

20 | NOVIEMBRE 2023



## ESTUDIO DE CASO SISTEMA BESS PARA UTILITARIAS

**AUTOR:** Ing. Williams Choque



# 1 INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía eléctrica, la necesidad de hacer más robusta la red y la transición hacia alternativas de energía renovables han impulsado la búsqueda de soluciones efectivas para el almacenamiento de energía.

Hasta hace unos años atrás, los altos costos de fabricación y la baja eficiencia de las tecnologías de almacenamiento de energía tradicionales, impidieron el despliegue masivo de sistemas de almacenamiento de energía en acumuladores. Sin embargo, el aumento en el uso de baterías de iones de litio en productos electrónicos de consumo y vehículos eléctricos han expandido la capacidad de fabricación de baterías basadas en litio a nivel mundial y en consecuencia, la utilización masiva en sistemas de pequeña y gran escala.

En este contexto, los Sistemas de Almacenamiento de Energía con Batería (BESS - Battery Energy Storage System por sus siglas en inglés) se han convertido en una opción atractiva.

Este artículo explora los componentes y aplicaciones clave de un sistema BESS y presenta un estudio de caso para ilustrar su funcionamiento de manera práctica.

## 2 Conceptos relevantes sobre un Sistema de almacenamiento

### 2.1 ¿Qué es un sistema BESS?

Los BESS son sistemas modulares de almacenamiento de energía en baterías que se pueden implementar en contenedores de transporte marítimo-terrestre estándar.

### 2.2 ¿Cuáles son los componentes de un sistema BESS?

Un sistema BESS está compuesto por varios componentes esenciales que trabajan en conjunto para almacenar y liberar energía de manera eficiente. Los principales elementos de un sistema BESS incluyen:

- a) **Acumuladores de Litio:** Estas baterías son el corazón del sistema BESS. Las baterías de iones de litio son conocidas por su alta densidad de energía, eficiencia y capacidad de recarga rápida (0.7 a 1C típico, 3C máximo) manteniéndola vida útil.
- b) **Convertidores de Potencia:** Estos dispositivos gestionan la conversión de energía bidireccionalmente entre corriente continua (CC) - corriente alterna (CA), lo que permite la integración del sistema BESS en la red eléctrica, al sistema de baterías y fuentes de energía alternativas.
- c) **Sistema de Control:** Un software avanzado supervisa y controla todas las operaciones del sistema BESS. EMS (Energy Management System) optimiza la carga y descarga de la batería, asegurando un funcionamiento eficiente y seguro. BMS (Battery Management System) monitorea valores de las Baterías, garantizando el equilibrio de carga, BMU (Battery Monitoring Unit) Supervisa detalladamente cada celda y recopila datos para evaluar la salud de las baterías.
- d) **Sistema de transformación a media tensión:** Desempeñan un papel crucial al elevar la tensión de salida de las baterías de baja tensión a niveles compatibles con la red de distribución de media tensión. Esto permite una conexión eficiente del BESS a la red eléctrica y optimiza la transmisión de energía, minimizando las pérdidas durante el transporte.

- e) **Sistema de protección y conexión a la red:** En caso de fluctuaciones de carga, interrupciones de servicio o situaciones de emergencia, los reconectores pueden abrir o cerrar circuitos para asegurar una operación ininterrumpida y prevenir sobrecargas o cortocircuitos.
- f) **Sistema de refrigeración:** Los equipos del sistema generan calor durante la operación, lo que puede afectar su rendimiento y vida útil. Por lo tanto, los sistemas BESS incluyen sistemas de refrigeración para mantener las temperaturas adecuadas.
- g) **Sistema de antiincendios:** Los sistemas antiincendios son esenciales para minimizar riesgos y garantizar la seguridad en estas instalaciones, ya que los incendios en las baterías de litio pueden ser desafiantes de controlar y potencialmente peligrosos.

