

NOVA MIRON

Sistemas de almacenamiento de energía Tecnología BESS.

Parte 4

1) Componentes BESS

Los componentes de un BESS se clasifican en base a la función que desempeñan en el proceso de almacenamiento, conversión y transferencia de la energía eléctrica.

En tal sentido, tendremos tres componentes de base, los cuales conforman el sistema de baterías, el sistema de conversión de potencia (PCS por sus siglas en inglés – Power Conversion System), componentes requeridos para la operación confiable del sistema integrado y componentes de conexión a la red o punto de interconexión, transformador para operación en MT y AT.

Por lo tanto, tendremos:

a) Sistema de baterías

Se compone de los bancos de baterías necesarios para el almacenamiento requerido. La tecnología de baterías (ver Parte 2), se adopta según sea la aplicación específica y consideraciones de Ingeniería (diseño). Estará compuesta por un conjunto de varias celdas, interconectadas y formando un módulo de baterías, a una dada tensión de diseño y capacidad adecuadas, a los fines de la aplicación.

Se incorpora el dispositivo Sistema de Gestión de Baterías (SGB o BMS por sus siglas en inglés "Battery Management System"), además del Sistema de Gestión Térmica de las baterías (SGTB o B-TMS por sus siglas en inglés "Battery Thermal Management System").

El dispositivo SGB tiene la función de proteger a los módulos de un funcionamiento perjudicial, en términos de tensión, temperatura y corriente, para lograr una operación confiable y segura, así como el de equilibrar los diferentes estados de carga (SoC) de las celdas en una conexión en serie.

El B-TMS posee la función de controlar la temperatura de las celdas, según las especificaciones, en términos de valores absolutos y gradientes de temperatura.

NOVA MIRON

La gestión térmica del sistema controla todas las funciones relacionadas con la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado del sistema contenedor de los módulos de baterías.

Además, se incorpora un módulo de Control y Monitorización, el cual se integra parcialmente en el SCADA. También posee la función de protección y alarma, junto a la detección de incendios.

Otro componente de este sistema será el Circuito Disipativo de Balanceo, cuya función estará enfocada en establecer el balance de las tensiones de las celdas, como consecuencia de las diferencias de fabricación entre las mismas, el envejecimiento no uniforme y en otras diferencias asociadas a los flujos de carga o descarga (las celdas se pueden conectar en serie o en paralelo, para formar un módulo de baterías).

Su accionar se basará en limitar localmente la corriente que carga las celdas, con el fin de alcanzar la máxima capacidad de carga de la batería, mientras todas las celdas que la conforman llegan simultáneamente a su carga completa.

También incorpora un dispositivo de Balanceo No Disipativo, cuya función será la de balancear las celdas, de un dado módulo, a través de un proceso de desplazamiento de carga (extracción de carga), recurriendo al acoplamiento inductivo (o almacenamiento capacitivo).

Al sistema de baterías se incorpora el dispositivo denominado Sistema de Gestión de Energía, cuya función será la de controlar la gestión y la distribución del flujo de energía del BESS.

b) SGB (Sistema de Gestión de Baterías – BMS)

Este dispositivo tendrá la función principal de aumentar la vida útil de las baterías, gestionando sus consumos (disminución) y atenuar el proceso de envejecimiento debido a la operación de las celdas fuera del rango nominal de tensión.

En tal sentido, el SGB deberá monitorear las tensiones de las celdas (alcanzar el equilibrio de las tensiones), así como de la temperatura de operación y la corriente derivada del proceso de carga-descarga.

NOVA MIRÓN

Se incluyen dispositivos de conmutación en la interconexión con la carga y el cargador de la batería. Los dispositivos de conmutación también pueden utilizarse con fines de protección del sistema.

Una función adicional será la de actuar como un indicador de carga de las baterías (evaluando los estados de carga SoC).

Para módulos de baterías de gran capacidad (SGB grandes), donde la tensión de operación es significativa, el SGB se estructura en módulos en disposición serie, con interfases de comunicación entre los mismos.

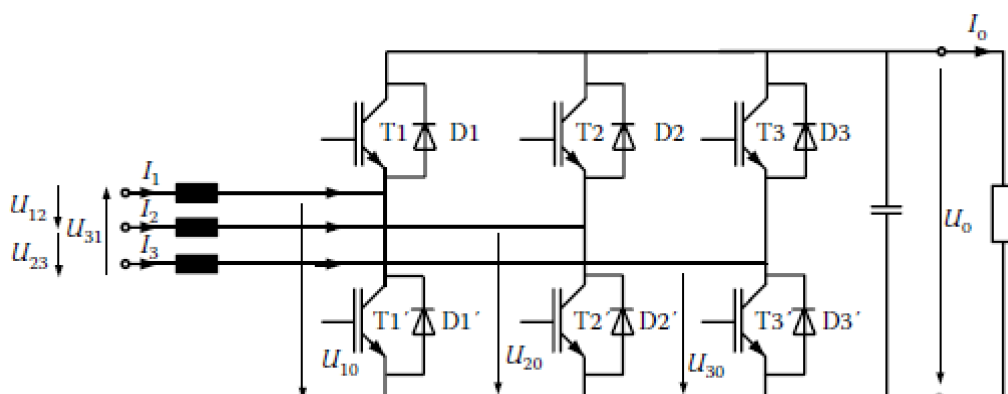
c) Convertidor de potencia

Este dispositivo tendrá como función la de convertir la energía eléctrica de corriente continua en energía eléctrica en corriente alterna y viceversa.

Es decir, permitirá inyectar (modo de operación como inversor) o extraer potencia (modo de operación como rectificador) de una red de CA trifásica.

Puede proporcionar o absorber potencia activa, así como potencia reactiva capacitiva o inductiva.

A continuación, se muestra un esquema del Convertidor trifásico.



NOVA MIRON

El convertidor está compuesto por dispositivos de potencia del tipo GTO o IGBT, que gestionan la conmutación de las ondas de tensión, con el objetivo de tener una onda resultante.

En forma general, se integra con un controlador PWM (Modulación por Ancho de Pulso), que actúa sobre los GTO o IGBT, con las señales de disparo y apagado correspondientes.

