

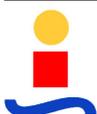


**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO
BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU
INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS**

AUTOR: Isaac Gil Mera

TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

CAPÍTULO 3. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO HÍBRIDO



	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se basa en una microred eléctrica con abastecimiento mediante una planta de aprovechamiento de Fuentes de Energía Renovable (FER) y conexión a la red de distribución.

En el esquema de la Figura 3.1 se observa el sistema mencionado bajo estudio. Se parte de una microred con su correspondiente demanda de carga, cuyo abastecimiento viene dado por la generación de energía eléctrica a partir de FER en conjunto con un sistema de almacenamiento, y la posibilidad de conexión con la propia red de distribución.

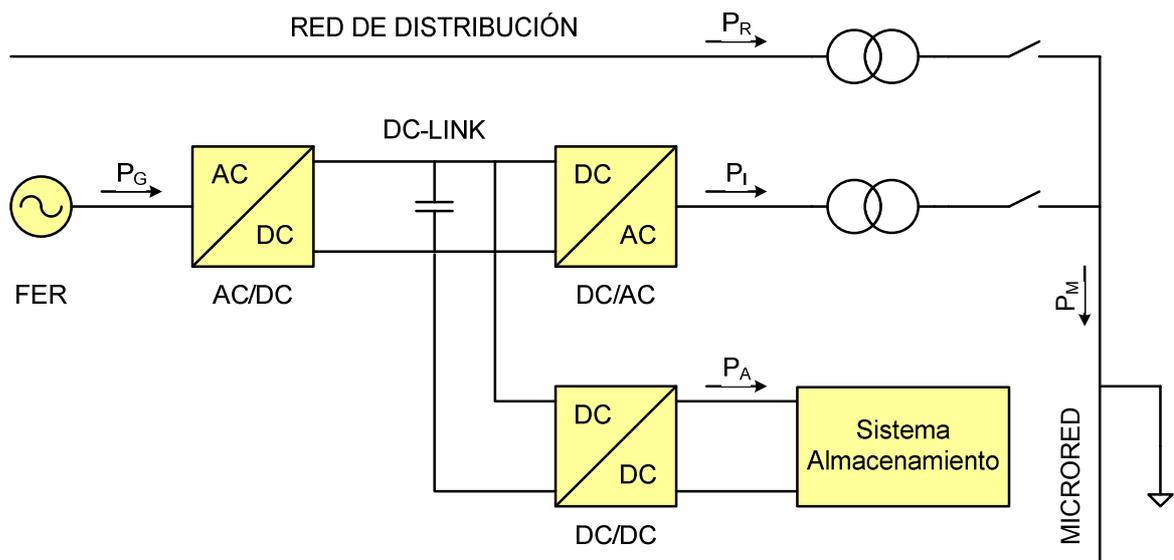


Figura 3.1. Esquema eléctrico del sistema

Como se explicó en el capítulo 1, en base a las necesidades de almacenamiento de energía en este tipo de plantas, el presente proyecto tiene como cometido el estudio y el diseño de un sistema de almacenamiento híbrido basado en supercondensadores y baterías; y su integración en el sistema mencionado con conexión a microrred eléctrica y red de distribución.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

Como se aprecia en la Figura 3.1, la energía aprovechada a partir de la fuente renovable es almacenada temporalmente en el dc-link, para su posterior almacenamiento o suministro a la microred. El control global del sistema es el encargado de gestionar el flujo de energía, mediante el gobierno sobre los controles locales de cada convertidor de potencia. Ello se realiza comandando las potencias de referencia a seguir por cada subsistema para llevar a cabo la gestión de la energía de la manera más eficiente posible.

En un modo de funcionamiento genérico, el control del convertidor “AC/DC” se encuentra funcionando en su punto de máxima potencia, extrayendo la máxima cantidad de energía de la FER, aportándola al dc-link. Por otro lado, el controlador del equipo “DC/AC” se encarga de la inyección de la energía almacenada temporalmente en el dc-link a la microred, según la potencia de referencia comandada por el controlador global de la planta. Finalmente, el control del convertidor del sistema de almacenamiento gestiona el almacenamiento o suministro por parte de este último subsistema, según situaciones de funcionamiento. Si la potencia generada por la FER es mayor a la demandada por la microred, el exceso es almacenado en los acumuladores de energía. En el caso contrario, demanda mayor que la generación, el sistema de almacenamiento se encarga de suministrar a la carga la potencia restante.

