



**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 1. INTRODUCCIÓN



	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. MICROREDES Y FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

El estudio de sistemas de generación distribuida de energía eléctrica (GD) es en la actualidad uno de los campos en los que se están invirtiendo los mayores esfuerzos, tanto en recursos humanos como financieros, por parte de gobiernos y compañías eléctricas. Esto es debido, a que la integración en la red eléctrica de distribución de los recursos procedentes de las energías renovables ha propiciado el auge de pequeños sistemas de generación, que se conectan a un sistema de generación centralizado acarreado nuevas problemáticas que deben ser estudiadas y solventadas para poder realizar esta integración con éxito [1] [2].

Debido a todo ello aparece el concepto de microred. Se trata de pequeños sistemas inteligentes de distribución eléctrica autogestionados localmente, de forma que podrían funcionar tanto conectados a la red pública de distribución como aislados de la misma. Las microredes eléctricas están siendo ampliamente investigadas y comienzan a ser implementadas [3] [4]. Éstas podrían suponer una pequeña revolución energética en la que los consumidores y el medio ambiente serían sus principales beneficiarios.

Las microredes permiten una mayor calidad del suministro, un mayor ahorro y una menor dependencia de la red de distribución, ya que se controla más el consumo y se optimizan los elementos del sistema. Además, la mayor cercanía entre las fuentes de generación y la demanda, y el aprovechamiento en red de los diversos sistemas de energía y calor aumentan considerablemente la eficiencia energética del conjunto. Otra ventaja de estos sistemas es la reducción de los costes de distribución al encontrarse las fuentes de generación y las cargas más cercanas.

Una microred implica también utilizar la energía de forma descentralizada, lo que reduce la dependencia hacia la red de distribución eléctrica convencional. Ello también permite llevar energía eléctrica donde antes era inviable, funcionamiento en isla, independiente de la red.

Por otro lado, en situaciones de fallo de la red de distribución, los usuarios pueden ser desconectados de la misma y abastecidos mediante el propio sistema. Por ello, la red pública se beneficiaría también de estas microredes, ya que apoyarían su operación. También, los cambios en la regulación del mercado eléctrico y el avance tecnológico de los

	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

pequeños sistemas de generación eléctrica crearán nuevas oportunidades de negocio para las distribuidoras actuales o para nuevas iniciativas relacionadas con la implantación, gestión y mantenimiento de las microredes.



Figura 1.1. Aprovechamiento de fuentes de energía renovable

La generación de energía eléctrica basada en energías renovables está tomando cada vez más importancia, interés y necesidad [5]. En la actualidad, el aporte de energía de dichas fuentes a la generación global se encuentra en torno al 20%. Hasta el momento, dicho aporte se venía haciendo por medio de inyección de corriente en fase con una tensión impuesta por la red de distribución. Actualmente, como en el caso de los aerogeneradores, se comienza a inyectar también potencia reactiva. Este aporte energético viene condicionado por la naturaleza intermitente de la fuente de energía en cuestión. En ocasiones se dispone de elevadas puntas de producción de energía y, en otros casos, tasas bajas o incluso nulas. Todo ello hace que un sistema de distribución no pueda depender en gran parte de sistemas de generación basada en energías renovables, o al menos, de esta forma.

	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. NECESIDAD DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Dada la importancia que está adquiriendo el aprovechamiento de Fuentes de Energía Renovable (FER) en sistemas de generación distribuida, microredes o redes de distribución, es primordial el estudio de la integración de éstas de la manera más eficiente posible.

Debido al carácter intermitente, variable e impredecible de estas fuentes de energía, se hace interesante y a la vez necesario el uso de sistemas de almacenamiento, para poder integrar un sistema de generación de energía eléctrica más robusto, autónomo, fiable y competitivo. Los sistemas de almacenamiento integrados en sistemas de generación con fuentes de energía renovable dotan de mayor autonomía y robustez a los mismos, absorbiendo la energía producida desde fuentes de energía renovable intermitentes, y liberándola en los momentos de mayor demanda, elevado coste de generación o cuando no existe otra fuente de energía disponible.

Estos acumuladores permiten disponer de una reserva de energía, proveniente en principio de la fuente renovable, de forma que siempre se disponga de un backup de energía, permitiendo abastecer una demanda de potencia mayor que la producida mediante la FER.