El controlador PWM podrá ser del tipo rectangular, lineal o senoidal (señales portadoras que se integran con las señales de modulación), con el fin de generar las ondas de tensión en magnitud y fase, que permitan obtener los requerimientos P y Q del BESS (a los efectos del análisis, el dispositivo se asume como una fuente de tensión controlada).

A los fines indicados, se incorpora un dispositivo modulador, en donde las señales de referencia (senoidales) se comparan con la señal portadora, para generar las señales de control de fase, sobre cada IGBT.

El contenido armónico resultante, será función del modo de control PWM adoptado.

d) Transformador

La integración de los BESS con los sistemas eléctricos de MT y AT, requiere del uso de transformadores, que operen bajo las condiciones variables de almacenamiento y entrega de energía.

Estos transformadores se basarán en diseños específicos a la operación de los BESS, ya que se exige la integración con convertidores de potencia de operación bidireccional, con la circulación de armónicos de corriente, junto a ciclos rápidos de carga/descarga y flujos de potencia cambiantes en el tiempo (característica de estado dinámica).

En tal sentido, podemos detallar, a continuación, las especificaciones básicas de diseño de los trafos BESS:

- Diseño enfocado en la circulación de alto contenido de armónicos de corriente, por operación de los convertidores de potencia.

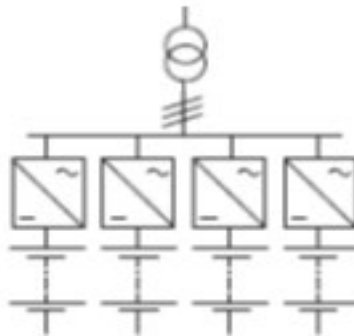
NOVA MIRON

- Capacidad de atenuar la propagación de interferencias (operación a altas frecuencias).
- Diseño orientado a alcanzar una alta eficiencia operativa con bajas pérdidas. Pérdidas por armónicos. Considerar la operación en vacío con tiempos extendidos y con baja carga.
- Bajos niveles de ruido audible.
- Diseño con un factor K adecuado, atendiendo a la I_k de la instalación BESS.
- Soportar la operación bajo sobretensiones transitorias significativas. Diseño dieléctrico reforzado con apantallamiento electroestático en los bobinados.
- Funcionamiento estable de carga/descarga con flujo de potencia bidireccional. Tener la capacidad de carga y descarga rápida.
- Ciclos de operación continuos, con variaciones térmicas cambiantes y significativas.
- Por lo tanto, se requiere de un diseño de carga térmica reforzado, enfocado en la operación cíclica.

2) Topología BESS. Aplicaciones

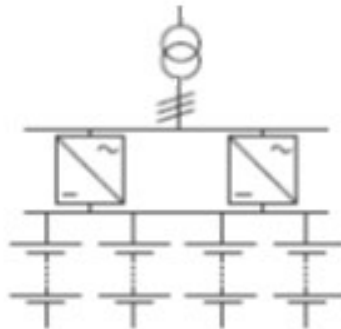
Refiere a los distintos modos de conexionado a la red de los BESS, según el tipo de aplicación específica, los niveles de tensión y las potencias en juego.

Las topologías de conexión a la red, para sistemas BESS a gran escala que generalmente constan de varios módulos de baterías y unidades conversoras, podemos representarlas del siguiente modo.

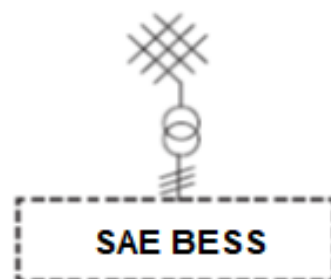


NOVA MIRON

En este caso tenemos unidades BESS en paralelo, con convertidores CD/CA aplicados sobre cada banco de baterías y conectados a una barra común del sistema eléctrico, junto al transformador elevador.



En la figura previa, se aprecian los bancos de baterías en paralelo, conectados a una barra CD en común, la cual se vincula a dos convertidores CD/CA, compartidos en la operación. La salida del sistema se integra con el transformador elevador a la red.



En esta topología, el BESS se vincula con una red externa de MT o AT, a través de un transformador elevador.

A continuación, vamos a describir seis casos de aplicación de la tecnología BESS, para una misma topología y diferentes contextos operativos del sistema eléctrico.

A estos fines, se adoptará una topología BESS integrada con una red externa de 132 kV, a través de un trafo de 40 MVA y una SET de 132 kV, de donde se alimentará una barra de carga (P-Q).

En primer término, procedemos a definir los componentes del sistema eléctrico de potencia, junto a sus parámetros característicos. Tendremos:

NOVA MIRON

- Trafo BESS 40 MVA

$U_p/U_s = 132 \text{ kV}/13,2 \text{ kV}$.

$S_n = 40 \text{ MVA}$.

$u_{cc} = 10 \%$.

GC = Dyn11.

$P_{cu} = 400 \text{ kW}$.

$P_0 = 100 \text{ kW}$.

$I_0 = 3 \%$.

CBC = 21 pos (-5 min a + 15 max) + 0 (nominal), lineal, estanco, $u_{at} = 3 \%$.

- Red externa 132 kV

$U_n = 132 \text{ kV}$.

$S_k''_{\text{max}} = 500 \text{ MVA}$, $I_k''_{\text{max}} = 2,187 \text{ kA}$.

$S_k''_{\text{min}} = 200 \text{ MVA}$, $I_k''_{\text{min}} = 0,8748 \text{ kA}$.

$R/X \text{ max} = 0,1$, $R/X \text{ min} = 0,1$.

$Z_2/Z_1 \text{ max} = 1$, $X_0/X_1 \text{ max} = 1$, $R_0/X_0 \text{ max} = 0,1$, $Z_2/Z_1 \text{ min} = 1$, $X_0/X_1 \text{ min} = 1$,

$R_0/X_0 \text{ min} = 0,1$.

- Barra 132 kV

$U_n = 132 \text{ kV}$, $\Delta V_{\text{max}} = +5 \%$, $\Delta V_{\text{min}} = -5 \%$.

- Barra 13,2 kV

$U_n = 13,2 \text{ kV}$, $\Delta V_{\text{max}} = +5 \%$, $\Delta V_{\text{min}} = -5 \%$.