El caso planteado se basa en la sustentación de la microred mediante la generación por parte de la fuente de energía renovable y el apoyo del sistema de almacenamiento, denominándose ello como funcionamiento en isla. En el caso de la insuficiencia de éstas (conjunto FER y almacenamiento), se llevaría a la conexión con la red de distribución para el consiguiente aporte necesario, llamándose funcionamiento dependiente de la red de distribución. Por tanto, el objetivo es el abastecer la demanda de la microred mediante la fuente de energía en conjunto con el sistema de almacenamiento, minimizando el consumo de la red de distribución, y con la mayor eficiencia posible en la gestión de la energía.

El cometido del proyecto es el diseño y dimensionamiento de la electrónica de potencia asociada al sistema de almacenamiento integrado en la planta estudiada y el cálculo de los almacenadores de energía necesarios para cubrir las especificaciones de diseño.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

2. GESTIÓN DE LA ENERGÍA

En la Figura 3.2 se observa el esquema del sistema bajo estudio. Se basa en una microred eléctrica cuyo abastecimiento puede realizarse, por un lado, mediante el sistema de aprovechamiento de FER en conjunto con un sistema de almacenamiento de energía, y por otro, a través de la propia red de distribución.

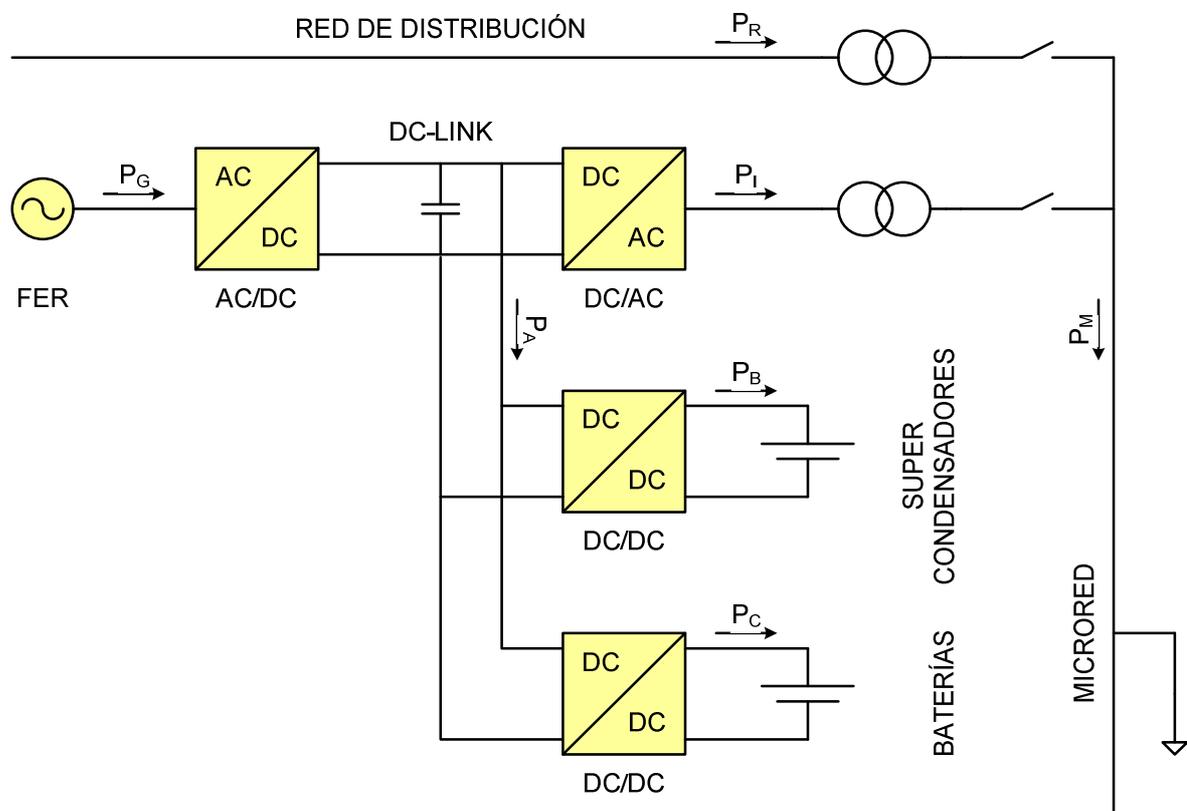


Figura 3.2. Esquema eléctrico del sistema

El convertidor de potencia “AC/DC” se encarga del aprovechamiento de la potencia entregada por la fuente renovable (P_G), almacenándose ésta temporalmente en el dc-link. Los convertidores “DC/DC” gestionan la potencia de almacenamiento (P_A) en cada uno de los acumuladores de energía asociados, baterías (P_B) y supercondensadores (P_C).

