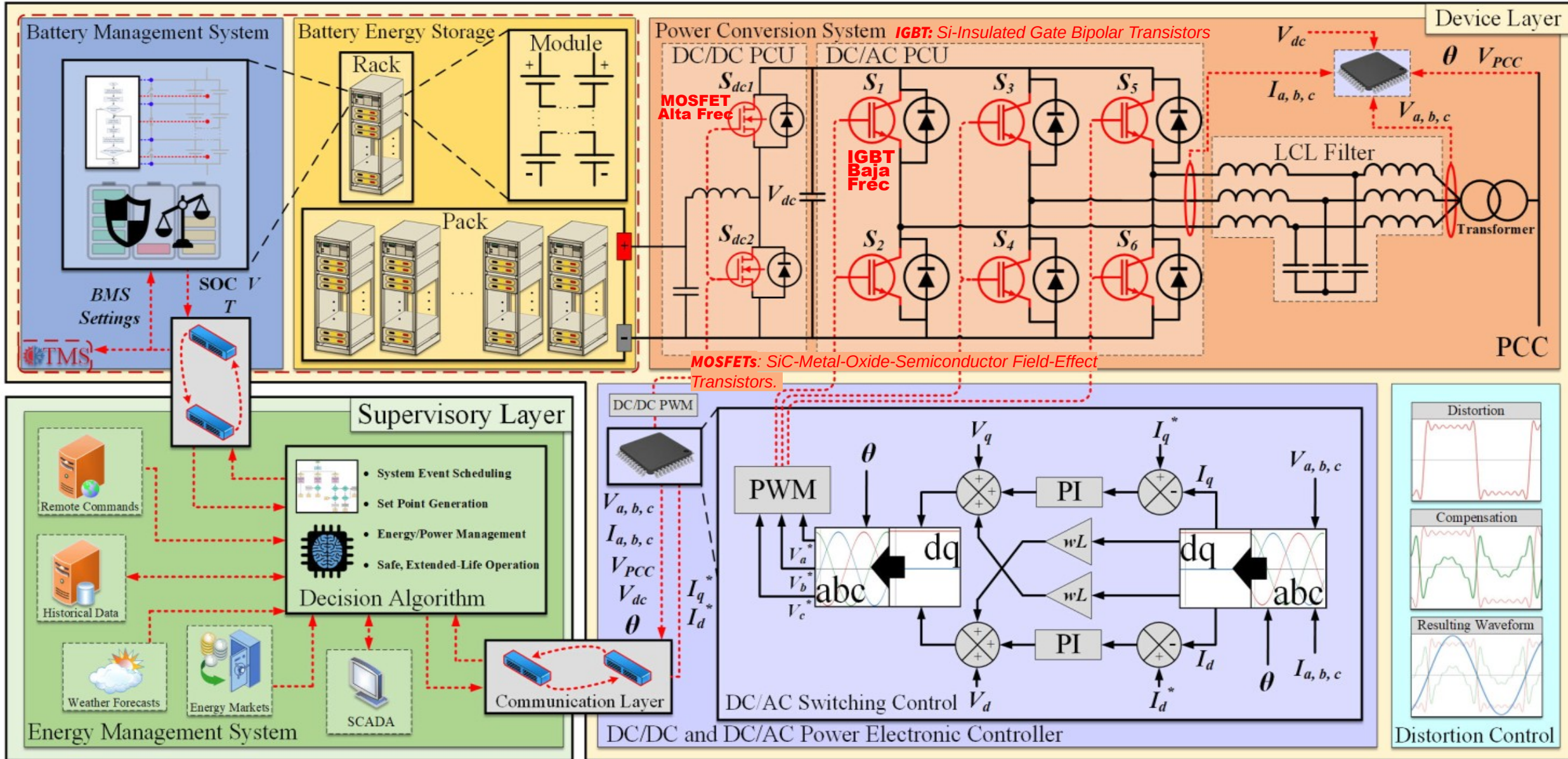


Dominion Energy expands BESS in VA



An electricity storage facility near Topping would resemble this one owned by Dominion Energy. Each container stores 8 MWh. (Photo courtesy of Dominion Energy)

