

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Universidad de Burgos



**SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA
BASADO EN LA SUPERCONDUTIVIDAD PARA LA
ESTABILIZACIÓN DE MICROGRID POR
CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN DE CARGAS,
SISTEMA SMES**

ANEJO Nº 2: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA**

AUTOR:

RUBÉN ARCE DOMINGO

TUTOR:

CARMELO LOBO DE LA SERNA

JUNIO DE 2019



ANEJO 2: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA.....	3
1. CAUSAS Y EFECTOS:.....	3
2. MINI Y MICRO-GRID:.....	4
2.1 Descripción	4
2.2 Diferencias entre mini y microgrid:	4
2.3 Clasificación y principio de funcionamiento.	5
2.3.1 Sistemas de CC	6
2.3.2 Sistemas de CA	6
2.3.3 Centralizados:	7
2.3.4 Descentralizados:	8
2.4 Composición	8
2.4.1 Generadores	8
2.4.2 Elementos de almacenamiento:	10
2.4.3 Receptores	11
2.5 Ventajas e inconvenientes de las mini y microgrid.....	11
2.5.1 Ventajas.....	11
2.5.2 Inconvenientes	12
3. POSIBLES SOLUCIONES:	13
3.1 Central Hidroeléctrica Reversible	13
3.2 Baterías	14
3.3 SMES	14
3.4 Flywheel o volante de inercia.	14
3.5 Células de combustible	14
3.6 Almacenamiento de energía mediante aire comprimido (CAES)	14
3.7 Supercondensadores/Ultracondensadores	15
4. CONCLUSIÓN.....	15
5. BIBLIOGRAFÍA	18

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS:

<i>Ilustración 1: Minigrid basada en corriente continua.....</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 2: Minigrid basada en corriente alterna</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 3: Comparativa de fuentes de almacenamiento en función de su energía... ..</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 4: Comparativa entre fuente de almacenamiento con respecto a su velocidad de descarga.....</i>	<i>17</i>
 <i>Tabla 1: Comparativa entre minigrid y microgrid.....</i>	 <i>5</i>
<i>Tabla 2: Influencia de la velocidad del viento en minigrid eólica.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 3: Comparativa sistemas de almacenamiento.....</i>	<i>15</i>



ANEJO 2: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

1. Causas y efectos:

Uno de cada tres kilovatios generados durante 2017 ha salido a través de una fuente de energía renovable. El aumento de las fuentes de energía renovables es una realidad, inagotables, limpias y no contaminantes.

Los cambios sociales y tecnológicos, así como los objetivos de sostenibilidad suponen un reto para el sector energético, esto sumado al aumento de la generación mediante fuentes renovables y a la creciente demanda energética a nivel mundial nos provoca la necesidad de buscar formas alternativas.

Además del aumento en el consumo de energía eléctrica, se suma el aumento de las cargas electrónicas sensibles con necesidades de potencia mucho mayores.

Debemos evolucionar el sistema tradicional caracterizado por las centrales energéticas situadas a varios kilómetros de las ciudades, a un sistema de suministro de energía local e independiente basado en múltiples fuentes de energía, entre ellas las renovables.

La tendencia más predominante en la actualidad es el concepto de microgrid o minigríd. Son unidades autónomas de gestión distribuida de energía, estas forman parte de un mismo sistema de gestión y consumo.

Las fuentes de energía renovables dentro de una microgrid presentan un inconveniente, y este es su poca uniformidad en la generación, es decir, se producen a lo largo del día momentos de gran producción de electricidad, así como momentos únicamente de consumo.

Un ejemplo claro son las células fotovoltaicas, las cuales generan su pico de potencia al mediodía y por la noche no producen energía. Este hecho dado en la mayor parte de energías renovables nos produce la necesidad de almacenar de alguna forma estos gradientes esporádicos de energía.

Además de esta producción y almacenamiento interrumpido se hace necesario una estabilidad en los sistemas de potencia.

La estabilidad energética en una red es la capacidad del sistema de mantener un estado de equilibrio en presencia de perturbaciones inesperada que tiendan a desequilibrarla.

El objetivo es que, al producirse un pico de potencia, este se absorba y almacene sin alterar la red. Cuando ocurra una disminución o caída del consumo, este se pueda ceder a la red de vuelta y mantener la tensión de consigna.



Las micro o minigríd consiguen llevar a cabo este proceso de una forma eficiente, estable y fiable.

