

NOVA MIRON

Sistemas de almacenamiento de energía Tecnología BESS.

Parte 3

1) Tecnologías disponibles de almacenamiento

El rendimiento de los dispositivos de almacenamiento de energía se define por su potencia de salida y densidad energética.

Recordando de la Parte 1, la Densidad de Energía se definía como la cantidad de energía que se puede almacenar en un solo sistema (SAE) por unidad de volumen (específica) o por unidad de peso (ponderada).

Considerar que el uso del SAE, se establece y se diferencia según el lugar y la duración, determinados por la tecnología empleada.

Se puede confeccionar una tabla en donde desplegar, para cada clase de SAE, los rangos de potencia de salida, así como la duración del proceso de descarga.

Además, se incorpora el enfoque de uso y aplicaciones características, para cada uno.

Clase de SAE	Rango de potencia	Duración de la descarga	Enfoque	Aplicaciones
Central de bombeo	200 MW a 1 GW	Horas a semanas	Generación	Almacenamiento estacional e interestacional
CAES	100 MW a 1 GW	Horas a semanas	Generación	Almacenamiento estacional e interestacional Soporte a plantas eólicas y FV de gran escala
Flywheels	20 a 500 kW	Minutos a horas	Operación sistema/red	Regulación de frecuencia Regulación de tensión

NOVA MIRON

				Arranque en negro
SCs	10 kW a 80 MW	Segundos a Minutos	Operación sistema/red	Regulación de frecuencia Regulación de tensión Arranque en negro Soporte a plantas eólicas y FV de pequeña escala
BESS	1 kW a 100 MW	Minutos a horas	Operación sistema/red Usuario final	Regulación de frecuencia Regulación de tensión Arranque en negro Soporte a plantas eólicas y FV de pequeña escala

También se pueden diseñar BESS enfocados en el área de Generación, los cuales poseen un rango de potencia de 100 MW a 80 GW, con tiempos de descarga en el orden de los segundos a horas.

A las aplicaciones indicadas previamente en la tabla, se agrega la de cumplir la función de soporte para plantas eólicas y FV de gran escala.

Un aspecto importante a considerar en la selección de las tecnologías SAE del tipo BESS, es la de tener en cuenta los parámetros de Densidad Energía o bien de la Densidad de Energía Ponderada, la Eficiencia de Conversión (carga y descarga a ciclo completo), la Vida Útil y el Impacto Ambiental asociado.

En la siguiente tabla, se detallan y comparan las características principales de diferentes tipos de baterías, usadas en los SAE electroquímicos BESS.

NOVA MIRÓN

Tipo de batería	Densidad de energía ponderada [kWh/tn]	Eficiencia de conversión [%]	Vida útil [años]	Impacto ambiental
De flujo	40 a 80	70 a 75	20 a 25	Si
Pb-ácido	20 a 40	60 a 70	3 a 6	Si
Ni-Cd	40 a 60	60 a 80	5 a 10	Si
Li-ion	150 a 250	95	10 a 15	No
Na-S	120 a 150	88 a 92	10 a 15	Si

De la tabla, observamos que las baterías de litio poseen la mayor Eficiencia de Conversión (proceso de carga y descarga), con un valor de 95 %, mientras que las baterías de plomo poseen valores entre un 60 % y un 70 %.

También destacamos que, la Eficiencia de Conversión de las baterías de flujo, poseen valores pertenecientes al rango comprendido entre el 70 % y el 75 %.

Además, habrá que tener muy en cuenta, a la hora de comparar BESS con diferentes tecnologías de baterías, el hecho fundamental que las correspondientes de litio poseen una capacidad de almacenamiento (Densidad de Energía ponderada) que varía en el rango de 150 Wh/kg (150 kWh/tn) a 250 Wh/kg (250 kWh/tn).

Lo anterior nos lleva a la conclusión que, las baterías de Li-ion podrán almacenar entre 1,5 y 2 veces más energía que las baterías de Na-S (sodio-azufre), entre dos y tres veces más que las baterías de flujo y aproximadamente cinco veces más que las baterías de Pb-ácido.

También considerar, en la etapa de evaluación de proyectos de capital, la eficiencia de Conversión (carga y descarga a ciclo completo). Representa un indicador de desempeño que se puede utilizar para evaluar la eficiencia global de la batería y por lo tanto del BESS.