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

Por otro lado, el inversor electrónico de potencia “DC/AC” se encarga de la inyección de potencia en la microred (P_i).

Como se señaló en el Apartado 1, en el plano superior de la planta existe un sistema control supervisor que gobierna los controles locales de cada convertidor de potencia, el cual comanda las referencias de potencias a seguir por los mismos en función de los modos y parámetros de funcionamiento del sistema global.

En el modo de funcionamiento en isla, el inversor “DC/AC” se comporta como fente de tensión, siendo el responsable del mantenimiento de la tensión y frecuencia de la red trifásica correspondiente a la microred, y con ello, de la entrega de la potencia a la carga, también llamada como potencia de microred (P_M). Ello se realiza mediante el control de la tensión (V_M) y frecuencia (ω_M) del bus.

$$P_i^{ref} = f[V_M, \omega_M]$$

Por otro lado, el balance de la potencia generada a partir de la fuente de energía renovable y la potencia suministrada a la carga hará que la tensión en el dc-link varíe. Si la energía generada es mayor que la inyectada, dicha tensión subirá; si ocurre lo contrario, la tensión bajará. Si se añade un control sobre esta tensión, se obtiene la consigna de potencia para el convertidor del sistema de almacenamiento.

$$P_A^{ref} = f[V_{DC-Link}]$$

Esto lleva consigo el almacenamiento de energía en el caso de que la producción sea mayor que la demanda, o al aporte de potencia en el caso de que la producción mediante la FER sea insuficiente para el abastecimiento de la demanda.

Lo explicado anteriormente es aplicable si cuando se tiene un exceso de producción, el sistema de almacenamiento posee capacidad para almacenarlo; o por el contrario, cuando existe un exceso de demanda, dicho sistema es capaz de entregar la potencia extra necesaria para abastecer la carga. Si ello no ocurre se pueden definir dos escenarios de funcionamiento excepcionales a los cuales el control de sistema global debe responder.

Si existe un exceso de producción y el sistema de almacenamiento se encuentra en su límite de capacidad, el control global llevará al convertidor de la fuente de energía renovable a un

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

punto de funcionamiento de menor entrega de potencia, la necesaria para abastecer la carga, sin necesidad de producir en exceso.

Si por el contrario, el conjunto formado por la FER y el sistema de almacenamiento son insuficientes para el abastecimiento de la carga, el control del sistema comandará la conexión de la microred con la red de distribución para dejar de funcionar en isla y pasar al modo de funcionamiento dependiente de la red de distribución. De esta manera, el bus quedaría impuesto en tensión y frecuencia por la red de distribución, siendo el comportamiento del inversor “DC/AC” de fuentes de corriente, en este caso.

La desconexión con la red de distribución se efectuaría cuando la demanda pueda satisfacerse con el conjunto FER y sistema de almacenamiento.

La elección del almacenamiento híbrido de supercondensadores y baterías tiene su razón en la naturaleza de estos almacenadores. Los supercondensadores tienen una respuesta rápida ante variaciones en las condiciones de carga y descarga pero no son grandes almacenadores de energía. Por el contrario, las baterías poseen mucha mayor capacidad de almacenamiento pero sus tiempos de respuesta son limitados. En conjunto, el sistema de almacenamiento con su debida gestión de la potencia, posee una rápida respuesta dada por los primeros dispositivos y una alta capacidad de energía, proporcionada por las baterías en régimen permanente.

Si la potencia de almacenamiento comandada por el control del sistema es P_A , las potencias seguidas por los convertidores para baterías y supercondensadores, P_B y P_C respectivamente, se obtienen de la siguiente manera:

$$P_B^{ref} = LPF[P_A^{ref}] \qquad P_C^{ref} = P_A^{ref} - P_B^{ref}$$

La potencia total de almacenamiento es adaptada mediante un filtro paso bajo (LPF) para obtener la consigna de entrega de potencia para el convertidor asociado a las baterías. Con ello se obtiene una referencia sin cambios bruscos, adaptándose a la naturaleza de estos dispositivos.