2. MINI Y MICRO-GRID:

2.1 Descripción

La distribución energética siempre ha sido el mayor problema para el desarrollo de las poblaciones, las zonas rurales o territorios muy despoblados de países con graves problemas de desarrollo socio económico.

En solución al problema de hacer llegar energía a estos colectivos surge el concepto minigríd. Las también llamadas microrredes surgen como alternativa a los sistemas de electrificación individuales.

Con este nuevo sistema mejoramos la incorporación de las energías renovables y la mejora de la estabilidad de la red ante conexiones y desconexiones de usuarios locales.

La propia página <http://www.smartgrids.eu> la define como:

“una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de los usuarios conectados en ella (quienes generan electricidad, quienes consumen y quienes realizan ambas acciones) para proporcionar un suministro de electricidad seguro, económico y sostenible” (Asociación European Technology Platform on SG (Smart Grids) , 2017, p1)

Cuando se comenzó a emplear el concepto se inició añadiendo un grupo electrógeno como elemento de seguridad, para dar potencia o para evitar disponer de un costoso sistema de baterías.

Posteriormente se incorporaron pequeños aerogeneradores o placas solares donde había recurso de viento para complementar el abastecimiento energético, y poco a poco, se fue creando el concepto de lo que hoy denominamos microrred, entendiéndose como tal la generación híbrida de la propia red de distribución.

2.2 Diferencias entre mini y microgrid:

Se suele hablar de minigríd o microgrid para determinar al conjunto de la generación más la distribución eléctrica y el consumo. Se utilizan uno o varios tipos de generadores, todos ellos basados en energía renovables habitualmente.



Este tipo de gestión energética se percibe como una posible sustitución de los sistemas tradicionales de distribución eléctrica, ya que evitaría pérdidas y facilitaría la estabilidad y mantenimiento de los sistemas de distribución clásicos.

Esto ocurre en gran medida debido al abaratamiento de precios que en la actualidad gozan algunas de las tecnologías renovables, estas suelen acompañarse de grupos electrógenos como apoyo en el caso de que las energías renovables no abarcaran la demanda.

Las mini o micro redes se diferencian en la cantidad de potencia que pueden generar, si la red no supera los 100 kW hablamos de microgrid, por el contrario, si los supera estaremos ante una minigrid.

En la siguiente tabla se compara ambos sistemas, el apartado de clasificación se tratará más adelante en mayor detalle.

Rango de Potencias	Sistema de red	Fuente de generación	Clasificación de distribución
< 500 W	Sistema autónomo individual	Fotovoltaica	CC o CC+CA
> 0,5 y < 10 kW			CA
> 10 y < 100 kW	Microgrid	Fotovoltaica, aerogeneradores y grupo electrógeno	CA, generación centralizada
> 100 kW	Minigrid	Fotovoltaica, aerogeneradores y grupo electrógeno y otras fuentes renovables	CA, generación descentralizada

Tabla 1: Comparativa entre minigrid y microgrid

2.3 Clasificación y principio de funcionamiento.

Se pueden clasificar en función del tipo de tensión que se utilice en sistema de CA o en sistemas de CC.

La elección del tipo de corriente que se use depende en gran medida de las tecnologías y de la estrategia de gestión de la energía.



Mientras que la generación fotovoltaica y las baterías funcionan en CC, otras tecnologías de generación, como son los grupos electrógenos, mini eólica o pequeñas centrales hidroeléctricas, generan únicamente CA.

2.3.1 Sistemas de CC

Se utilizan habitualmente en redes más pequeñas y con un número de usuarios no muy numeroso ni distante entre sí.

En esta configuración vemos como las fuentes generadoras producen electricidad en CC que es almacenada en una batería.

La tensión de la batería se descarga en un inversor que permite generar una tensión alterna de 50 Hz necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de las viviendas.

El sistema de control es sencillo y solo gobierna el arranque del grupo electrógeno en caso de necesidad puntual de energía, se encuentra aislado del consumo. Este tipo de sistema es sencillo y bastante fiable.

Diseñados para pequeñas redes de distribución con consumos estandarizados y controlados.