2) Tecnologías de almacenamiento electroquímico

NOVA MIRON

a) Baterías de Pb-ácido

Esta tecnología de almacenamiento es muy utilizada en aplicaciones que requieren altas corrientes de carga.

Podemos destacar las siguientes ventajas y desventajas en el uso:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Bajo costo por Wh.• Fabricación simple.• No requiere de SGB (BMS).• Buen rendimiento a bajas y altas temperaturas.• Dispone de una alta potencia específica.• Capacidad de que circulen altas corrientes de descarga.	<ul style="list-style-type: none">• Impacto ambiental significativo.• Ciclo de vida limitado.• Repetidos ciclos de descarga reducen la vida (ciclo de vida limitado).• Requiere almacenamiento en estado de carga, para evitar la sulfatación.• Baja energía específica.• Deficiente relación energía-peso.• Proceso de carga lento (aprox. 15 hs).

En su constitución interna, las celdas de estas las baterías están compuestas por varias placas de plomo (Pb), dispuestas en paralelo.

Estas placas se polarizan alternativamente, de modo que las catódicas se recubren con dióxido de plomo (PbO₂) y las anódicas con plomo poroso (Pb). Las placas se encuentran embebidas en el electrolito, siendo éste el ácido sulfúrico (H₂SO₄).

b) Baterías de Li-ion

Se caracterizan por poseer una alta densidad de energía, con condiciones operativas asociadas seguras.

Tendremos las siguientes ventajas y desventajas:

NOVA MIRON

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Alta energía específica.• Alta capacidad de carga.• Ciclo de vida extendido (vida útil).• Prácticamente libre de mantenimiento.• Baja resistencia interna.• Tiempo de carga sensiblemente corto.	<ul style="list-style-type: none">• Sensible al sobrecalentamiento.• Por lo anterior requiere de un dispositivo de protección.• Sensible a altas temperaturas (envejecimiento acelerado).• Degradación por almacenamiento a alta tensión.• Baja capacidad de carga a bajas temperaturas.• Restricciones al transportar un volumen de carga significativo.

En estas baterías, el material activo del cátodo suele ser el óxido de litio metálico, en forma de óxido de litio y cobalto (LiCoO_2).

El ánodo estará compuesto principalmente de carbono (C) y contendrá átomos de litio. El electrolito es una solución orgánica que estará conformada por sales disueltas a base de litio, como el perclorato de litio (LiClO_4) y el hexafluorofosfato de litio (LiPF_6). A continuación, destacamos las diferentes clases de baterías de Li-ion, que se pueden encontrar en las aplicaciones prácticas.

1) Li con óxido de manganeso (LiMn_2O_4)

La estructura atómica de esta sustancia permite mejorar el flujo de iones en el electrodo.

El resultado es disponer de una menor resistencia interna en la batería y una mejor gestión de la circulación de la corriente.

Posee alta estabilidad térmica y mejores condiciones de seguridad.

NOVA MIRON

La vida útil, en función de los ciclos de carga y descarga, es limitada.

2) Li con óxido de cobalto (LiCoO₂)

Se conforma de un cátodo de óxido de cobalto y un ánodo de carbono (grafito).

Durante la descarga, los iones de litio se trasladan del ánodo al cátodo y, en la carga, el flujo de iones se invierte.

Su mayor desventaja es la vida útil relativamente corta.

También poseen, como desventajas, una baja estabilidad térmica y limitada capacidad de carga.

3) Li con fosfato de hierro (LiFePO₄)

El fosfato de hierro se utiliza como cátodo de la batería.

Posee un excelente rendimiento electroquímico.

La batería posee una baja resistencia interna.

Como ventajas se destaca la alta capacidad de corriente y de disponer una larga vida útil.

Posee una buena estabilidad térmica.

Ofrece mayor capacidad de seguridad ante un uso inadecuado de la batería.

4) Titanato de Li (Li₄Ti₅O₁₂)

El titanato de litio opera como ánodo de la batería.

Se caracteriza porque su número de ciclos de carga y descarga, es superior al de una batería de iones de litio convencional.

El cátodo puede ser de óxido de manganeso y litio o Níquel-Manganeso-Cobalto (denominado NMC).

Una de sus características principales en el uso como batería es el de que puede cargarse rápidamente y entregar una alta corriente de descarga (aproximadamente de 10 veces la capacidad nominal).

NOVA MIRON

Además, es de uso seguro y posee muy buenas propiedades de descarga a bajas temperaturas.