- LAT

$U_n = 132 \text{ kV}$.

$L = 40 \text{ km}$.

Modelo = ST-PC, $T_{\text{max}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Conductor = Al-acero.

NOVA MIRON

$R_{ac}(20^{\circ}\text{C}) = 0,023 \Omega/\text{km}$, $X = 0,068 \Omega/\text{km}$, $G = 0 \mu\text{S}/\text{km}$.

$R_1 = 0,92 \Omega$, $X_1 = 2,72 \Omega$, $R_0 = 0,92 \Omega$.

- Carga

Clase = 3PH-D AC.

$P = 10 \text{ MW}$, $Q = 5 \text{ MVAR}$.

Modo = (P, Q) Balanceada.

- Convertidores BESS 1 y 2

$R_{cnv} = 13,2 \text{ kVca}/2 \text{ kVcc}$.

$S_n = 10 \text{ MVA}$.

Setpoint P = 10 MW.

Setpoint Q = 5 MVAR.

Modo de control = P-Q.

Control = PWM senoidal.

$R_i \rightarrow \infty$ (sin pérdidas por conmutación).

$R_0 = 0 \Omega$, $X_0 = 0 \Omega$ (sin pérdidas en vacío).

Modelo en el flujo de potencia, para la transferencia entre el convertidor y la barra "k" (132 kV) =

$$P = \frac{V_k V_c^{(1)}}{X_T} \text{sen } \delta_c^{(1)}$$

$$Q = \frac{V_k^2}{X_T} - \frac{V_k V_c^{(1)}}{X_T} \text{cos } \delta_c^{(1)}$$

X_T = reactancia del trafo BESS 40 MVA.

- Barras DC BESS 1 y 2 – 2 kV

$U_n = 2 \text{ kVcc}$.

NOVA MIRON

$$\Delta V_{\max} = +5 \%, \Delta V_{\min} = -5 \%$$

- Bancos baterías BESS 1 y 2

$$U_n = 2 \text{ kVcc.}$$

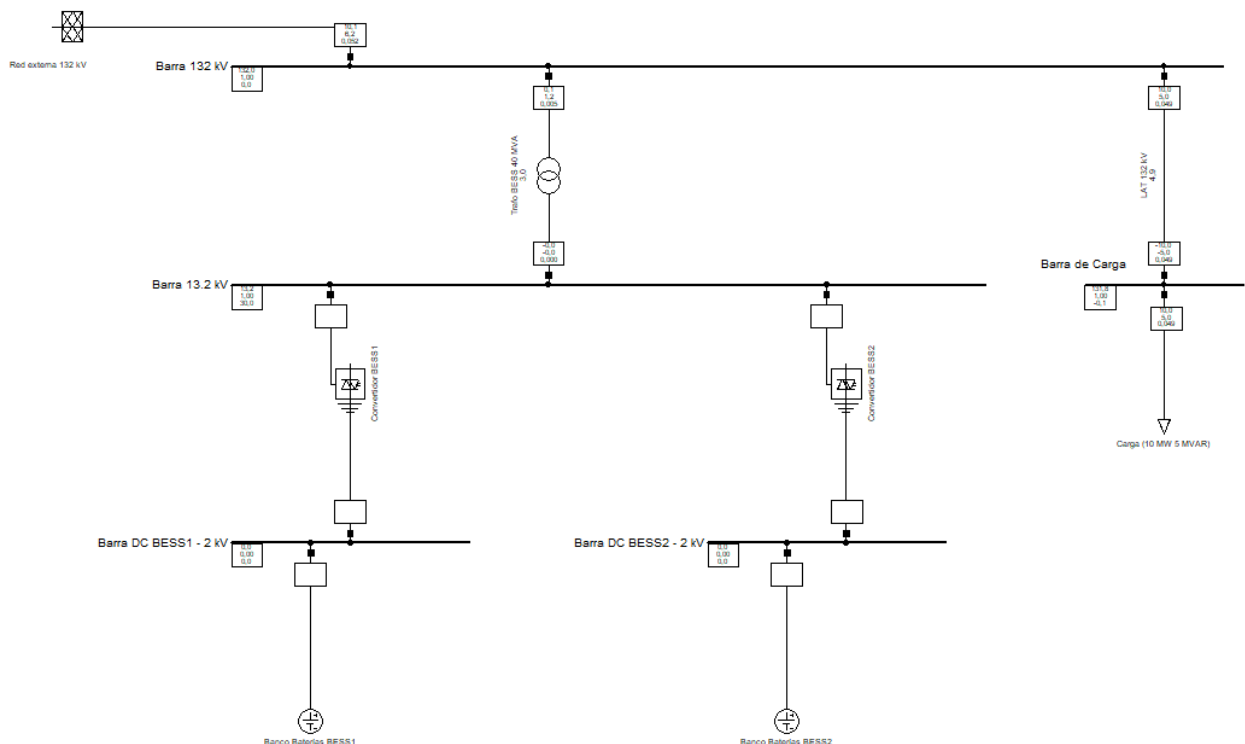
$$U_{nc} = 160 \text{ V, } N_c = 125.$$

$$D_{sc} = 70 \text{ Ah (8 horas).}$$

$$R_c = 0,0001 \ \Omega, L_c = 0,0002 \text{ mH.}$$

A continuación, se plantean y analizan los distintos casos operativos del conjunto BESS (2 en total), con una topología de barra común en CA e integrados con un convertidor cada uno.