### 2.3 Aplicaciones de un sistema BESS

Los sistemas BESS tienen una amplia gama de aplicaciones, que van desde el respaldo de energía hasta la gestión de la demanda. Algunas de las aplicaciones más comunes incluyen:

- a) **Almacenamiento de Energía Renovable:** Los sistemas BESS pueden almacenar el exceso de energía generada por fuentes renovables, como la energía solar y eólica, para su uso en momentos de baja generación.
- b) **Respaldo de Energía:** Los BESS se utilizan para proporcionar energía de respaldo durante cortes de energía, garantizando la continuidad de las operaciones críticas en instalaciones comerciales e industriales.
- c) **Gestión de la Demanda:** Los sistemas BESS pueden liberar energía durante las horas pico de demanda, reduciendo los costos de electricidad para los consumidores y aliviando la tensión en la red eléctrica.
- d) **Mejora de la Calidad de la Energía:** Los sistemas BESS pueden proporcionar energía de alta calidad durante fluctuaciones o interrupciones en la red, lo que es esencial en aplicaciones sensibles, como centros de datos.

### 2.4 ¿Cuál es la situación de los sistemas BESS a nivel mundial?

En los últimos años, el papel del almacenamiento en baterías en el sector eléctrico a nivel mundial ha crecido rápidamente.

Antes de la pandemia de Covid-19, se ponía en servicio más de 3 GW de capacidad de almacenamiento en baterías cada año. Aproximadamente la mitad de estas implementaciones fueron proyectos aguas arriba del medidor, es decir, en la red de media tensión de las empresas de servicios eléctricos, y la mitad restante fueron proyectos aguas abajo del medidor, que abordan los requisitos individuales de los clientes. El crecimiento del rol de la tecnología se ha visto respaldada por rápidas reducciones de costos: el costo de los paquetes de baterías de iones de litio cayó un 90% desde 2010, alcanzando los 150 \$/kWh en 2019. (The World Bank Group, 2023).

Sin embargo, estos proyectos se han encargado en su mayoría en países desarrollados, a pesar de que está claro que las baterías pueden ofrecer beneficios sustanciales en los países menos desarrollados. Como se muestra en la figura 1 de la página siguiente, casi toda la inversión en sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS) en los últimos años ha sido en los países de ingresos altos y medios.

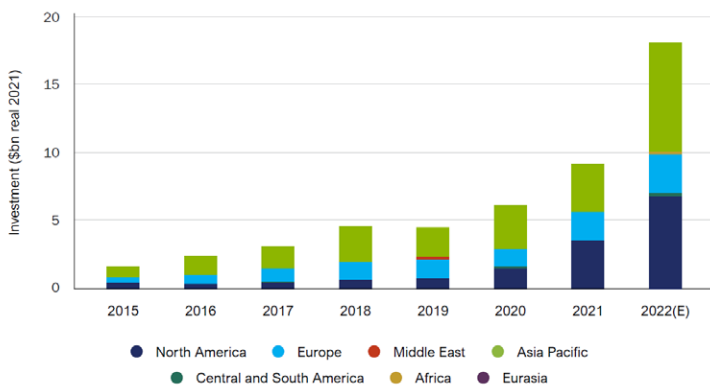


Figura 1.- Inversiones en sistemas de almacenamiento de baterías (Grid Scale) desde 2015 – 2022 (Fuente: The World Bank Group, 2023).

Esto es así a pesar de que existen múltiples razones por las cuales los BESS podrían ser especialmente beneficioso en los países menos desarrollados:

La dependencia de costos combustibles significa que los BESS podrían ser una atractiva alternativa económica a la costosa capacidad punta (demanda máxima). Con la penetración futura de vehículos eléctricos crecerá la demanda de manera exponencial y se tendrá que potenciar la generación, motivando a pequeños y medianos consumidores a la instalación de sistemas de generación solar conectados a la red.

Una infraestructura de red menos resiliente también puede significar que hay más oportunidades para utilizar BESS para aliviar las limitaciones de la red existente o aplazar la inversión en mejoras de la capacidad de la red.

## 3 Caso de estudio: implementación de un sistema BESS para utilitarias

### 3.1 Descripción del caso de estudio

Algunas distribuidoras de energía en Latinoamérica están limitadas a revender solo el 90% de la energía que adquieren por temas de reserva. Para solucionar este problema, algunos distribuidores han optado por implementar sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías de iones de litio.