La potencia a entregar por el sistema de supercondensadores sería, por tanto, la diferencia entre la potencia total de almacenamiento y la encargada al sistema de baterías.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

En conclusión, decir que la ventaja de poseer un sistema de almacenamiento integrado al sistema original es triple. En primer lugar, la posibilidad de seguir trabajando en el punto de máxima potencia de la FER aunque la carga demandada sea menor. En segundo lugar, la posibilidad de abastecer una carga de mayor demanda de energía que la extraída de la fuente de energía renovable mediante el aporte del sistema de almacenamiento. Y por último, la posibilidad del funcionamiento en isla de la microred, reduciéndose tanto la dependencia hacia la red de distribución, como el consumo de potencia sobre ésta.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

3. SITUACIÓN DE DISEÑO

El sistema con el que se va a trabajar es un sistema de generación de energía eléctrica de 30kW basado en energías renovables aplicado a una microred con conexión a la red de distribución, mostrado en la Figura 3.3.

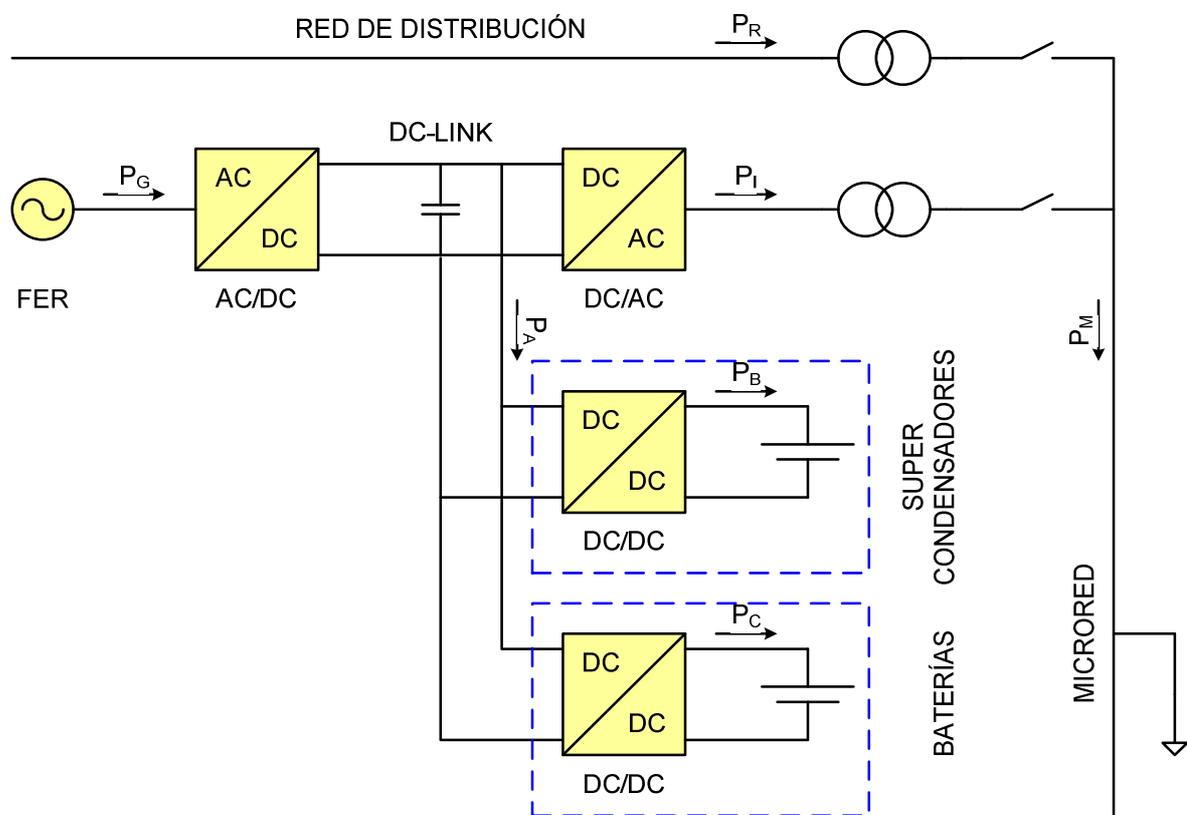


Figura 3.3. Sistema estudiado

Para la planta presentada se va a diseñar y dimensionar un sistema de almacenamiento utilizando las tecnologías descritas anteriormente. Dicho dimensionamiento se va a realizar en base a las especificaciones de carga y descarga máxima en el almacenamiento, y también al tiempo durante el que puede ser descargado a la potencia nominal. Esta especificación es típica cuando el dimensionamiento del sistema se basa en el mantenimiento de la potencia de la microred con independencia de la red de distribución.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