a) Caso Bess1

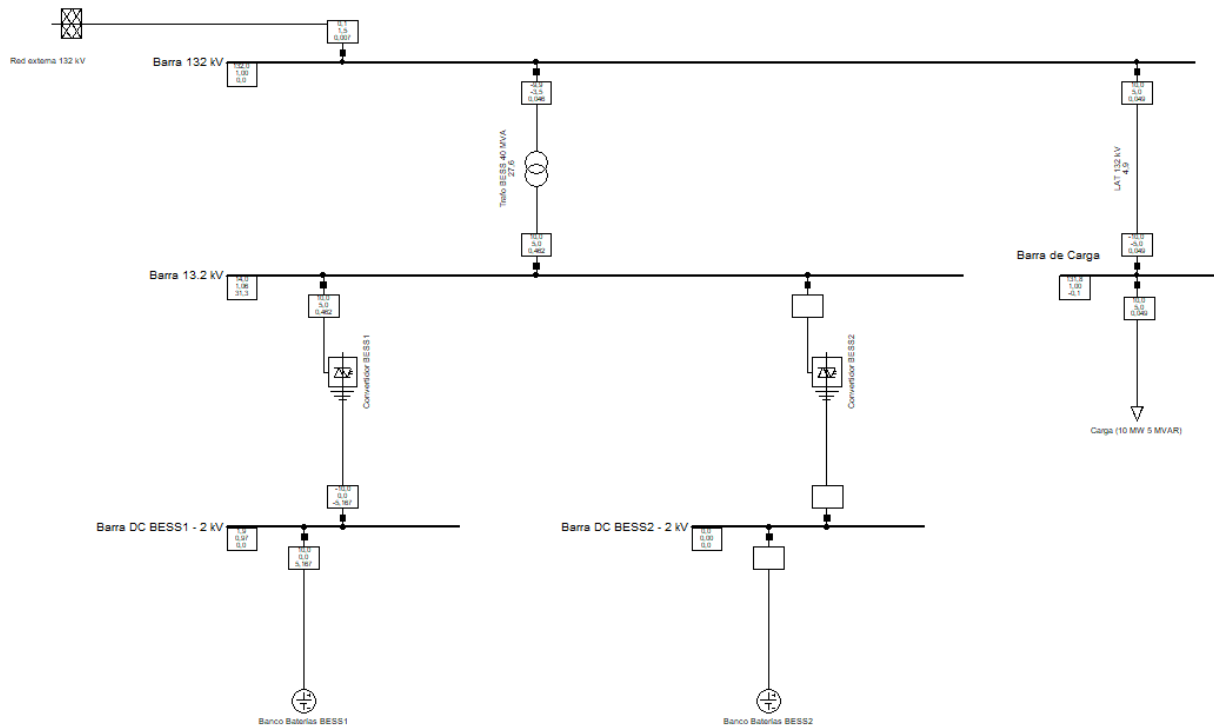


NOVA MIRON

En este caso, los BESS no se encuentran en modo operativo, por lo que la red externa de 132 kV alimenta, a través de la LAT, a la barra de carga y a las pérdidas del trafo BESS, el cual se encuentra operando en vacío. Las pérdidas de la LAT no son significativas.

Por lo tanto, la red externa tiene la capacidad de suministrar la energía requerida por el sistema eléctrico, destacando la operación estable del mismo, con las barras a la tensión de referencia.

b) Caso Bess2



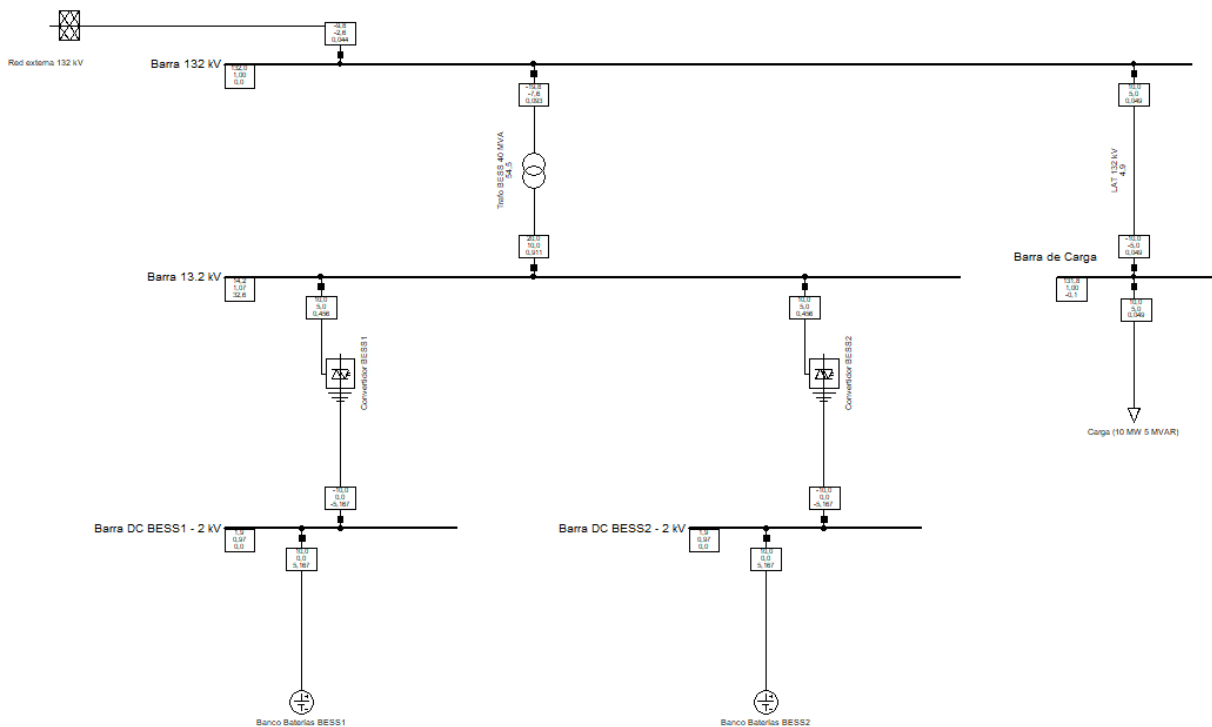
Se observa que el BESS1 entra en operación, ante la caída del suministro de energía de la red externa (salida de servicio de parte de la red externa). La potencia activa de la red externa cae en más del 90% y la reactiva en el 70%. En esta modalidad de control, el BESS2 no entra en operación, por lo que el BESS1 suministra la energía a la carga y las pérdidas del trafo.

NOVA MIRON

Un detalle a tener en cuenta es que, la tensión en la barra de 13,2 kV, supera el límite permitido de variación, con un valor de +8%.

Este hecho requiere reconfigurar el control de los BESS.

c) Caso BESS3



Tanto el BESS1 como el BESS2 entran en operación, ante la caída significativa del suministro de energía de la red externa

En este escenario, los BESS1 y 2 aportan las pérdidas del trafo, la carga y la red externa, inyectando tanto potencia activa como reactiva.