Tipica Arquitectura de los Componentes de un BESS

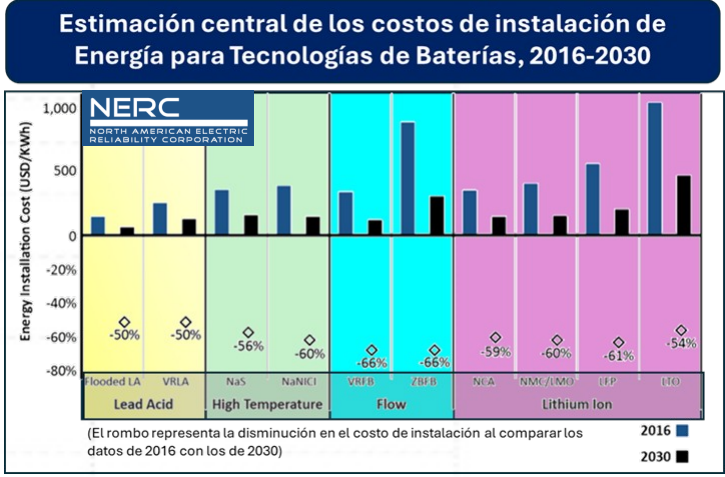
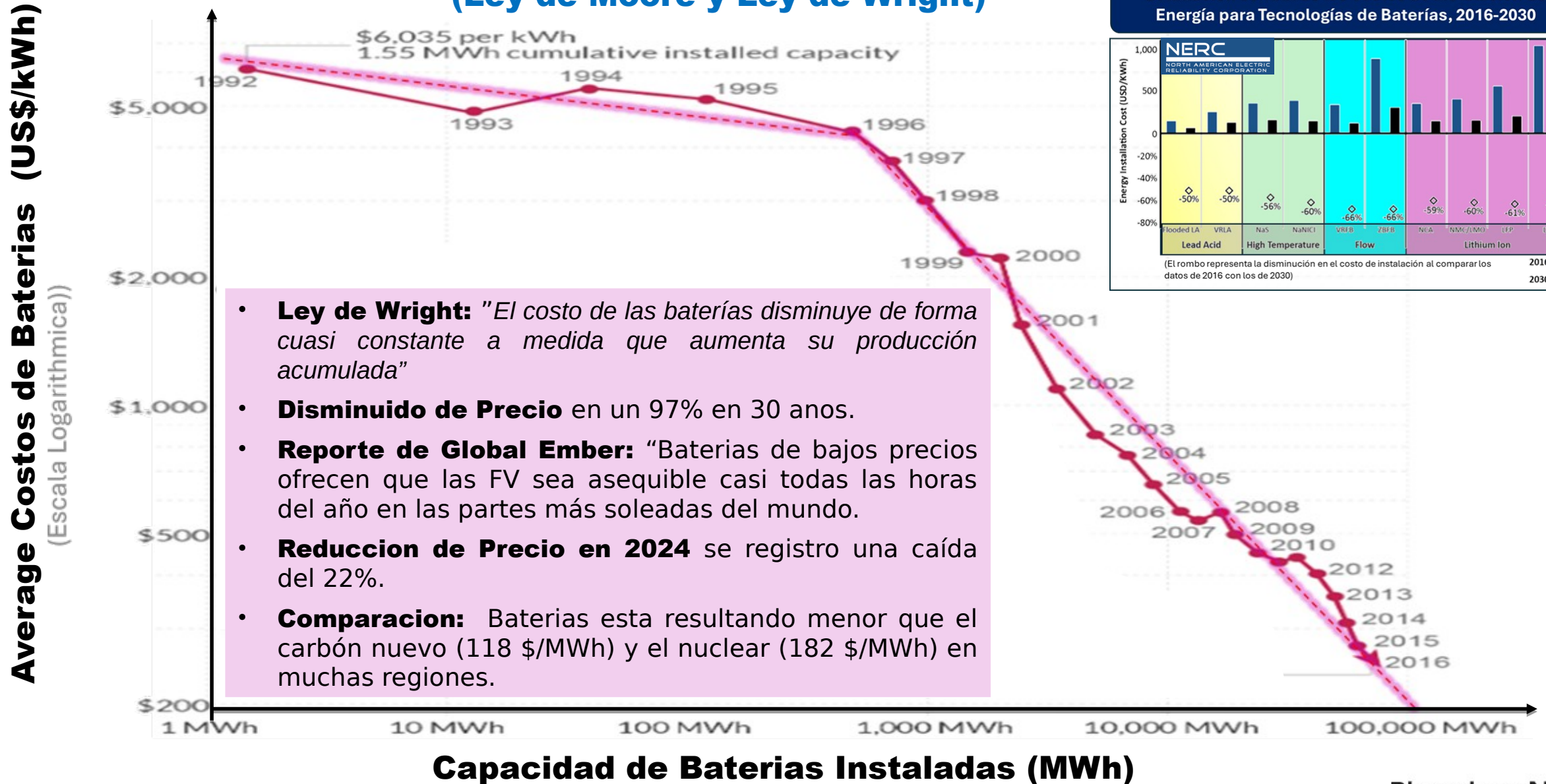


SOURCE: Overview of Technical Specifications for Grid-Connected Microgrid Battery Energy Storage Systems

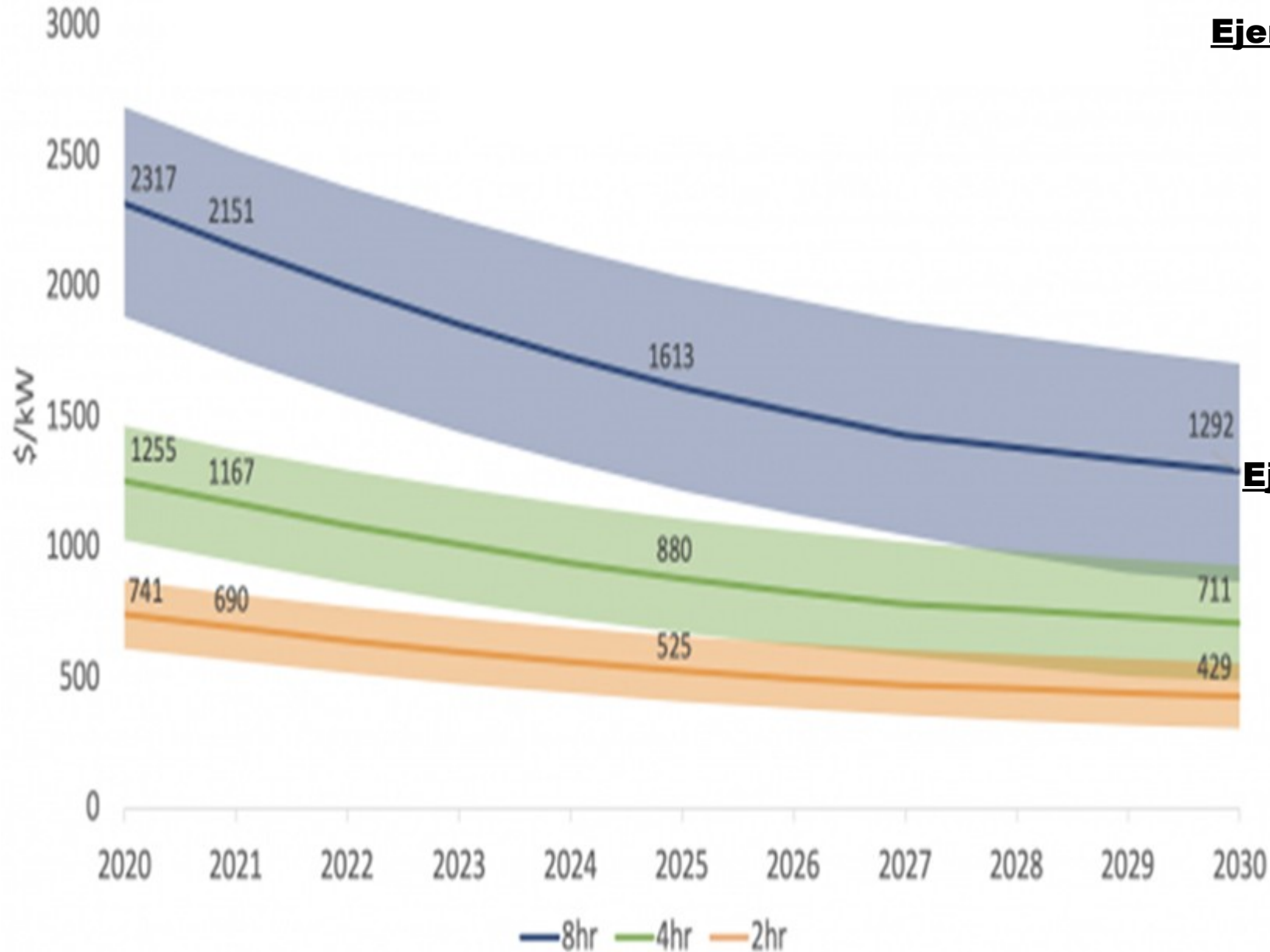
IEEE Publication

Disminucion del Precio de BESS vs. Capacidad Global Instalada

(Ley de Moore y Ley de Wright)