5) Litio con óxido de Ni, Mn y Co (LiNiMnCoO₂)

Al combinar en el cátodo los elementos níquel-manganeso-cobalto, torna a esta batería de uso extendido.

Puede adaptarse fácilmente al uso en aplicaciones de potencia.

Denominada como batería NMC, por los elementos que conforman el cátodo.

c) Baterías de Na-S

La batería de sodio-azufre (también denominada batería de metal líquido), es una clase de batería de metal fundido construida con sodio y azufre.

Se caracteriza por disponer de una alta densidad de energía, junto a una alta eficiencia de conversión (en el rango del 90 % al 92 %) y una larga vida útil. Además, se fabrica con materiales económicos.

El problema se presenta en la operación, ya que requiere de elevadas temperaturas (340 °C).

Lo anterior llevará a que pueda presentar un estado de acción corrosiva significativo (desarrollo de polisulfuros de sodio).

Se utilizan fundamentalmente en aplicaciones fijas a gran escala, como ser el almacenamiento de energía en las redes eléctricas.

En esta clase de batería, tendremos las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

NOVA MIRON

<ul style="list-style-type: none">• Alta eficiencia energética.• Buena densidad de energía y potencia.• Conformada por materiales activos de baja densidad.• Alta tensión de celda.• Permite la operación flexible (velocidad de descarga, DoD, temperatura).• Baja afectación por las condiciones ambientales (estructura sellada).• Baja intervención por mantenimiento.• Relativo bajo costo (materiales de conformado económicos).	<ul style="list-style-type: none">• El sodio en estado metálico, que conforma la estructura de la batería, posee una alta capacidad reactiva en combinación con el agua.• Operación a altas temperaturas (aproximadamente 330 °C).• Requiere exigentes condiciones operativas.• Requiere de una construcción especial y dedicada para evitar fugas.
---	--

La construcción de las celdas de esta batería, poseen un diseño muy diferente a las convencionales.

Los electrodos son líquidos, mientras que el electrolito, que actúa como separador, es de material sólido.

El ánodo (sodio líquido) está rodeado por el electrolito, contenido en un tubo envolvente. El electrolito es de material cerámico de óxido mixto (beta-alúmina), el cual posee la propiedad de actuar como un conductor de iones. El cátodo es de azufre en estado líquido.

Como ya comentamos en las desventajas, para que los electrodos alcancen el estado líquido, deben fundirse, lo que requiere disponer de altas temperaturas de funcionamiento (300 °C a 400 °C).

NOVA MIRON

Además, a estas temperaturas de operación, la beta-alúmina se comporta como un excelente conductor, de los iones generados en las reacciones químicas dentro de la celda.

d) Baterías de Flujo

Las baterías de flujo (ver Parte 1), también denominadas baterías RFB (Redox Flux Battery), poseen un proceso de carga y descarga basado en las reacciones de oxidación y reducción de los iones de vanadio (fundamentalmente). También con iones afines al proceso redox característico de esta clase de baterías.

Posee excelentes propiedades, como ser: dilatada vida útil, degradación mínima de los electrodos y electrolitos, alta seguridad de no contener en su volumen de materiales combustibles y funcionamiento a temperaturas normales.

A continuación, se destacan algunas de las ventajas y desventajas, más significativas, de esta clase de baterías.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Dilatada vida útil (aproximadamente de 15 a 20 años).• Número ilimitado de ciclos de carga y descarga, sin degradación significativa.• Los electrolitos pueden utilizarse de forma casi permanente.• De diseño adaptable y flexible.• Muy versátiles. Permiten afrontar variaciones de potencia (a corto, mediano y largo plazo)• Operan a temperaturas normales.	<ul style="list-style-type: none">• Baja densidad de energía, en comparación con otras clases de baterías.• Asociada a un sistema complejo de operar y difícil de implementar.• Requiere el uso de bombas de circulación del electrolito (ver Parte 1).• Requiere de un sistema adicional de gestión del flujo de circulación y de la energía generada.• Requiere de sensores.

NOVA MIRON

<ul style="list-style-type: none">• Los componentes que la conforman son no combustibles (alta seguridad operativa).	<ul style="list-style-type: none">• Por su conformación, requiere además de un contenedor secundario.
--	---

En este caso, el electrolito no se almacena permanentemente en las celdas, sino que se encuentra en dos soluciones electrolíticas acuosas, las cuales están circulando a través de sendas bombas.