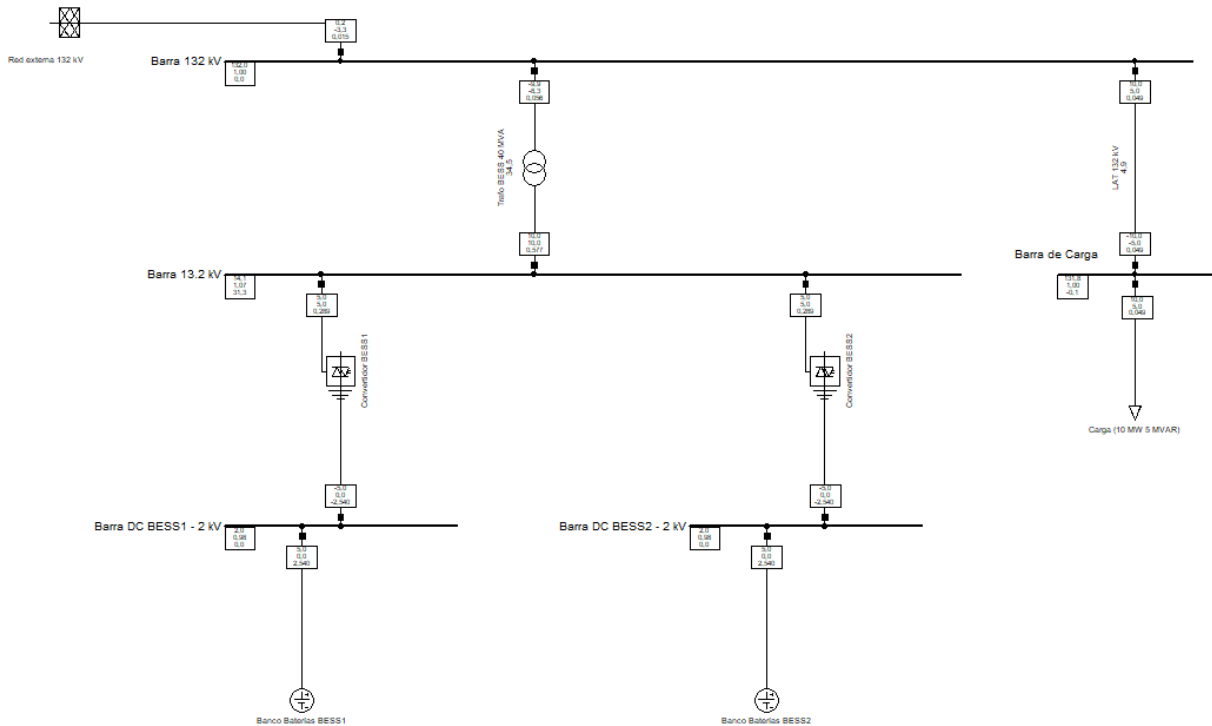
De tal forma se mantiene la tensión en la barra de 132 kV y en la barra de carga.

También en este caso, la tensión en la barra de 13,2 kV, supera el límite permitido de variación, con un valor de +7,6%.

Este hecho requiere reconfigurar el control de los BESS.

d) Caso BESS4

NOVA MIRON



Para este escenario, la red externa suministra una parte de la potencia activa, pero absorbe reactiva, con los dos BESS operando en el sistema.

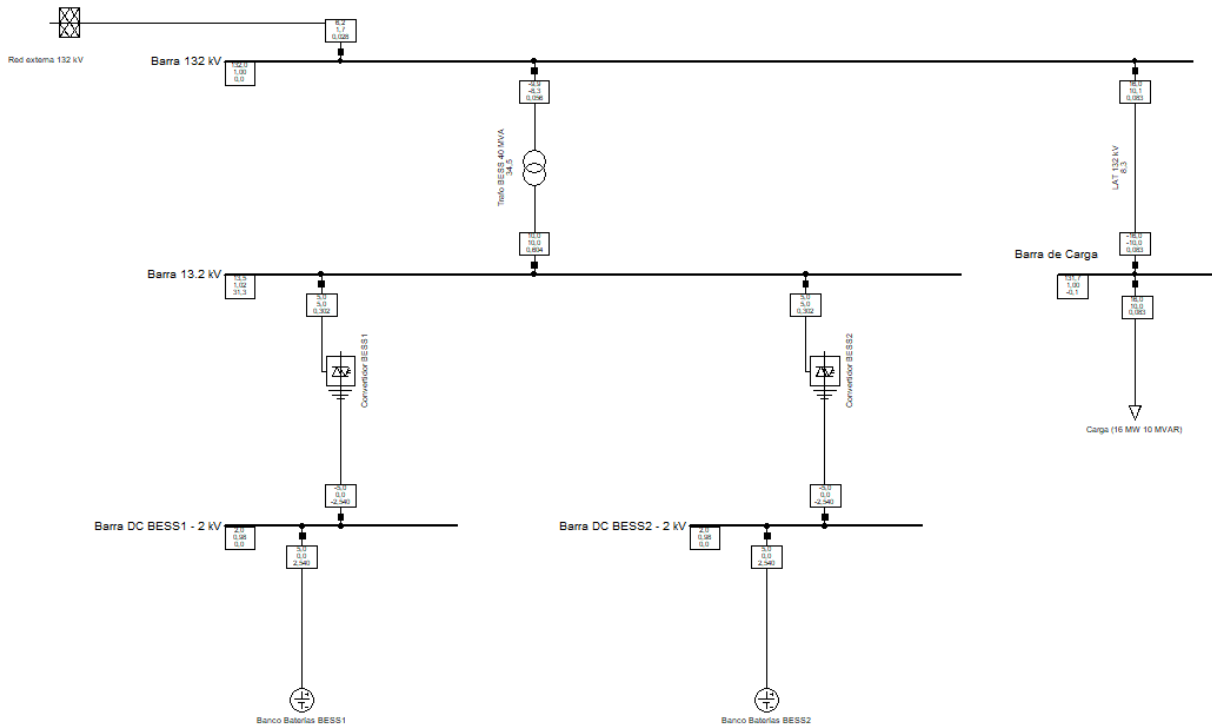
De tal forma se mantiene la tensión en la barra de 132 kV y en la barra de carga.