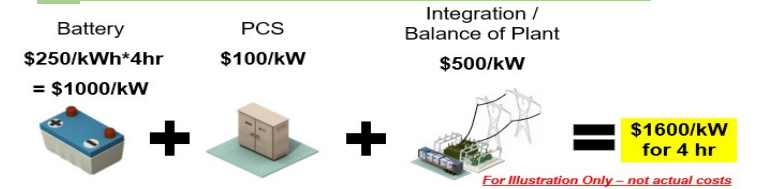


Estimado de costo de Instalacion 100 MW BESS Lt-Ion



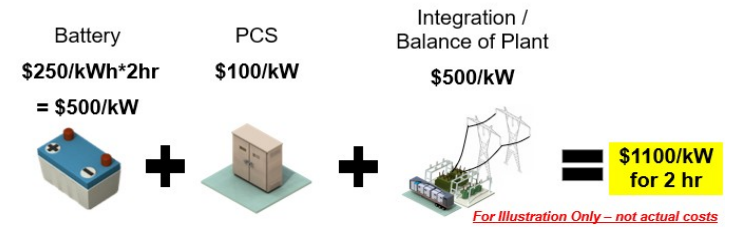
Ejemplo #1: Relacion Potencia/Energia

4-Horas duracion de Bateria



Ejemplo #2: Relacion Potencia/Energia

2-Horas duracion de Bateria



Servicios Auxiliares requeridos para operar una red estable y segura



A) SERVICIOS AUXILIARES: Son los servicios de Regulación de Frecuencia, Regulación de Tensión, Compensación de Energía Reactiva y cualesquier otro que sea necesario para el correcto funcionamiento del mercado de energía y para la seguridad y confiabilidad del sistema interconectado. **(CNE)**

B) CLASIFICACION DE SERVICIOS:

- 1. Operacion Normal:** como la regulación.
- 2. Contingencia:** si son servicios de contingencia (como las reservas giratorias o la capacidad de arranque en negro).

C) REQUISITOS DE OPERACION:

- 3. EMERGENCIAS:** la capacidad de afrontar emergencias, como fallos de generadores o la caída de rayos, eventos que pueden ocurrir con poca frecuencia, pero que tienen consecuencias potencialmente graves. Las reservas giratorias, seguidas de las reservas no giratorias, proporcionan una respuesta rápida a dichos eventos.
- 4. FLUCTUACIONES:** la necesidad de ajustarse a las fluctuaciones operativas normales diarias y a las fluctuaciones esperadas y aleatorias.
- 5. DEMANDA:** la necesidad de ajustarse a los cambios en la oferta, en particular la producción de energía renovable variable, que puede requerir ajustes en el sistema además de los requisitos normales de aumento y disminución gradual de la demanda:

LEYENDA: ● Operacion Normal (Largo Plazo)

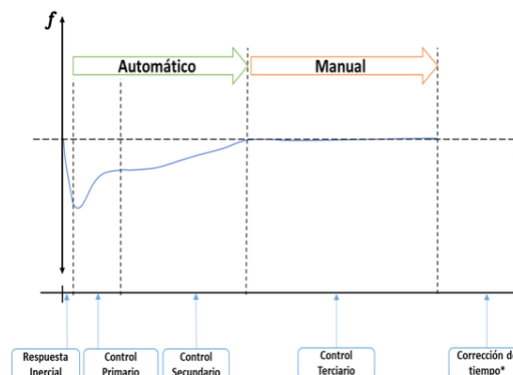
● Contingencia (Corto Plazo)

Resolucion SIE-136-2024-MEM

➤ **Art. 28:** El OC elaborara la programación del despacho de la **Reserva Rotante**, teniendo en cuenta las unidades generadoras, **SAEB (BESS)** u otros equipos habilitados para la regulación de frecuencia e incluirá:

- **Regulación Primaria de Frecuencia (RPF)** es obligatoria y deberá ser realizada por todas las Empresas de Generación & BESS, a menos que exista algún acuerdo en contrario previamente aprobado por la SIE” (Tiempo de repuesta (T_r): $0 < T_r < 30$ seg).
- **Regulacion Secundaria de Frecuencia (RSF).** $30 \text{ s} < T_r < 10 \text{ min}$; y sostenida por 30 min.
- **Regulacion Terciaria de Frecuencia (RTF).** No se contempla
- **Repuesta Rapida de Frecuencia (RRF):** Conjunto de acciones de respuesta rápida de la frecuencia eléctrica de forma automática mediante un método de activación, que se lleva a cabo por los Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías u otro equipamiento.

Procedimiento Para el Control de Frecuencia



Ref: Ing W. Liriano UASD

➤ **ART. 43.- Remuneracion Sistemas de Almacenamiento de Energia con Baterias (SAEB / BESS) para Servicios de Regulacion Primaria (RPF) & Secundaria (RSF) de Frecuencia**

(RPF) ➤ $CompRPFSAEB_{hi} = IRSAEBRPF \times MRAsignadoRPFSAEB_{hi}$

(RSF) ➤ $CompRSFSAEB_{hi} = IRSAEBRSF \times MRAsignadoRSFSAEB_{hi} \times Factor_Eficiencia_{hi}$

Donde:

$CompRPFSAEB_{hi}$ = Compensación por RPF al SAEB/BESS en la barra i , en la hora h . $IRSAEBRPF$ = Incentivo regulafion de frecuencia fijado por la SIE. $MRAsignadoRPFSAEB_{hi}$ = Cuota de RPF asignada al SAEB/BESS en la barra i , en la hora h .

$CompRSFSAEB_{hi}$ = Compensación por RSF al SAEB/BESS en la barra i , en la hora h . $IRSAEBRSF$ = Incentivo regulafion de frecuencia fijado por la SIE. $MRAsignadoRSFSAEB_{hi}$ = Cuota de RSF asignada al SAEB/BESS en la barra i , en la hora h .