Además, ante un posible fallo de la red de distribución, la microred puede desconectarse de ésta y abastecer a las cargas que tiene conectadas mediante la fuente de energía renovable en conjunto con un sistema de almacenamiento. Ello permitiría no dejar de abastecer la microred y facilitar la recomposición del sistema de distribución primario sin desaprovechar la energía aportada por la fuente de energía renovable.

Por tanto, los sistemas de generación mediante energías renovables que incorporan almacenamiento permiten gestionar la energía generada por la fuente renovable de una forma más óptima, aumentando la disponibilidad de éstas. Además, estos sistemas pueden ser capaces de mantener la potencia en una microred ante fallos de la red por lo que aumentan la fiabilidad del sistema global. Igualmente, estos sistemas están capacitados para proporcionar protección contra las perturbaciones de tensión en la red eléctrica reduciendo la distorsión armónica y eliminando los huecos de tensión. Todas estas ventajas hacen que la integración de los sistemas de almacenamiento en estos sistemas de

	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

generación sea indispensable para una gestión adecuada y óptima de la energía en una microred.

3. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Los acumuladores de energía, como su propio nombre indica, permiten almacenar energía en alguna de sus formas, para poder ser utilizada posteriormente en alguna operación que la requiera. De esta manera se consigue desacoplar la generación de energía de la demanda de la misma. Asociados a un sistema eléctrico, estos dispositivos permiten mejorar su eficiencia, fiabilidad y coste, absorbiendo la energía producida bien desde la red, durante los valles de demanda o de bajo coste de generación, o bien desde fuentes de energía renovables intermitentes, y liberándola en los momentos de mayor demanda, elevado coste de generación o cuando no existe otra fuente de energía disponible.

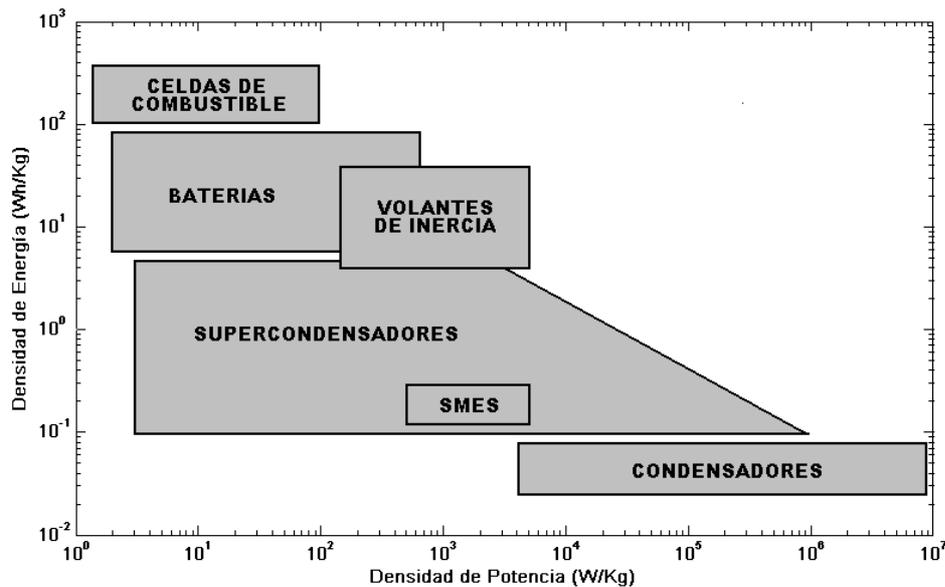


Figura 1.2. Diagrama de Ragone

El almacenamiento energético abarca diversas tecnologías más o menos desarrolladas hasta la fecha como son las baterías electroquímicas, los supercondensadores (double-layer capacitors), almacenamiento magnético superconductor (SMES), almacenadores cinéticos de energía (volantes de inercia o flywheels), almacenamiento por aire comprimido (CAES), hidroelectricidad bombeada (pumped hydropower) [6]. Para comparar estos múltiples

	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

sistemas se utilizan los conceptos de densidad energética (energía/masa) y densidad de potencia (potencia/masa), con los que se evalúa la capacidad de almacenar y de intercambiar energía por unidad de masa del acumulador respectivamente.

En la Figura 1.2 se muestra el diagrama de Ragone donde se sitúan los diversos dispositivos de almacenamiento comentados anteriormente en función de dicha caracterización [7].