Otro requerimiento para el diseño es el de poseer un tiempo de actuación lo suficientemente rápido como para garantizar que el sistema responde adecuadamente ante cambios bruscos del flujo de potencia, asegurando calidad en la microred, de forma que sea capaz de proporcionar la demanda de la carga en todo momento.

Como se ha indicado con anterioridad, se pretende diseñar un sistema de almacenamiento híbrido basado en supercondensadores y baterías, los cuales han sido marcados con trazo discontinuo en la Figura 3.3. Cada tipo de almacenador conlleva a su propio convertidor de potencia, los cuales trabajarán en paralelo para captar o suministrar la potencia total de almacenamiento comandada por el sistema supervisor. El subsistema asociado a los supercondensadores permite cargarse con los picos de generación, o suministrar picos de demanda, en breves intervalos de tiempo. En complemento, el subsistema de baterías se encarga de dar o recibir la potencia en régimen permanente.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

3.1. Especificaciones de diseño

Diseño de un sistema de almacenamiento para un sistema de 30kVA de potencia nominal capaz de trabajar de manera aislada suministrando la potencia nominal durante una hora de servicio, en condiciones de generación nula de la fuente de energía renovable, con independencia de la red de distribución.

Por otro lado, el sistema debe poseer un tiempo de actuación lo suficientemente rápido como para garantizar la calidad en la microred, de forma que sea capaz de proporcionar la demanda de la carga en todo momento.

Como se explicó anteriormente, el sistema de almacenamiento tendrá su conexión al dc-link del sistema. La tensión nominal de este bus es de 700V, siendo 650V la mínima tensión de funcionamiento y 750V la máxima. Los convertidores de potencia implementados son los encargados de permitir y controlar el flujo de potencia, y de la adaptación de tensión entre el mencionado bus y el rango de tensiones de trabajo de los almacenadores de energía.

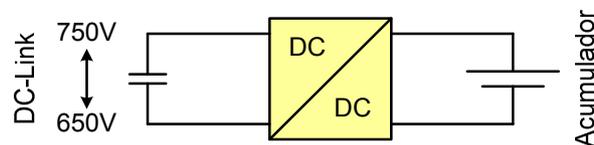


Figura 3.4. Convertidores de potencia

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

3.2. Escenarios de funcionamiento

A continuación se van a describir los principales modos de funcionamiento de estos sistemas:

- 1) Potencia generada por la fuente de energía renovable mayor que la potencia requerida por la carga.
 - a) Posibilidad de almacenamiento: El sistema de almacenamiento se carga con la potencia en exceso generada. El sistema de generación funcionará en su punto de máxima potencia.
 - b) Imposibilidad de almacenamiento: El sistema de almacenamiento se encuentra al límite de su capacidad de almacenamiento. El sistema global de control modificará el punto de funcionamiento de la fuente de generación para que ésta sólo produzca la potencia requerida por la carga.

- 2) Potencia requerida por la red mayor que la potencia generada por la fuente de energía renovable.
 - a) Posibilidad de suministro: El sistema de generación funcionará en su punto de máxima potencia y el sistema de almacenamiento se encargará de suministrar la potencia restante para abastecer la demanda de la carga.
 - b) Imposibilidad de suministro: El sistema de almacenamiento se encuentra sin capacidad suficiente para el suministro de potencia, por lo que el conjunto FER y almacenamiento no es capaz de abastecer la demanda de la carga. Ante ello se procederá a la conexión del sistema con la red de distribución, hasta que se vuelva a poseer capacidad de suministro ante la potencia demandada.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

4. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

En este apartado se dimensionarán los dispositivos acumuladores de energía para cubrir las especificaciones e integración en la planta estudiada. El citado dimensionamiento se realizará para la situación más desfavorable: demanda máxima de la carga en condiciones de fuente de energía renovable nula. Se necesitará, por tanto, un backup de energía capaz de suministrar la potencia nominal durante al menos una hora de funcionamiento en isla, como se han marcado en las especificaciones de diseño.