Factor de eficiencia (FE):

$$IndEficiencia = \sum_t \frac{|FrecNom - FrecReal_t| * 10}{(60 \text{ Hz}) \quad (Cada 4 \text{ s})}$$

➡ $FE=0$ si $IndEficiencia > IE1$, $FE=0.5$ si $IE2 < IE1$, $FE=0.5$ si $< IE2$

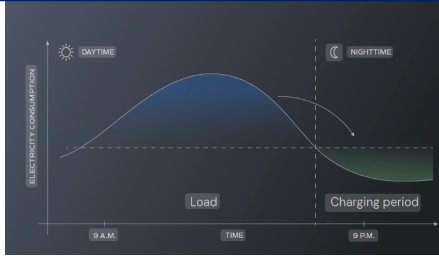
NOTA: El OC en un período de seis (6) meses determinará los parámetros $IE1$ e $IE2$ en base a los resultados de la operación real. En tanto se adopta un Factor de Eficiencia igual a uno (1)

➤ **Order de Merito de los BESS:**

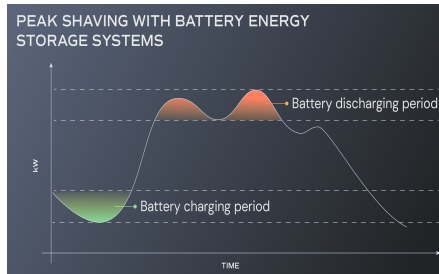
$$Factor \text{ de calidad RPF} = \frac{Gradiente \text{ de toma de carga}}{Estatismo}$$

Los SAEB /BESS tienen prioridad en la asignación deben cumplir con un estatismo permanente entre 0% y 2%.

Beneficios de operacion adicional de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías



➤ **Respuesta a la Demanda:** La carga y descarga de baterías se gestiona para ayudar a equilibrar la oferta y la demanda de electricidad en tiempo real. Esto reduce la sobrecarga de la red, evitando apagones y la necesidad de costosas mejoras de infraestructura.



➤ **Reducción de Picos & Coincidentes:** Muchas regiones ISO identifican horas específicas del año donde la demanda es máxima como Picos Coincidentes, y su contribución a la carga del sistema durante estas horas se refleja en su factura de energía del año siguiente. Este programa ofrece reducciones de costos significativas.



➤ **Regulación de Frecuencia:** La frecuencia debe mantenerse en estrecho rango ($P_{elec} \approx P_{mec}$ & $df/df \approx 0$) para garantizar su estabilidad y confiabilidad. Cuando la frecuencia baja, la batería libera la electricidad almacenada a la red, y cuando la frecuencia aumenta, absorbe el exceso de energía. Así, la frecuencia de la red dentro de límites aceptable de operación.

Reglamento de Aplicación de la Ley General de Electricidad (RALGE).
Artículo 150 sobre regulación de frecuencia:

- a) 59.85 a 60.15 Hz durante 99.0 % del tiempo
- b) 59.75 a 60.25 Hz durante 99.8 % del tiempo

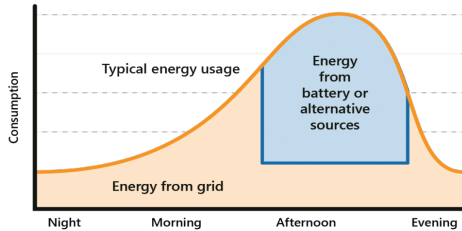
Si $P_{elec} < P_{mec} \Rightarrow df/df > 0 \therefore f \uparrow$
(Demanda < Generacion) (Aumenta)

Si $P_{elec} > P_{mec} \Rightarrow df/df < 0 \therefore f \downarrow$
(Demanda > Generacion) (Disminuye)

Beneficios de operacion adicional de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías (cont.)



➤ **Mercados de Reserva:** Estos existen para garantizar que haya un colchón de energía disponible para responder a desequilibrios inesperados en la oferta y la demanda. Las baterías funcionan para inyectar o absorber electricidad en milisegundos para garantizar un suministro de energía estable.



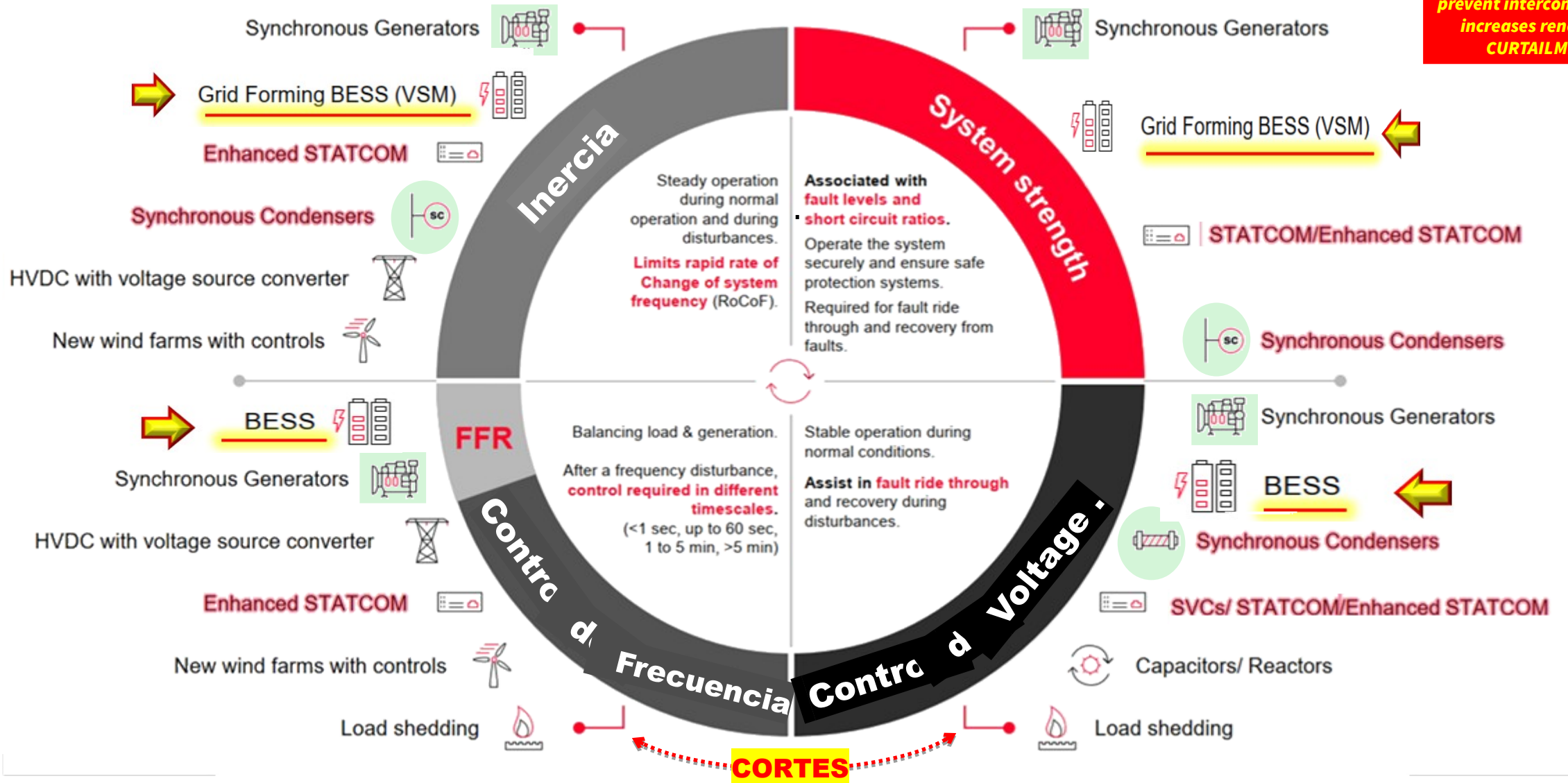
➤ **El mercado energético** en el que se encuentra su instalación determinará el valor de estos programas. Su valor también puede fluctuar a lo largo del día, la semana y el año, y competir entre sí. Un buen operador de baterías monitorea de cerca estos mercados para maximizar el valor de la inversión.