Se observa que la tensión en la barra de 13,2 kV, supera el límite permitido de variación, con un valor de +7%.

Este hecho requiere reconfigurar el control de los BESS.

e) Caso BESS5

NOVA MIRON



En este escenario nos encontramos ante un incremento transitorio en la demanda de carga de 60% en P y 50% en Q.

Tanto el BESS1 como el BESS2 poseen un SPP = 5 MW y un SPQ = 5 MVAR.

La red externa de 132 kV y los BESS aportan activa y reactiva a los requerimientos en la barra de carga y a las pérdidas del sistema eléctrico.

Las tensiones en las barras del sistema se mantienen en los límites aceptados.

3) Costos del Ciclo de Vida

El Costo del Ciclo de Vida (CCV) de un BESS, refiere al total acumulado, descontado, de todos los costos incurridos por este dispositivo, a lo largo de su ciclo de vida.

Será importante tener en cuenta que, los resultados derivados de este análisis, permitirá obtener un conjunto de información para la toma de decisiones en la Gestión de Activos y Mantenimiento.

Por ejemplo, podemos indicar los siguientes:

NOVA MIRON

- Optimizar el diseño del BESS, a través de la evaluación de alternativas y estudios de compromiso, por parte del fabricante.
- Obtener información relevante para el proceso de toma de decisiones, en las fases de especificación, diseño, desarrollo, operación, mantenimiento y disposición.
- Evaluar distintas tácticas de operación, mantenimiento y disposición, con el fin de optimizar el CCV Total.
- Aplicar el Modelo CCV para determinar los costos asociados, como una función específica de la Gestión de Activos.
- Proporcionar criterios para la toma de decisiones, en cualquiera o todas las fases del ciclo de vida.
- Determinar la edad económica de reemplazo del BESS.
- Incorporar el impacto negativo de los riesgos en los costos. También del impacto positivo de las oportunidades.
- Realizar el costeo a lo largo del ciclo de vida, con el fin de contribuir a la toma de decisiones de inversión.
- Incorporar, en el análisis, el contexto ambiental y operativo previsto, así como las características y logística del mantenimiento a aplicar y los distintos estados de operación del BESS.

A los efectos, será conveniente, desde el principio del análisis, diferenciarlo del concepto de Costeo del Ciclo de Vida, el cual aplica al proceso de evaluación de la diferencia, entre los costos del ciclo de vida de dos o más opciones alternativas BESS y establecer cuál de ellas mejor ajusta a los objetivos organizacionales.

Por lo tanto, podemos decir que, determinar el Costo del Ciclo de Vida de un dispositivo BESS permitirá, a la Gerencia de Activos, tomar decisiones en los siguientes sentidos:

- 1) En la adquisición de la tecnología BESS, en base al conocimiento del costo del CV de diferentes propuestas iniciales del proyecto.

NOVA MIRON

- 2) Establecer la Planificación de la Gestión del Ciclo de Vida, determinando los recursos necesarios para O&M y el presupuesto para los BESS en servicio.

- 3) Decisiones de reemplazo del BESS.

También, será importante considerar, desde un principio, el concepto de Elemento de Costo, correspondiendo a la parte identificable del CCV que puede atribuirse a una actividad específica.

El Vector de Costo, será el elemento de costo significativo que, si se modifica, tendrá un impacto importante en el CCV (mayor sensibilidad).

De lo dicho previamente, surge el concepto de Análisis de Sensibilidad, haciendo referencia al proceso de ensayar el resultado del costeo del ciclo de vida, con el fin de establecer si la conclusión final es sensible a cambios en los supuestos.

Otros conceptos a considerar en el Análisis CCV, serán:

- Valor presente neto, se define como la suma de los costos e ingresos totales, descontados.

- CBS (de las siglas en inglés de Cost Breakdown Structure), corresponde al Desglose de la Estructura de Costos del BESS.

- Fecha base, refiere al instante de tiempo fijo, establecido como referencia común de los costos.

La base del análisis será la de establecer un Modelo CCV, con los siguientes enfoques:

- Determinar la mejor alternativa de reemplazo o modernización de BESS, basado en el cálculo de su edad económica, junto con las ventajas y desventajas de las soluciones propuestas.

NOVA MIRON

- Determinar cuál es el momento óptimo, en términos económicos, para realizar el reemplazo del BESS, considerando los diferentes costos en los que se incurre durante su CV: Costos de Capital (CapEx), Costos de Operación (OpEx) y Costos de Disposición.

Podemos realizar el siguiente desglose de costos, en referencia a:

a) Costos de Adquisición del BESS

Tendremos los siguientes componentes:

- Investigación.
- Especificación.
- Ingeniería/Diseño (sistemas de conversión, baterías, gabinetes de baterías, sistemas de gestión de baterías, contenedores, etc.).
- Conexión a la red (tarifa por conexión, activos para la conexión, sistemas de gestión de la energía).
- Costos asociados con la adquisición o alquiler de la tierra. Permisos, regulaciones, impuestos.
- Fabricación/Producción.
- Precomisionamiento/Ensayos.
- Transporte.
- Almacenamiento.
- Montaje/Instalación.
- Comisionamiento.

b) Costos de Propiedad del BESS

En este caso comprende:

- Operaciones (personal, instalaciones).
- Mantenimiento (personal, etc.).
- Distribución del dispositivo (transporte, flujo y manejo de materiales).
- Ensayos y soporte.

NOVA MIRON

- Capacitación (Operaciones, Mantenimiento).
- Soporte de suministros (repuestos, inventarios, materiales).
- Tarifas de la red (operaciones de transmisión y distribución).
- Costo de la electricidad (por carga + en vacío y en carga de trafos + operaciones).
- Seguros por el BESS.
- Impuestos, tarifas, costos administrativos.
- Soporte lógico (operación y mantenimiento).
- Reemplazo/Disposición.

Destacamos que, en esta estructura de desglose, hemos incorporado los Costos de Disposición en los correspondientes de Propiedad.