Es decir, los electrolitos se encuentran en tanques separados y durante el proceso de carga, se bombean a través de las celdas electroquímicas, donde el material electroquímicamente activo, disuelto en el primer electrolito, se oxida en el ánodo y el material electroquímicamente activo, en el segundo electrolito, se reduce en el cátodo. Es importante destacar que las baterías de flujo van a requerir, en general, hasta cinco veces más volumen que una batería de ion de litio, para almacenar la misma cantidad de energía.

En las aplicaciones prácticas, podemos disponer de los siguientes tipos de baterías RFB:

- 1) Batería redox de vanadio: Denominada VRB. Hacen uso de dos electrolitos de vanadio (V^{2+}/V^{3+} y V^{4+}/V^{5+}), con los cuales intercambian iones de hidrógeno (H^+) a través de la membrana de interacción (ver Parte 1).

NOVA MIRON

- 2) Batería de polisulfuro de bromo: Denominada PSB. Se utiliza disulfuro de sodio (Na_2S_2) y bromato de sodio (NaBrO_3) como bases de electrolitos. Los iones de sodio (Na^+) serán los que atraviesen la membrana de interacción durante el proceso de carga o descarga.

- 3) Batería de bromuro de zinc (ZnBr_2): Se utilizan soluciones de zinc y un compuesto complejo de bromo, como electrodos.

2) Eficiencia de los SAE. Relación con el ciclo de vida. Proyectos de inversión

A continuación, haremos una descripción de las actividades relacionadas con la elaboración de los planes de inversión de capital de las tecnologías BESS, desde una perspectiva de la Gestión de Activos (GA).

a) Inversión de Capital de las tecnologías BESS

El objetivo será el de desarrollar la Planificación Financiera de la GA (a largo plazo), asociada al Plan de Inversiones de Capital en tecnología BESS, considerando en cómo se van a alcanzar los objetivos estratégicos, tanto financieros como no financieros.

Es decir, esta planificación deberá basarse en el logro de un equilibrio entre los rendimientos de la tecnología BESS, adoptada en el proyecto de inversión, los costos y los riesgos, a lo largo de todo el CV.

A los efectos, desde la visión de la GA, se deberán tener en cuenta los Objetivos Estratégicos de la GA (en todas las perspectivas), incorporando los rendimientos, los riesgos y los costos, durante la vida total estimada del BESS.

Es decir, el Plan Financiero no solo involucrará a la fase operativa del BESS, sino también a las fases de diseño, adquisición o construcción, mantenimiento, renovación/reemplazo y disposición/desmantelamiento.

NOVA MIRON

Se tendrán que Incorporar y detallar, tanto las inversiones de capital (CapEx), como los costos recurrentes anuales (OpEx).

Además, deberá enfocarse en el equilibrio entre el gasto a corto plazo y el gasto a largo plazo, describiendo, a futuro, propuestas que reduzcan los costos de vida útil de las alternativas BESS analizadas y que al mismo tiempo fomenten la sostenibilidad.

b) Planificación de inversión de Capital de las tecnologías BESS

Por lo tanto, La planificación de inversiones de Capital de las tecnologías BESS, deberán desarrollarse, atendiendo a:

- 1) Identificar los requisitos de inversiones de capital de la compañía, durante un período de tiempo específico (por ejemplo, un tiempo horizonte de planificación de 5 a 10 años o más, según las circunstancias y contextos de la compañía) y el modelo de Confiabilidad adoptado.

- 2) Considerar que, las inversiones de capital, por lo general, abarcan 3 tipos de CapEx (o combinación de éstos), a saber:
 - Actualización, expansión, creación o compra de nuevas tecnologías BESS, generalmente para abordar el crecimiento de la demanda (según se ha proyectado y establecido en el Plan de GA), los avances tecnológicos o los cambios en los niveles de servicios especificados y requeridos.