➤ **Arbitraje Energético:** La batería se carga cuando el precio de la electricidad es bajo y se descarga cuando es alto. Esta práctica no solo genera ahorros, sino que también ayuda a equilibrar la red al desplazar el consumo eléctrico a horarios más favorables desde el punto de vista económico y ambiental.



La resolución CNE-AD-0004-2023 establece las pautas para el servicio de Arbitraje de Energía, a partir de las fuentes primarias de Energías Renovables Variables (ERV).

Servicios Auxiliares Tradicionales y Basados en Elect. de Potencia



Respuesta en Frecuencia de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías



Se refiere a la capacidad del BESS de **proporcionar potencia activa** de salida en respuesta a un cambio en la frecuencia de la red eléctrica. Cuando la frecuencia de la red se desvía de su frecuencia nominal (60 Hz), indica que existe un **desajuste entre la oferta y la demanda** de energía en el sistema. Para mantener la estabilidad y la fiabilidad de la red, es importante restablecer rápidamente el equilibrio entre la oferta y la demanda.

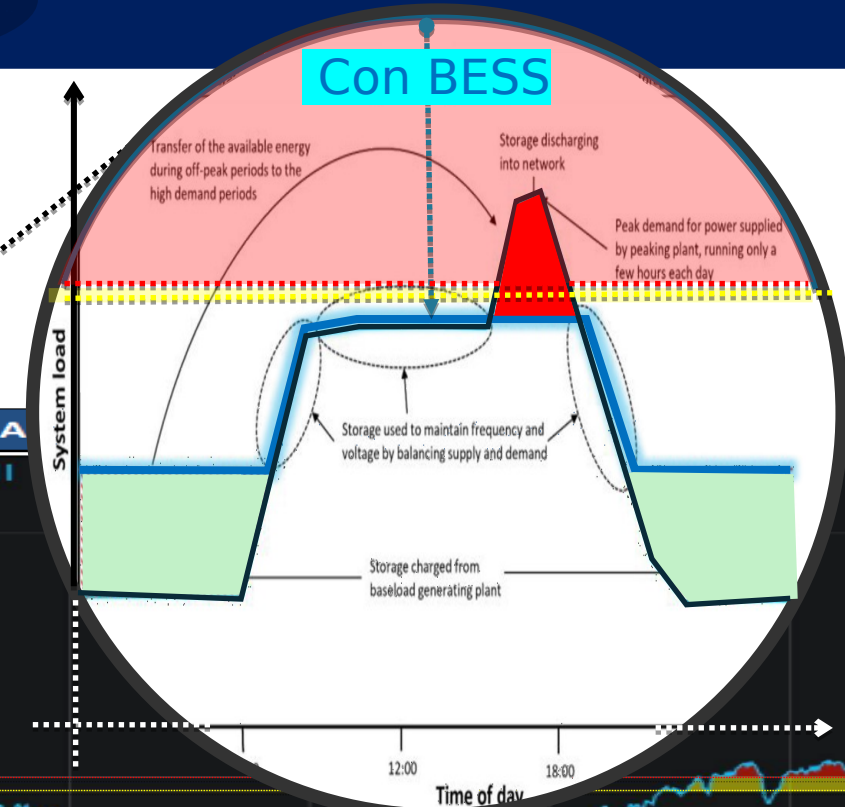
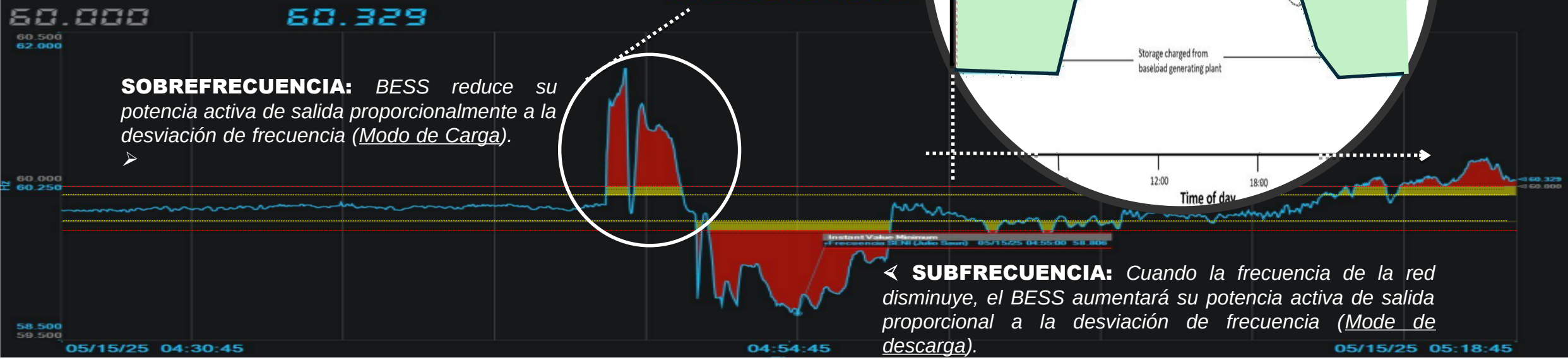


GRÁFICO DE EVOLUCIÓN DE LA FRECUENCIA
FRECUENCIA SENI



SOBREFRECUENCIA: BESS reduce su potencia activa de salida proporcionalmente a la desviación de frecuencia (Modo de Carga).