Se busca la implementación de un sistema BESS de escala aguas arriba para fortalecer el sistema eléctrico existente de una compañía distribuidora de electricidad, estos sistemas permiten a los distribuidores almacenar la energía sobrante y distribuir esa energía en los periodos de punta o de demanda máxima evitando multas y optimizando recursos.

### 3.2 Características del sistema requerido

El sistema BESS será dimensionado para suministrar a la red 5.2 MWh, y una capacidad de almacenamiento de 26 MWh desde el año cero (0) al año siete (7).

El sistema de almacenamiento de energía debe garantizar el suministro de 26MWh de forma efectiva en el lado de 23 kV de los transformadores, se considera un factor de potencia de 0.85

El sistema debe dimensionar para permitir al menos 5000 ciclos de descarga, es decir más de un ciclo de carga/descarga nominal por día, durante 10 años. Así también la profundidad de descarga no debe superar el 80% de la capacidad nominal de la batería.

Se debe utilizar un sistema de conversión de energía con inversores bidireccionales, transformadores de potencial, de baja tensión a 23 kV y sus protecciones.

Debe considerar un sistema de gestión de baterías (BMS), sistema de control y de protecciones.

Es necesario incluir un Sistema de Gestión de Energía (EMS), acorde con los diferentes modos de operación y aplicaciones. Sistema de extinción de incendios. Contenedores o alojamiento modular equivalente.

Así también se debe implementar los sistemas eléctricos auxiliares para el funcionamiento seguro y óptimo del BESS, los sistemas de climatización, iluminación, y sistema de detección e intervención en caso de incendio.

El sistema debe ser implementado en contenedores similares a los de transporte marítimo-terrestre estándar, considerando la posibilidad de ser trasladados el año 2023.

### 3.3 Diseño conceptual del sistema de almacenamiento de baterías requerido

Para el diseño del sistema de almacenamiento, se consideran los siguientes parámetros:

Variable de diseño	Valor	Unidades
Demanda de potencia	52	MWh
Horas de autonomía	5	Horas
Capacidad de almacenamiento	26	MWh
Tensión de operación	23	KV

Tabla 1. Parámetros de consideración

Factor de diseño	Valor
Factor de seguridad	10%
Eficiencia Inversor	96%
Factor de diseño para DoD de 80%	1.25
Tensión de operación	23

Tabla 2. Criterios de diseño

Cálculo de la cantidad de baterías requeridas:

Resultado	Valor	Unidades
Capacidad requerida de almacenamiento (calculado)	37.24	MWh
Horas de autonomía (dato)	5	Horas
Capacidad de almacenamiento (dato)	26	MWh
Tensión de operación Bat. Litio (dato de fabricante)	51.2	Vdc
Tensión en bus DC considerando un gabinete con 9 módulos de baterías Ion Litio en serie (calculado)	460.8	Vdc
Capacidad nominal del sistema de almacenamiento (calculado)	80815,07	Ah

Corriente nominal de cada batería	200	Ah
Corriente efectiva de la batería considerando su reducción de capacidad con un DoD de 80% durante 7 años	172	Ah
Cantidad de gabinetes en paralelo (cada uno con 9 baterías en serie) necesario para cubrir la capacidad requerida.	469.86	Gabinetes

Tabla 3. Cantidad de baterías

Con lo cual se obtiene un total de 470 Gabinetes de baterías, conformados por 9 módulos, un total de 4230 Baterías de 200Ah y 51,2 Vdc conectados en serie, haciendo 460,8 Vdc.

### 3.4 Diseño del sistema de inversores bi-direccionales

Para cada transformador, se necesita la conversión de corriente AC-DC y DC-AC, para una potencia efectiva de 2,03 MVA; entonces se decide que para que el sistema sea más manejable y se tengan corrientes más pequeñas, se utilizará un arreglo de 3 inversores por cada transformador trabajando en paralelo, con lo cual obtenemos los siguientes valores:

Variable	Valor	Unidades
Potencia requerida	2,03	MVA
Potencia efectiva (calculado) considerando un factor de potencia unitario en el inversor	675,76	KW
Tensión entrada/Salida DC	460.8	Vdc
Tensión entrada/salida AC	400	Vac
Corriente efectiva (fase) entrada/AC salida	976.5	A
Corriente efectiva (fase) DC salida	847.7	A
Eficiencia	0.96	
Corriente efectiva (fase) DC entrada	883.0	A
Cantidad de gabinetes en paralelo (cada uno con 9 baterías en serie) necesario para cubrir la capacidad requerida.	469.86	Gabinetes

Tabla 4. Características del Inversor

Para cada transformador se utilizarán 3 inversores en total, en todo el sistema se utilizarán 9 inversores.