El sistema de almacenamiento, por tanto, deberá ser capaz de suministrar una potencia de 30kW a la carga en estas condiciones. Estimando un rendimiento aproximado del convertidor del 90%, la potencia nominal de dicho sistema sería:

$$P = \frac{P_N}{\eta} = \frac{30kW}{0,90} = 33,33kW$$

A la vista del cálculo, cada convertidor de potencia se dimensionará para 35kW como potencia nominal.

En este sistema híbrido de almacenamiento, el banco de supercondensadores debe almacenar la energía necesaria para responder ante los picos de potencia (variaciones en la carga, fuente renovable, transitorios, etcétera); y las baterías deben almacenar la energía necesaria para mantener la potencia en régimen permanente. Por ello, se dimensionarán ambos subsistemas por separado.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

4.1. Sistema de Supercondensadores

El cálculo de capacidad de energía en un supercondensador responde a la siguiente expresión:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (V_1^2 - V_2^2)$$

Siendo V_1 y V_2 las tensiones que marcan la profundidad del almacenamiento. Para el diseño de la energía total almacenada, V_1 sería la tensión nominal del supercondensador y V_2 la tensión mínima de diseño admisible del mismo.

Se diseñará el almacenamiento de supercondensadores para abastecer la carga durante varias puestas en funcionamiento del sistema de baterías. Según especificaciones de las mismas, las baterías tienen un tiempo de respuesta de 3 segundos para dar la potencia nominal desde reposo, es decir, entregarían una rampa ascendente de potencia desde cero hasta la potencia nominal en el tiempo indicado.

La especificación de diseño para el banco de supercondensadores será la capacidad de energía para suministrar la potencia restante en al menos 10 puestas en funcionamiento. Ello supone una entrega de 10 veces la potencia de una rampa descendente desde condiciones nominales hasta reposo en 3 segundos.

La energía de almacenamiento necesaria responde al siguiente cálculo:

$$E = 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot P_N \cdot t = 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot 35kW \cdot 3 = 525kJ$$

Se ha tomado un módulo supercondensador del catálogo de **MAXWELL®**, modelo **BMOD0063 P125**. Las características más relevantes son:

- Capacidad = 63 F
- Tensión nominal = 125 V
- Corriente nominal = 150 A
- Rendimiento a corriente nominal = 98 %

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

Según potencia y topología del convertidor, para obtener tensiones y corrientes de funcionamiento, y capacidad de almacenamiento, se colocarán 3 módulos en serie, permitido por el fabricante. La tensión máxima del conjunto sería 375V.

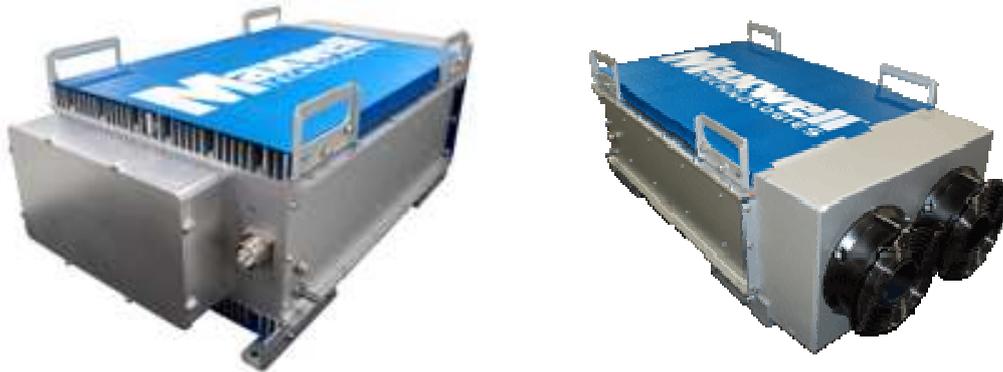


Figura 3.5. Módulo supercondensador BMOD0063 P125

Se ha tomado como tensión nominal de diseño 350V, y como tensión mínima de funcionamiento, 250V. Por tanto, la energía almacenada en este rango sigue la siguiente expresión:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C_{eq} \cdot (V_1^2 - V_2^2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{63}{3} \cdot (350^2 - 250^2) = 630kJ > 525kJ / \eta_c = 535,71kJ$$