Los dispositivos de almacenamiento de energía se utilizan básicamente para cuatro propósitos [8]:

- Aumentar la eficiencia de los sistemas eléctricos, al reducir la necesidad de generación de respaldo, suministrando los picos de potencia en la demanda diaria.
- Aumentar la fiabilidad del sistema, al reducir las posibilidades de corte de suministro.
- Aumentar la disponibilidad de fuentes renovables (energía solar, eólica...)
- Aumentar la eficiencia y el uso racional de la energía en procesos industriales.

Existen multitud de tecnologías de almacenamiento de energía. A continuación se citan y explican brevemente las más utilizadas actualmente:

Baterías Electroquímicas

Las baterías electroquímicas consisten en dispositivos acumuladores de energía eléctrica mediante procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad. Este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces, dado por la vida útil del dispositivo. Se trata de un generador eléctrico secundario; es decir, un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga. Existen diversos tipos de baterías con distintas características, acumuladores de plomo, baterías alcalinas de manganeso, níquel-cadmio,

	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

níquel-hidruro metálico, de iones litio, polímero de litio, etc; con densidades de energía entre 30 y 130 Wh/Kg. [9]



Figura 1.3. Baterías Electroquímicas

Supercondensadores de Doble Capa

Los supercondensadores de doble capa son condensadores electroquímicos con una densidad de energía inusualmente alta en comparación con los condensadores convencionales, generalmente miles de veces mayor que un condensador electrolítico de alta capacidad. Son dispositivos de almacenamiento de energía con una capacitancia mayor a un faradio, pudiendo llegar a hasta miles de faradios. Estos dispositivos poseen una densidad de energía máxima de hasta 30 Wh/Kg. [10]



Figura 1.4. Supercondensadores de Doble Capa

	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

Almacenamiento Magnético en Superconductores (SMES)

Se denomina superconductividad a la capacidad intrínseca que poseen ciertos materiales para conducir corriente eléctrica con resistencia y pérdida de energía nulas en determinadas condiciones. El almacenamiento de energía magnética por superconducción (SMES) designa un sistema de almacenamiento de energía que permite almacenar ésta bajo la forma de un campo magnético creado por la circulación de una corriente continua en un anillo fabricado por material superconductor refrigerado a una temperatura por debajo de la temperatura crítica de superconductividad. [11]

Volantes de Inercia

Los acumuladores de energía basados en volantes de inercia almacenan la electricidad en forma de energía cinética. Estos sistemas se basan en la inercia mecánica de un disco que gira alrededor de un eje cuya energía cinética es aumentada o disminuida según se aumente o reduzca su velocidad de giro. El funcionamiento se basa en la transferencia de energía eléctrica para cargar o descargar el volante mediante una máquina eléctrica, según ésta funcione como motor o como generador. Como motor, la energía eléctrica suministrada al bobinado del estator es convertida en un par aplicado al rotor del volante. Cuando trabaja como generador, la energía cinética almacenada en el volante aplica un par a la máquina, la cual la convierte en energía eléctrica. [11]

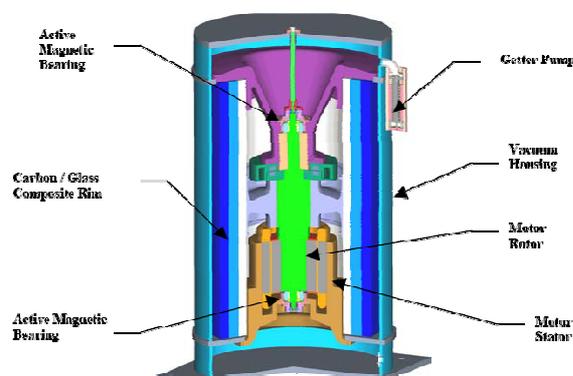


Figura 1.5. Volantes de Inercia

	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

Almacenamiento por Aire Comprimido (CAES)

Las instalaciones de CAES funcionan como dispositivos acumuladores de energía. Unos potentes motores eléctricos manejan los compresores que comprimen el aire, normalmente en una formación geológica subterránea; ya sea durante los períodos de tiempo en que el uso y coste de la electricidad es menor, o por la disponibilidad de energía eléctrica en un proceso de producción. Cuando se necesita de esa energía almacenada, el aire precomprimido es utilizado en turbinas de combustión modificadas para generar electricidad. Todavía se necesita gas natural u otros combustibles fósiles para hacer funcionar las turbinas, pero el proceso es más eficiente, con un ahorro de hasta un 50% de dicho carburante. [12]