Considerando que en el sistema se tienen 470 gabinetes de batería, y tenemos 9 inversores, entonces a cada inversor le corresponde trabajar con 53 gabinetes de baterías, conectadas en paralelo.

Para la selección del inversor adecuado se debe considerar que la corriente de carga adecuada para un módulo de baterías de 200Ah es 30A, esta corriente es la misma en cada gabinete que con 9 módulos de baterías conectados en serie, entonces, si cada inversor debe trabajar con 53 gabinetes la corriente que debe suministrar a su sistema de baterías asociado es de 1590A.

Para permitir el paralelamiento de los 53 gabinetes de baterías que utilizará cada inversor se utilizarán gabinetes de agrupamiento / confluencia adecuados para 1590A, 460,8 Vdc.

### 3.5 Diseño del sistema en media tensión

Se requiere un sistema de conversión de media tensión a alta tensión de 400 V a 23 KV, para trabajar con una potencia efectiva de 5.2 MW.

Considerando que un factor de potencia de 0.85 se debería considerar un transformador de 6.12 MW como mínimo.

Así también se considera repartir esta potencia en 3 transformadores, de forma que permita una mayor disponibilidad del sistema en el caso de una eventual falla, así también para permitir trabajos de mantenimiento.

Otro beneficio adicional es que el equipamiento eléctrico resultante trabajará con corrientes de menor valor, lo cual reduce el tamaño del sistema eléctrico individual para cada transformador y sistema asociado.

Entonces se requiere utilizar 3 transformadores que permitan trabajar con una potencia efectiva mínima de 2.03 MVA

Para la conexión a líneas de media tensión se requiere un interruptor que soporte 23kV como voltaje nominal y pueda proteger en ambos sentidos las líneas de media tensión. Para esto se podría usar un reconectador tipo kiosco de 27 kV nominal, el cual nos ayude a realizar la conexión del sistema y proteger tanto el sistema BESS como la red MT.

### 3.6 Diseño del sistema de Control

Para el control de las baterías se seleccionará un BMS y BMU del fabricante de las baterías de litio debido a que ya se en-

cuentra incorporado los sensores en cada una de las baterías y su control ya es probado desde fábrica.

Para la gestión de energía, el sistema EMS se selecciona según la aplicación del BESS, ya que los sistemas de gestión de energía de diferentes fabricantes se especializan en las funciones que se tiene para cargar y descargar las baterías en función del uso de todo el sistema.

El EMS deberá ser capaz de realizar el control de carga y descarga de las baterías, la optimización de los ciclos de batería, proporcionar respaldo de energía en caso de cortes, integración con la red eléctrica y supervisar los BMS y BMU de cada una de las baterías.

### 3.7 Diseño del sistema refrigeración y antiincendios

Para el sistema de refrigeración se selecciona un Aire acondicionado de precisión tipo "mochila" según la potencia calorífica de cada contenedor se usará un Aire acondicionado de 5 toneladas para un funcionamiento eficiente.

Para el sistema antiincendios se selecciona un sistema de supresión mediante agente limpio tipo NOVEC1230 (sin desgaste en la capa de ozono) para incendios de origen eléctrico Clase C (que no conduce electricidad) según las dimensiones del contenedor.