Como se puede comprobar, se tiene el almacenamiento requerido teniendo en cuenta el rendimiento de los dispositivos (η_c). No obstante, debe verificarse que el dispositivo es capaz de entregar la potencia requerida para la mínima tensión de funcionamiento. En la siguiente expresión se comprueba.

$$P_{V_{\min}} = V_{\min} \cdot I_{nom} = 250 \cdot 150 = 37,5kW > 35kW$$

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

El subsistema formado por la bancada de supercondensadores en conjunto con su correspondiente convertidor de potencia se muestra en la Figura 3.6, en el cual se han indicado los rangos de tensiones y corrientes de funcionamiento del equipo. Como puede comprobarse, se cumplen los requerimientos impuestos en el Apartado 3.1.

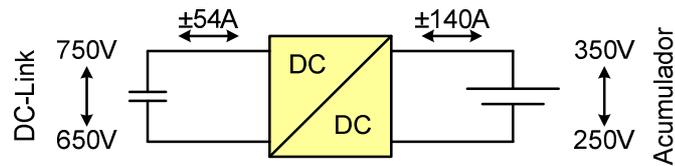


Figura 3.6. Subsistema de supercondensadores

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

4.2. Sistema de Baterías

Por otro lado, procediendo con el diseño del almacenamiento en las baterías, se necesitaría la siguiente capacidad de energía:

$$E = P_N \cdot t = 35kW \cdot 1h = 35kWh = 126MJ$$

Se necesita un banco de baterías con dicha capacidad, capaz de entregar la potencia de 35kW. El banco será una asociación serie/paralelo de baterías individuales para conseguir tensiones de funcionamiento, potencia y capacidad de diseño.

Se han tomado baterías de litio industriales de la marca **GS YUASA**, modelo **LIM80**. Sus características más importantes son:

- Capacidad = 80 Ah
- Tensión nominal = 3.8 V
- Corriente nominal de carga = 240 A
- Corriente nominal de descarga = 400 A
- Rendimiento a corriente nominal = 95 %

Si $\overline{V}_C = 3.7V$ es la tensión media de la batería en su carga o descarga; y $C_C = 80Ah$, su capacidad, la energía almacenada en la misma sigue la siguiente expresión:

$$E_C = \overline{V}_C \cdot C_C = 3,7V \cdot 80Ah = 296Wh$$

Para una asociación de 140 baterías, se tendría la energía requerida. Ello se haría mediante la asociación en paralelo de 2 grupos de 70 baterías en serie. La energía total del almacenamiento sería, por tanto:

$$E = n \cdot E_C = 140 \cdot 296Wh = 41,44kWh = 149,18MJ > 126MJ / \eta_b = 132,63MJ$$

A la vista del resultado se verifica la capacidad de almacenamiento para la especificación de diseño, suponiendo un sobredimensionamiento del 10% aproximadamente.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN MICROREDES ELÉCTRICAS
	AUTOR: Isaac Gil Mera
	TUTOR: Sergio Vázquez Pérez

Para esta asociación de baterías se ha tenido en cuenta el compromiso con las tensiones y corrientes de funcionamiento, la potencia y topología del convertidor. Según la caracterización proporcionada por el fabricante de estos dispositivos, la tensión nominal de la bancada (70 baterías en serie) en carga completa sería de 300V. En descarga total, esta tensión bajaría hasta los 250V.



Figura 3.7. Baterías de litio GS YUASA LIM40/80

En la siguiente expresión se comprueba que el dispositivo es capaz de recibir o entregar la potencia requerida para la mínima tensión de funcionamiento. El funcionamiento en carga supone el peor caso, para el cual se realiza el cálculo.

$$P_{V_{\min}} = V_{\min} \cdot I_{\text{nom}} = 250 \cdot 2 \cdot 240 = 120\text{kW} > 35\text{kW}$$

En la Figura 3.8 se han indicado los rangos de tensiones y corrientes de funcionamiento del equipo. Como puede comprobarse, se cumplen los requerimientos impuestos en el Apartado 3.1.

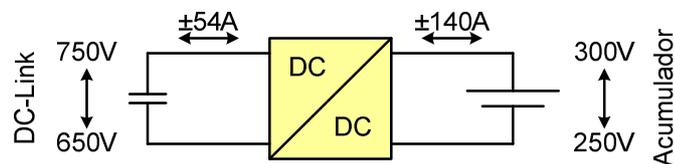


Figura 3.8. Subsistema de baterías