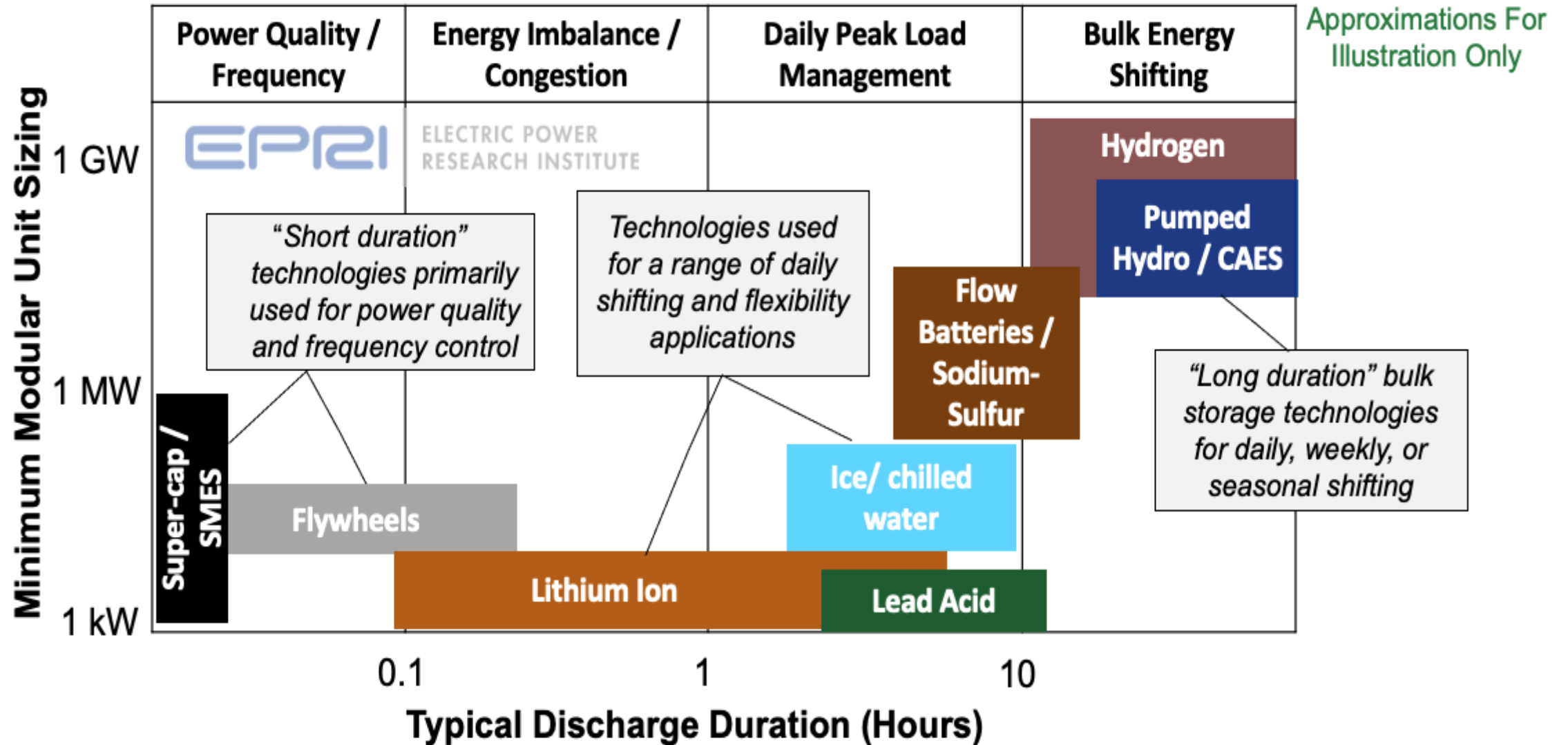
SUBFRECUENCIA: Cuando la frecuencia de la red disminuye, el BESS aumentará su potencia activa de salida proporcional a la desviación de frecuencia (Modo de descarga).

TIEMPO DE RESPUESTA: Los BESS tienen la capacidad única de proporcionar una respuesta rápida, prolongada y bidireccional a las condiciones cambiantes de la red. Esto los convierte en recursos esenciales y totalmente controlables para los operadores de redes eléctricas. Mitiga el impacto de la intermitencia, consolida la producción de energías renovables, gestiona mejor las discrepancias temporales entre generación y carga, y proporciona servicios de red como el control de voltaje y frecuencia.

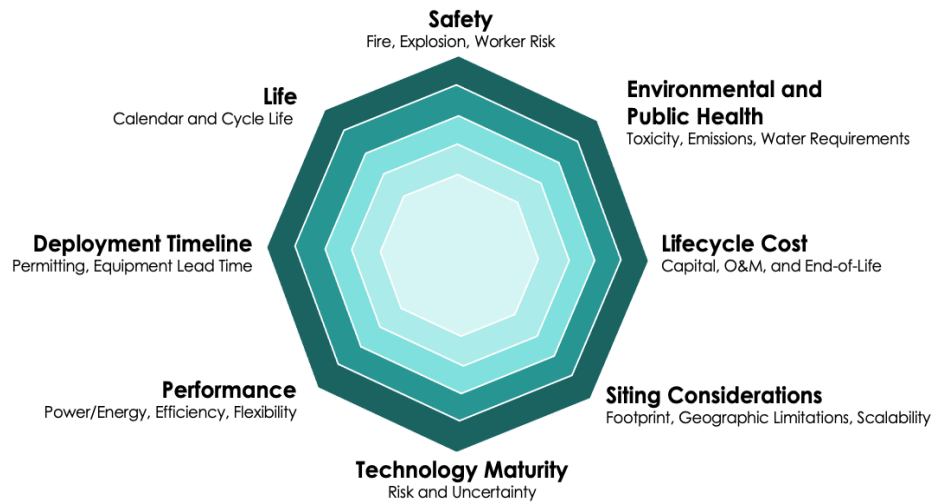
Requisitos Tecnicos de la CNE para Generadores y BESS