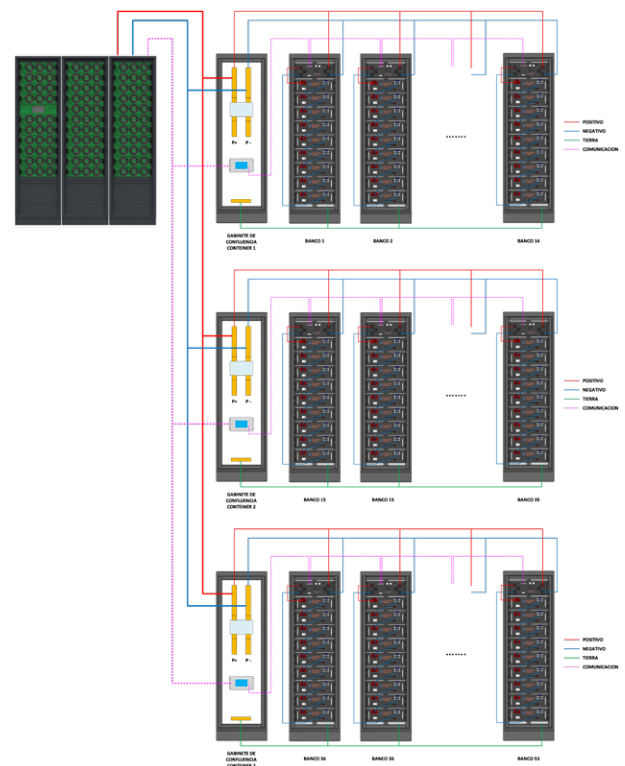


Figura 2.- Diagrama de conexión de Baterías e inversores

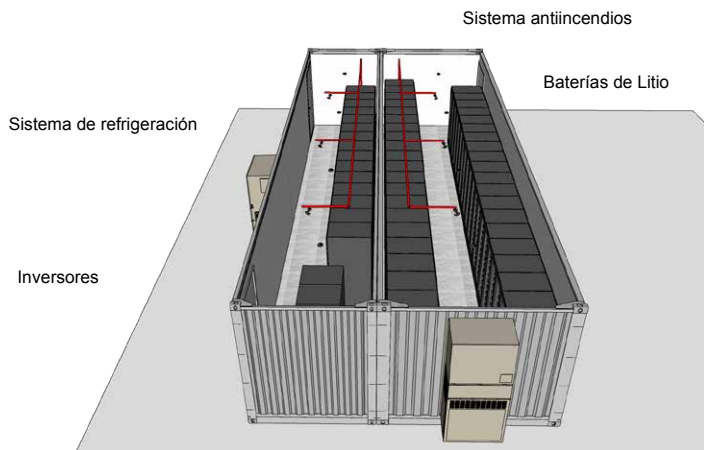


Figura 3.- Contenedor

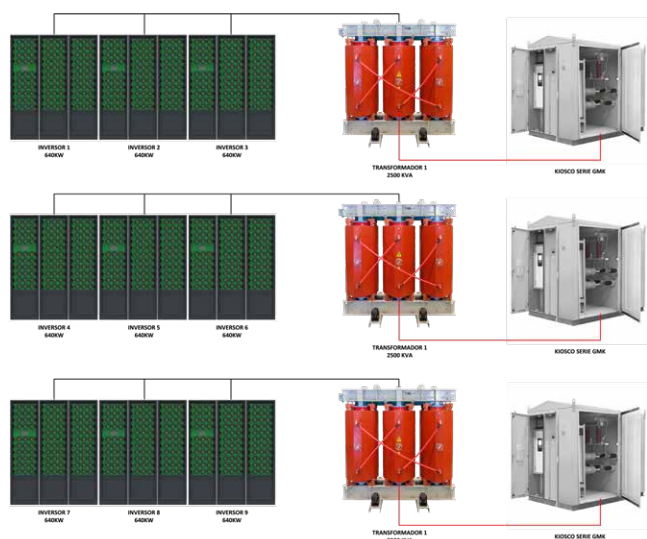


Figura 4.- Diagrama conexión de inversores, transformador y rector

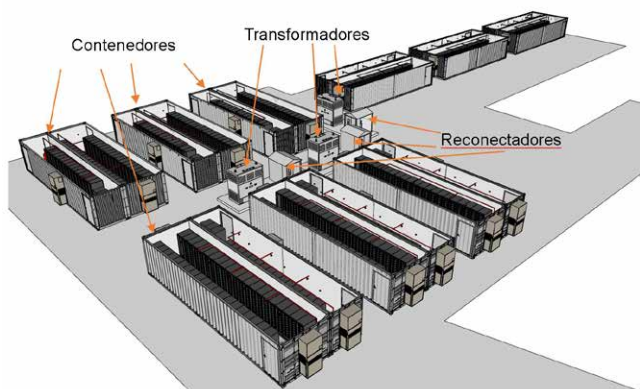


Figura 5.- Sistema BESS con todas sus unidades

## 4 Retorno de Inversión

Si consideramos el ejemplo para el sistema BESS tendríamos los siguientes costos por componentes:

SISTEMA	COSTO (USD)
Baterías de Litio	13.500.000,00
Convertidores de Potencia	7.150.000,00
Sistema de Control	20.000,00
Sistema de transformación a MT	300.000,00
Sistema de protección y conexión a la red	100.000,00
Sistema de refrigeración	330.000,00
Sistema antiincendios	100.000,00
Mano de obra y otros	500.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>22.000.000,00</b>

Tabla 5.- Costos del sistema BESS

Se debe tomar un costo de mantenimiento anual de aproximadamente 500.000,00 USD.

Por otro lado, con el sistema BESS se tiene 26.000 kWh diarios, el costo de cada kWh es de 0,1 USD. Por lo tanto, la empresa utilitaria ahorraría 2.600,00 USD/día o bien, 949.000,00 USD/año en suministrar el exceso de potencia requerida. A este costo se debe adicionar el costo de la infraestructura adicional para suministrar esta potencia y cumplir la demanda de aproximadamente 2.500.000,00 USD/año.

Este costo puede ser superior con las multas ante las autoridades fiscalizadoras por el no cumplimiento de esta demanda requerida.

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{\text{Costo del sistema BESS}}{\text{Costo de infraestructura} + \text{costo pot adicional} - \text{costo mant. BESS}}$$

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{22.000.000,00}{2.500.000,00 + 949.000,00 - 500.000,00} = 7.46(\text{años})$$

Se tiene la comparación

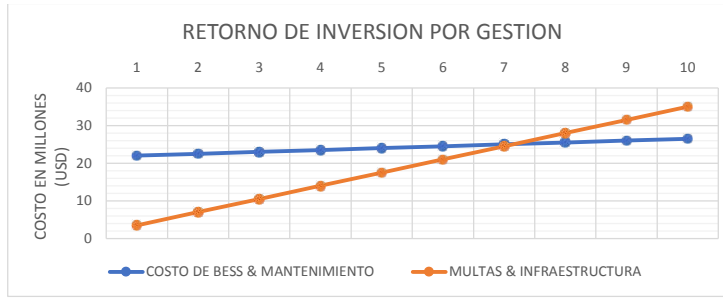


Figura 6.- Retorno de inversión a lo largo de los años

Por lo tanto, el punto de equilibrio llegaría a estar en los primeros meses del 7mo año. A partir de ahí se tendría un retorno de la inversión realizada con el sistema BESS

## 5 Conclusión

Los sistemas de almacenamiento de energía (BESS) son una solución versátil y efectiva para abordar los desafíos de la gestión de energía en un mundo cada vez más orientado hacia las fuentes de energía renovable.

A través del estudio de caso presente, vemos que una gestión activa de la energía ofrece múltiples beneficios. Mientras reducimos la huella de carbono, también podemos reducir la facturación de consumo de energía u optimizar como distribuidora los ingresos trasladando las reservas de energía a su redistribución.

A medida que la demanda de energía sigue creciendo y la transición hacia energías limpias se acelera, los sistemas BESS se perfilan como un componente clave en el futuro de la infraestructura energética, representaran ser una inversión rentable.





# SOLUCIONES DE CALIDAD, RENDIMIENTO Y DURABILIDAD SUPERIOR, PARA LAS APLICACIONES MÁS EXIGENTES

## 6 Bibliografía

- » "Battery Technology Handbook" de H.A. Kiehne.
- » "Energy Storage and Civilization: A Systems Approach" de Robert H. L. Horsley.
- » "Flow Batteries: Fundamentals and Applications" de Sumit Sinha.
- » "Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs" de D. U. Sauer y M. Pistoia