NOVA MIRON

- Renovación o rehabilitación de BESS, generalmente para evitar la falla de los mismos y devolverlos a su potencial original de vida y de servicio. Se tendrán en cuenta los BESS envejecidos y con problemas de Confiabilidad, según el modelo adoptado en la gestión del Mantenimiento.
- Inversión en BESS que se retienen como una inversión en sí, ya sea para proporcionar un rendimiento financiero o para obtener un valor de oportunidad a futuro.

c) Guías para el conformado del Plan de Inversión de Capital

Para el desarrollo se utilizará la información de los procesos, contenidos en el Plan de GA. Tendremos:

- Asegurar la renovación y el reemplazo oportuno de los BESS, que presenten deterioro con el tiempo o que presenten dispersión del estado de la condición, según sea el modelo de Confiabilidad adoptado.
- Asegurar la debida consideración de la necesidad de nuevos BESS para satisfacer los niveles de servicios, la demanda y las necesidades de las Partes Interesadas.
- Proporcionar un nivel de certeza a las Partes Interesadas, con respecto a la ubicación y el calendario de las inversiones de capital de las tecnologías BESS.

NOVA MIRON

- Proporcionar una oportunidad para la participación de las Partes Interesadas en el proceso de Presupuesto y financiamiento.
- Mitigar el riesgo de las erogaciones de CapEx imprevistas, mal planificadas o innecesarias. También aprovechar las eventuales Oportunidades identificadas.
- Reducir los impactos (negativos) financieros, como ser: aumentos bruscos de tasas impositivas, cargos a usuarios y niveles de endeudamiento, o para cubrir aumentos de capital inesperados.
- Asegurar que las características de crecimiento y desarrollo de la compañía sean consistentes con lo especificado en el Plan Estratégico y Táctico.
- Equilibrar los aumentos de capital requeridos o deseados, con los requerimientos de riesgos de las Partes Interesadas, los recursos financieros y las posibilidades de la compañía.
- Proporcionar planificación y optimización de la gestión financiera y no financiera.
- Considerar las edades y los estados de la condición de los BESS operativos y existentes.
- Las calificaciones de riesgo de los BESS existentes y dentro del alcance del sistema de gestión de activos de la compañía.
- Las opciones de costeo y la financiación.

NOVA MIRON

Se debe permitir determinar el impacto en el presupuesto (planificación a corto plazo), incluidos los costos de capital y los cambios potenciales en los costos de O&M y los costos de Disposición.

El personal no financiero y financiero evaluará, en conjunto y de forma integrada, cuáles ahorros podrán hacerse en el presupuesto de O&M, en el caso de que las inversiones de capital se adelantaran, para permitir una renovación más temprana de los BESS existentes.

Considerar, en el desarrollo de la planificación, el hecho de que, al aumentar la actividad de O&M, puede ocurrir el aplazamiento de la inversión de capital para la renovación de BESS existentes.

También, se deberá considerar cuál será el momento óptimo para la intervención de la inversión de capital. En este sentido, puede adoptarse el momento en el que se pueden minimizar los CCV totales de los BESS existentes en la planta.

d) Criterios de evaluación

Los criterios de evaluación de las propuestas de inversión, así como sus pesos en las decisiones, se deberán desarrollar y especificar, atendiendo a la estrategia establecida por la compañía.

En base a los lineamientos de este Plan, se podrá desarrollar la herramienta "Matriz de Decisiones de Inversión de tecnologías BESS".

Por ejemplo, se pueden adoptar los siguientes criterios de evaluación:

1. Rentabilidad esperada.
2. Costo del almacenamiento de la energía.
3. Costo y beneficios por la entrega de la energía (incremental o no incremental).
4. Costo por refuerzo de la red.

NOVA MIRÓN

5. Eficiencia de conversión del BESS.
6. Impacto en la seguridad.
7. Impacto en el medio ambiente.
8. Satisfacción de las Partes Interesadas.
9. Servicios comerciales.
10. Compromiso del personal.
11. Reputación de la compañía.

Luego de tener establecidas las propuestas de inversión BESS y haberlas priorizado, se podrá desarrollar el análisis, evaluación y tratamiento de los Riesgos y Oportunidades de cada una, en referencia a los criterios implementados, junto a sus ponderaciones.

En la Parte 4 describiremos las tecnologías BESS, a través de los componentes que la integran (incluyendo a los transformadores que intervienen en el proceso de conversión y transferencia de la energía), así como las posibles topologías de integración con la red eléctrica.

Además, abordaremos las necesidades y viabilidades asociadas.

Finalizaremos con el tratamiento clave de esta tecnología, en referencia al análisis de los Costos del Ciclo de Vida y su aplicación como criterio en la toma de decisiones de la Gestión de Activos.

Departamento de Ingeniería.

Nova Mirón S.A