Item	DESCRIPCION	GENERACION	SAEB or BESS	OBSERVACIONES
1		I		
a	Rango de frecuencia admisible de operación	59-61 Hz		Sin limite de tiempo
b	La variación de la carga	±5%		180 seg minimo
c	Contar con elace con CCE & OC	✓		Tiempo real
d	Sistema de Medicion y registro automatico Continuo	✓		Potencia & frecuencia
2		II	III	
a	Estatismo permanente (speed droop)	0% y 6%	0% y 2%	$R = -\frac{\text{incremento relativo de frecuencia}}{\text{incremento relativo de potencia}} = \frac{w_f - w_{pc}}{w_o}$ Estatismo bajo permite respuesta rápida
b	Capacidad de regulacion minima de la generacion	±5%	±5%	
c	Banda muerta inferior	±0.05%	±0.025%	Con respecto a f del SENI (Valores de BESS son 50%)
		±0.03 Hz	±0.015 Hz	
d	Tiempo de Repuesta requerido:			El tiempo de respuesta requerido de un BESS es de 8.3% a 25% de generadores
d.1	Turbina de Gas y Motores de Combustion Interna	20 seg	5 seg	
d.2	Ciclo Combinados	30 seg		
d.3	Turbinas hidraulicas y de Vapor	60 seg		
e	Capacidad de rendimiento		1 hr	
f	Capacidad de carga o descarga		∝ f	Proporcional a variacion de frecuencia

Typical Duration of Discharge of Energy Storage Systems

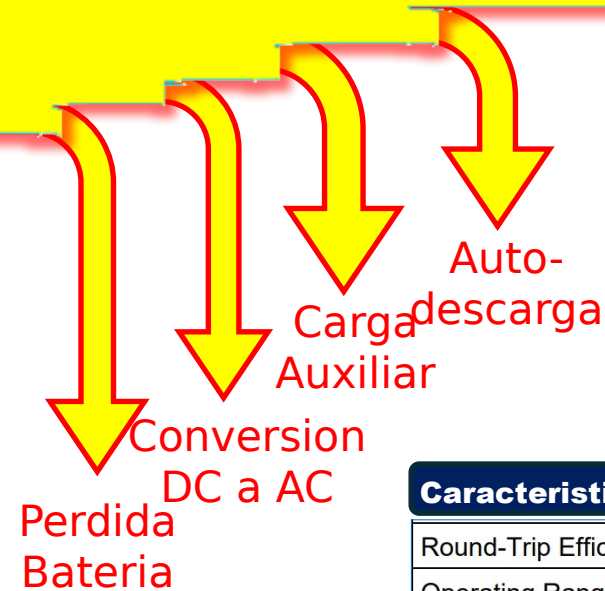


Consideraciones de Diseño, Eficiencia Operación y Mantenimiento de un BESS

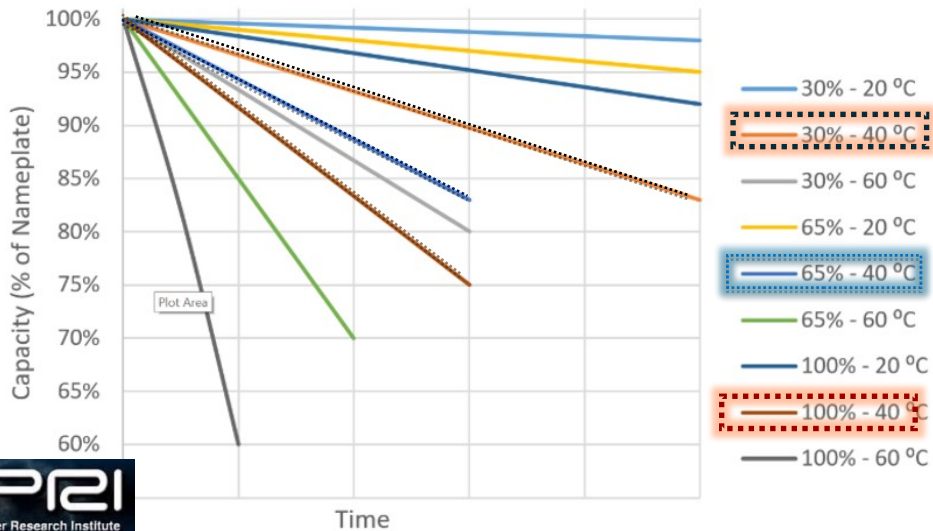


Eficiencia Típica de un BESS

100% **Energía de Entrada** (Modo de Carga) **Energía de Salida** (Modo de Descarga) 80%-90%



Degradación de la capacidad energética de un BESS para diferentes estados de carga y temperatura