En cuanto a los beneficios de implementar el Análisis CCV, en la gestión de las tecnologías BESS, podemos detallar los siguientes:

- Reducción de los Costos de Propiedad.
- Alineación de las decisiones de Ingeniería con los objetivos organizacionales.
- Establecimiento de criterios de objetivos comunes.
- Reducción del riesgo en los gastos operativos.
- Cambio de criterios en las opciones de selección.
- Maximización del valor de la experiencia operativa actual.
- Provisión de un marco de trabajo que permita comparar las opciones en todas las etapas del CV.
- Provisión de un mecanismo por el cual se identifiquen y gestionen los vectores de costos.

En cuanto a la aplicación efectiva, destacamos:

- 1) Evaluación y comparación de diferentes alternativas de diseño y tecnologías de almacenamiento de energía.
- 2) Determinación de la viabilidad económica de los proyectos BESS.
- 3) Identificación de los vectores de costo y las mejoras efectivas en los costos.

NOVA MIRÓN

- 4) Evaluación y comparación de alternativas estratégicas de BESS, para su uso, operación, pruebas, inspecciones, mantenimiento, etc.
- 5) Evaluación y comparación de diferentes enfoques para el reemplazo, extensión de la vida, disposición por envejecimiento.
- 6) Asignación óptima de los recursos financieros, para actividades en el desarrollo y mejora de BESS existentes.
- 7) Determinación de criterios para la gestión de los seguros, a través de la verificación de pruebas.
- 8) Planificación financiera a largo plazo.

En el desarrollo del modelo CCV para los BESS (al igual que para cualquier otra tecnología de almacenamiento de energía), se deberán tener en cuenta no solamente los factores asociados a la tecnología en sí, sino que también se deberán ponderar los factores relacionados con la aplicación final (ej., precio de la energía, aspectos legales, normas, regulaciones, etc.).

Teniendo en cuenta lo comentado previamente, se dispondrá de una base más precisa, para realizar la toma de decisiones correctas, en relación a la incorporación de un sistema de almacenamiento de energía, junto a los eventuales beneficios a obtener.

En definitiva, el gasto total del proyecto deberá considerar aspectos como los costos de capital de la tecnología adoptada, los costos de Operación y Mantenimiento, así como los eventuales costos de reemplazo de componentes, a lo largo de la vida útil. Además, se tendrán que incorporar los costos asociados a las actividades de disposición.

Considerando todos estos costos, obtendremos el Costo Total del Ciclo de Vida del BESS (los costos expresados, son los incurridos en el año).

$$CCV = Ca + Cp$$

$$CCV = Ca + Com + Cr + Cd$$

Siendo:

NOVA MIRÓN

CCV = Costo del Ciclo de Vida.

Ca = Costo de Adquisición.

Cp = Costo de Propiedad = Com + Cr + Cd.

Com = Costo de Operación y Mantenimiento.

Cr = Costo de Reacondicionado y/o Reemplazo de subsistemas.

Cd = Costo de Disposición.

- **Costo del ciclo de Vida (CCV)**

El CCV se expresa, en forma general, en valores anuales, con el fin de obtener cifras comparativas año a año, a lo largo de toda la vida útil del sistema.

De tal forma, este costo anual se interpreta como el gasto incurrido por el sistema, que debe pagarse en el año, incorporando todas las actividades asociadas (especificación, compra, fabricación, montaje, operación, mantenimiento, amortización de préstamos e intereses, reacondicionado, disposición final).

Dado que el valor del dinero varía a lo largo de la vida útil del proyecto, los costos anualizados se deberán ajustar, teniendo en cuenta los costos futuros (atendiendo a una tasa de interés prevista en el modelo). A tales fines, se determinará el valor actual neto y la tasa interna de retorno del proyecto BESS.

Estos serán los criterios de decisión para realizar las evaluaciones financieras de inversión.

- **Costo de Adquisición (Ca)**

También se lo denomina Costo de Capital.

Pondera los costos de capital, asociados a la adquisición e instalación del BESS.

Comprende los costos asociados a la Ingeniería del proyecto, incorporando el costo del contenedor de almacenamiento (contenedor de las baterías), el costo del sistema de conversión de energía (convertidores electrónicos de energía, en función de la tecnología adoptada y del modo de control) y el costo de los subsistemas o sistemas auxiliares (transformadores de potencia, dispositivos de protección y refrigeración, infraestructura asociada, etc.).

NOVA MIRON

Es decir, esta componente abarca a todos los costos de capital estimados, asociados a los elementos principales que se utilizan para fabricar el BESS, incluyendo no sólo los contenedores de almacenamiento, sino también todos los elementos necesarios para conectar el sistema a la red eléctrica y garantizar su funcionamiento controlado y seguro.

Se expresa en unidad monetaria por unidad de potencia instalada en el sistema (kW o MW).

Atendiendo al horizonte de tiempo del proyecto (T en años), este costo anual deberá afectarse por el Factor de Recuperación del Capital (FRC), el cual será función de T y de la tasa de interés (i) (por lo general, en los proyectos, se adopta la real).

Este costo resulta ser proporcional a la capacidad de almacenamiento del BESS, así como inversamente proporcional a la profundidad máxima de descarga (DoDmax, ver Parte 1) de la tecnología de baterías utilizadas y de la Eficiencia de Conversión del sistema.

El costo de los sistemas de conversión de potencia (Convertidores), integrados en el BESS, será proporcional a la potencia nominal del sistema, en donde se deberá tener en cuenta el Costo Específico (por unidad de potencia).

Además, se integran los costos asociados con los transformadores de potencia, dispositivos de protección y otros equipos para la conexión e integración a la red del BESS

También se incorporan, en el cálculo, todos aquellos subsistemas (sistemas auxiliares), como ser el sistema de refrigeración, el monitoreo y cerramientos (asociados a requisitos de impacto ambiental).

Estos costos pueden expresarse en relación proporcional a la potencia nominal del sistema, por lo que dependerán proporcionalmente a ésta y al tamaño de la instalación. Para BESS, es muy común que éstos se integren en subestaciones o instalaciones de generación ya existentes, lo cual permite reducir los costos de capital, asignables a sistemas auxiliares específicos, ya incorporados en la instalación.

- **Costo de Operación y Mantenimiento**

NOVA MIRON

Estos costos se pueden clasificar en Fijos y Variables.