Almacenamiento por Hidroelectricidad Bombeada

Una central hidroeléctrica reversible es una central hidroeléctrica que además de poder transformar la energía potencial del agua en electricidad, tiene la capacidad de hacerlo a la inversa, es decir, aumentar la energía potencial del agua (por ejemplo subiéndola a un embalse) consumiendo para ello energía eléctrica (electricidad de almacenamiento por bombas). De esta manera puede utilizarse como un método de almacenamiento de energía. Están concebidas para satisfacer la demanda energética en horas pico y almacenar energía en horas valle. [13]

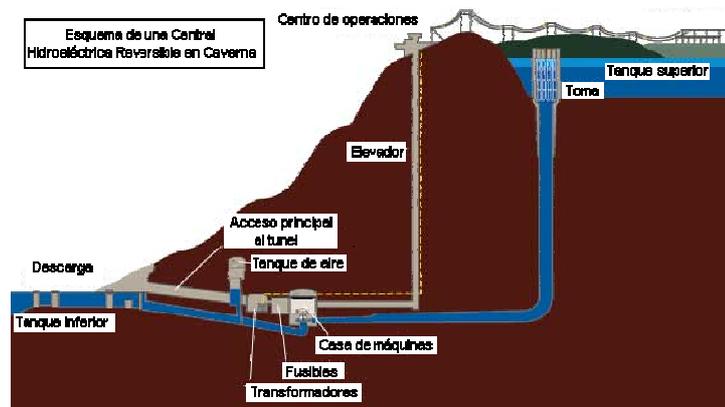


Figura 1.6. Almacenamiento por Hidroelectricidad Bombeada

	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. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos planteados en la realización del presente proyecto se indican a continuación:

- Análisis de la necesidad de la incorporación de sistemas de almacenamiento en microrredes.
- Análisis de la integración de un sistema de almacenamiento híbrido basado en baterías y supercondensadores en una microred.
- Definición de las especificaciones del sistema de almacenamiento.
- Diseño hardware del sistema de almacenamiento.

	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

5. REFERENCIAS

- [1] Ribeiro F.Paulo, Johnson K.Brian, Crow L. Mariesa Arsoy A. and Liu Yilu, “Energy Storage systems for Advanced Power Applications” Proceedings of the IEEE, Vol.89, No.12, 2001.
- [2] Energy Information Administration U.S. Department of Energy Washington, DC 20585, “International Energy Outlook 2008”, September 2008.
- [3] R. Lasseter, A. Akhil, “The CERTs microgrid concept”, 2002.
- [4] R. H. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson, A. S. Meliopoilous, R. Yinger, and J. Eto, “Integration of Distributed Energy Resources–The CERTS MicroGrid Concept”, CERTS white paper, April 2002.
- [5] P.J. Binduhewa, A.C. Renfrew, M. Barnes, “MicroGrid Power Electronics Interface for Photovoltaics”, the 4th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 2008.
- [6] IEEE P1679™/D10 “Draft Recommended Practice for the Characterization and Evaluation of Emerging Energy Storage Technologies in Stationary Applications”, IEEE P1679/D10, November 2008
- [7] Tester, J. et al., “Sustainable Energy: Choosing Among Options”. MIT Press, 2005
- [8] EUR 19978 Brochure, “Energy Storage A Key Technology for Decentralized Power, Power Quality and Clean Transport”, 2001.
- [9] Corder, Gregory W., “Using an Unconventional History of the Battery to Engage Students and Explore the Importance of Evidence”, Virginia Journal of Science Education, vol1, Retrieved 7 August 2008.
- [10] Richard Hope, “UltraCaps win out in energy storage”, Railway Gazette International, July 2006
- [11] A. M. Wolsky, “The status and prospects for flywheels and SMES that incorporate HTS”, 2002.

	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

[12] “Distributed Energy Program: Compressed Air Energy Storage”, United States Department of Energy, Retrieved 2006.

[13] ESA, “Pumped Hydro Storage”.

http://www.electricitystorage.org/site/technologies/pumped_hydro/