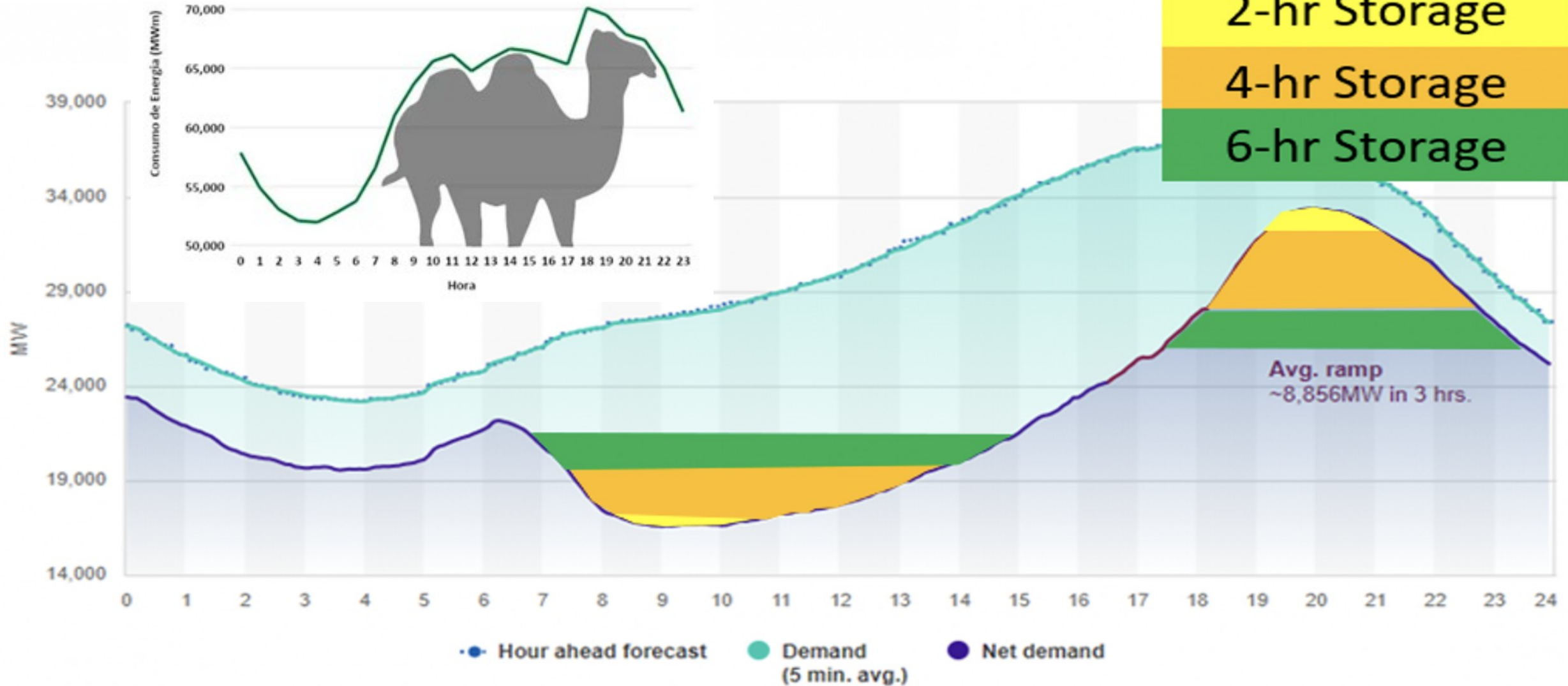


Características de Baterías de Ion de Litio

Round-Trip Efficiency (AC)	85%-90%
Operating Range (Depth of Discharge %)	80%-100%
Capacity at End of Life (% of Original)	70%-80%

Como Impacta los Tamanos del BESS en Reducir la Demanda Pico y Curvas de Carga

Cada pais tiene una "identidad energética" de hábitos de consumo



Estimado del Impacto de Inversión 300 MW de un BESS en 2025

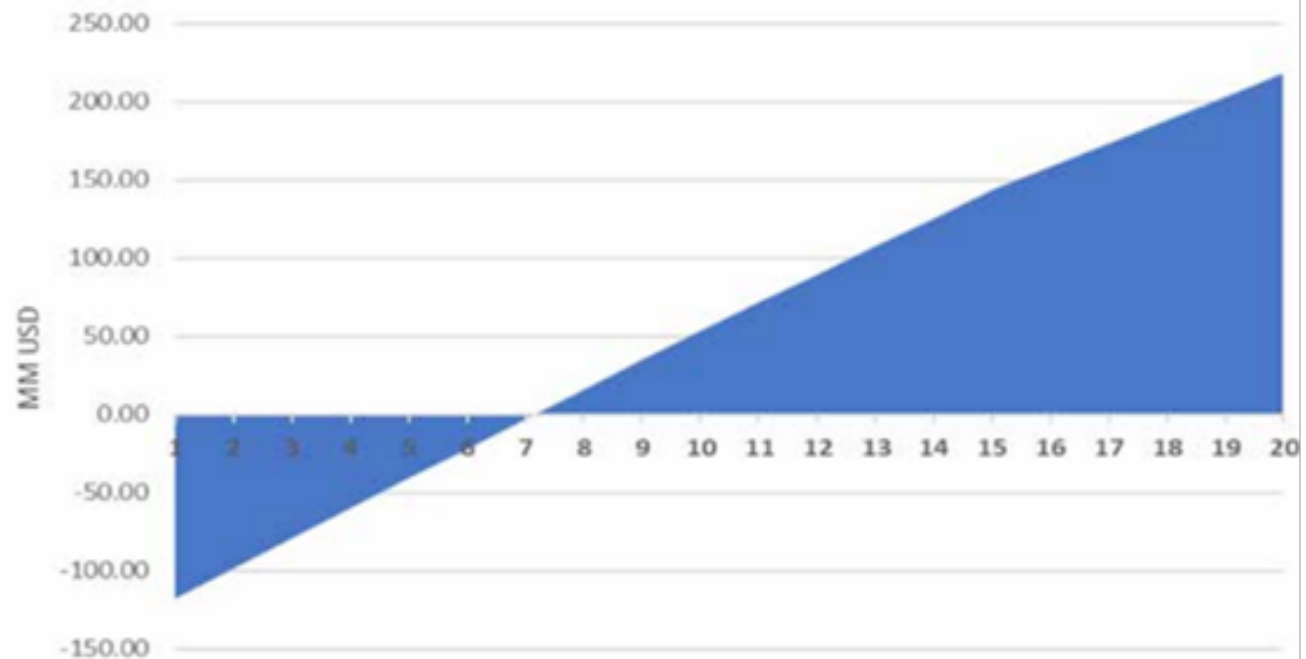
Descripción	Valor	Unidad
Inversión BESS al 2025 (CAPEX)	(344.80)	MM USD
Tasa ETED	10%	
Plazo Recuperación	30	Años
Pago Inversión BESS	36.58	MM USD
Peaje 2025 con BESS	165.70	MM USD
Peaje 2025 a ser pagado por EDEs	140.84 M	M USD
Demanda EDEs 2025	19,324.00	GWh
Peaje Monómico EDEs 2025	7.29 U SD/MWh	
Incremental Peaje EDEs	0.46 U SD/MWh	
Impacto Reducción Costo Suministro EDEs	(1.90)	USD/MWh
Impacto Reducción Costo Suministro EDEs Spot	(9.49)	U SD/MWh
Ingresos Adicionales Arbitraje Energía	185.70	MM USD
Ingreso Adicional Unitario por Arbitraje Energía	0.82 U SD/MWh	
Impacto Neto Unitario por Implementación BESS	2.25	USD/MWh
Impacto Estimado Implementación BESS	511.77 M	M USD

Impacto Implementación BESS en el costo de suministro de las EDEs. Fuente propia

Resultados Evaluación Económica

Resultados	
Período de Recuperación (años)	7
TIR	12.18%
VPN (MM USD)	30.01

Flujo de Caja Acumulado, Proyecto Solar Fotovoltaico con Almacenamiento.



Duracion de Descarga Típica de los Sistemas de Almacenajes de Energía