Los Fijos son aquellos que no dependen del uso del BESS, a lo largo de toda su vida útil. Por ejemplo, los costos fijos pueden ser los derivados de la mano de obra O&M, de la contratación de servicios de mantenimiento BESS especializados, etc.

Estos costos anualizados, se expresan en relación a la potencia nominal y se verán afectados por el FRC y un factor que tendrá en cuenta la tasa de variación de los costos fijos de O&M, denominado Flujo de Caja Descontado (FCD).

Para los BESS (SAE de corta duración), también se deberá incorporar el costo fijo asociado a la compra de energía eléctrica para compensar las pérdidas por autodescarga (tasa de autodescarga diaria) de los bancos de baterías.

Habrá que considerar que, durante la mayor parte del tiempo, los BESS estarán en estado no operativo, intercambiando energía eléctrica, con el resto del sistema eléctrico al que están conectados, durante cortos intervalos de tiempo.

En tal sentido, será necesario suministrar, en forma continua, la energía requerida para mantener el estado de carga (SoC) del banco de baterías. Para el cálculo del costo, se tendrá que considerar la tasa de variación anual del precio de la energía eléctrica.

Si el BESS está diseñado para operar a mediano o largo plazo, este costo no deberá considerarse, ya que el sistema estará interactuando con la red, durante intervalos de tiempos extendidos.

En estos BESS, las pérdidas por autodescarga se incluirán en la Eficiencia de Conversión, lo que impactará en los costos variables de O&M.

En el modelo se incorporan los costos derivados de los Impuestos, tarifas y costos administrativos. También los asociados al uso de los soportes lógicos (tanto de Operación como de Mantenimiento).

Los costos variables anuales de O&M (expresados en relación a la potencia nominal) serán aquellos que dependen del uso del BESS, a lo largo de su vida útil.

Se incorpora la energía eléctrica consumida mientras el sistema se carga y descarga, proceso recurrente para proporcionar las funciones de aplicación (ej., reducción de picos de demanda).

NOVA MIRÓN

Además, se incorporan los costos por seguros del BESS (asociados al modelo de Confiabilidad adoptado).

Costo de reacondicionado/reemplazo

Los componentes del BESS se encuentran afectados por la degradación, como consecuencia de la operación, en relación directa con los niveles de servicios requeridos y la clase de tecnología utilizada, para cada subsistema.

A modo de consideración en el conformado del modelo del CCV, la vida útil esperada de las baterías dependerá de la Profundidad de Descarga (DoD) aplicada, la tasa de descarga, la temperatura de operación y el método de carga.

También se deberá prever el costo de reemplazo del contenedor, atendiendo a su vida útil estimada, en relación al tiempo horizonte del proyecto.

En esta instancia, se asume que los recursos económicos requeridos serán proporcionales a la capacidad de almacenamiento del BESS (se representa en unidades monetarias por unidad de energía), debido a que los componentes que deberán reemplazarse durante el tiempo horizonte del proyecto, serán los pertenecientes a los contenedores de almacenamiento (celdas de las baterías, etc.).

Siguiendo con este razonamiento, es importante destacar que la vida útil esperada de los Conversores, así como del resto de los subsistemas, no será tan crítica, pudiendo comprender la mayor parte del tiempo horizonte.

El costo anual de reacondicionado/reemplazo, expresado en unidad monetaria en relación a la potencia nominal, se estima considerando que será directamente proporcional a un coeficiente de costo específico de reacondicionado, a las horas que se requieren para descargar el contenedor en las condiciones operativas previstas, al número de reacondicionados/reemplazos implementados durante la vida esperada del sistema y a un factor de afectación anual (afectado por el FRC y en función del período de reacondicionado/reemplazo). Además, el costo total, será inversamente proporcional a la Eficiencia de Conversión.

Costo de Disposición (Fin de la vida esperada)

NOVA MIRON

Ya en la fase de inicio del Fin de la Vida Esperada del BESS, se deberá prever la confección del Plan de Disposición, en donde estarán integrados los costos asociados con la disposición final o reciclado de la tecnología BESS afectada.

Los BESS utilizan metales costosos, materiales sintéticos y orgánicos, así como tierras raras, por lo que no debe pasarse por alto el impacto ambiental y los gastos económicos asociados a sus tratamientos, al final de la vida útil del sistema.

En tal sentido, se tendrán que considerar los costos incurridos en el despacho, el tratamiento y el reciclado de las baterías (ya previstos en el análisis de viabilidad en la evaluación del proyecto de inversión de capital), así como las consecuencias de índole social (también previstas).

Además de los costos asociados al reciclado de la tecnología BESS, deberán contemplarse aquellos devenidos en la etapa de fin de la vida, como ser el desmontaje del sistema.

Este componente del CCV deberá integrarse, en el modelo, en forma anualizada y en función de la capacidad de potencia del BESS, expresado en unidad monetaria por potencia nominal. Estará afectado por el FRC.

De tal forma, quedará establecido el CCV (total en el año), representando un indicador importante en la GA y en el Plan de Inversión de capital.

Se recurre a un indicador derivado, el cual resulta de relacionar el CCV con el número de horas de funcionamiento, en el año, del BESS, denominado Costo Nivelado de la Energía (CNE o LCOE por sus siglas en inglés).

El CNE quedará expresado en unidad monetaria por kWh, determinando los recursos económicos que se deberán destinar para el almacenamiento de la energía en el BESS, evaluado o ya adquirido.

En la Parte 5 trataremos las actividades de Operación y Mantenimiento de las unidades BESS instaladas en planta, así como las requeridas para los trafos integrados en el sistema de almacenamiento de energía.

NOVA MIRÓN

También haremos una breve descripción de las actividades de la fase de Fin del Ciclo de Vida de las unidades BESS, analizando algunos de los factores más significativos en el proceso de degradación de la tecnología adoptada (especialmente en los módulos de baterías).

Relacionado con lo anterior, describiremos conceptualmente la Gestión de los Riesgos y las Oportunidades de los BESS, con un enfoque orientado a la GA.

Concluiremos, con una extensión, de lo visto en la presente parte 4, de aplicaciones BESS en el sistema eléctrico de potencia.

Departamento de Ingeniería.

Nova Mirón S.A