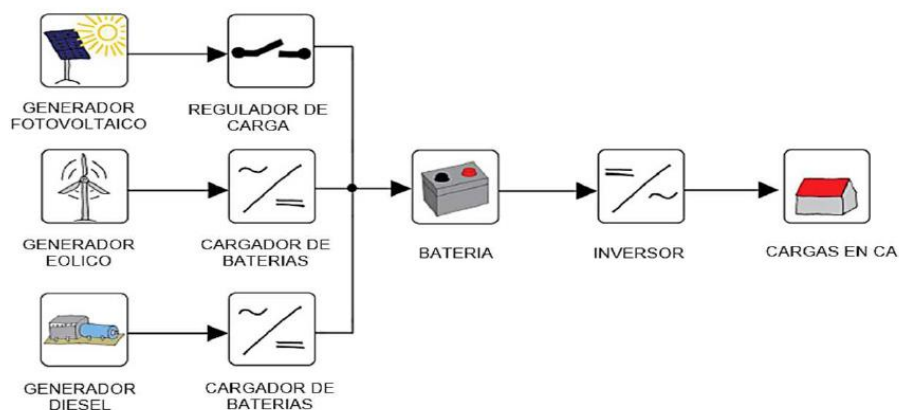


Ilustración 1: Minigríd basada en corriente continua (Alaminos, J., Alcor, Estudio sobre las microrredes)

En la imagen podemos ver un esquema típico de una microgrid de corriente continua.

2.3.2 Sistemas de CA

Este tipo de distribución se emplea cuando hay un mayor número de conectados a la red de distribución y además están más alejados los unos de los otros. Permiten amplificación e incorporaciones de nuevos generadores.



Esta distribución es la más compleja pero versátil de todas. Necesita de un mayor control que asegure el perfecto funcionamiento del arranque y paro del grupo electrógeno.

El control debe dar prioridad a la generación por fuentes renovables y a la descarga de la batería para soportar gradientes de consumo temporales.

Estos sistemas son más delicados y requieren un mayor mantenimiento, por lo que el personal necesario será mucho más cualificado.

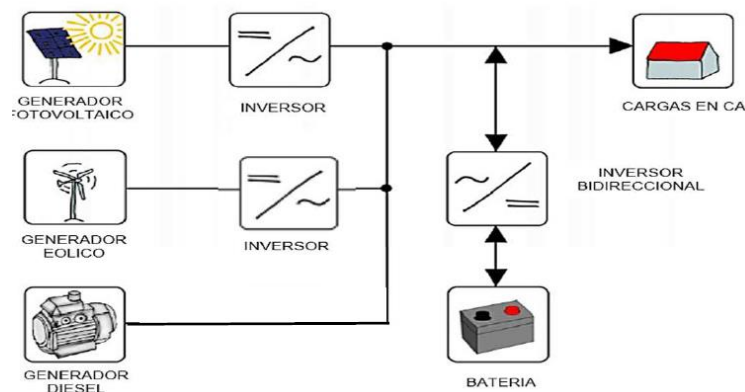


Ilustración 2: Minigríd basada en corriente alterna (Alaminos, J., Alcor, Estudio sobre las microrredes)

Otra clasificación posible es aquella en función del tipo de sistemas de generación, puede ser centralizado o descentralizado.

2.3.3 Centralizados:

- Existe un controlador que se encarga de comunicar y actuar sobre el resto de los sistemas locales. De esta forma los usuarios no deben preocuparse de nada.
- Los consumidores individualmente no gestionan su red, por lo que los elementos prioritarios vienen determinados por el colectivo de la microgrid.
- Son más económicos que los descentralizados y los beneficiarios de la energía solo disponen de equipos de consumo, puesto que solo existe una unidad generadora global.
- Montaje más sencillo, pero con mucha necesidad de mantenimiento, gestión y control.
- Permiten diseñarse para abastecer usos de la comunidad como el alumbrado público o el bombeo de agua.
- Distribuye la energía a través de una red de CA de baja tensión.
- Pueden darse problemas de consumos no controlados que alteran el equilibrio generación-consumo.

**2.3.4 Descentralizados:**

- Cada usuario consumidor y generador es responsable de como gestiona su red y a que da o no prioridad.
- Instalaciones complicadas y caras, se realiza una central de generación por cada consumidor.
- Por esta misma razón es un sistema más fiable y requiere menos gestión técnica.
- Son diseñados a medida para cada consumidor, pero siempre existe la posibilidad de aumentar la instalación en caso de necesidad de consumos mayores.

2.4 Composición

Las partes de las que consta una micro o minigríd son en primer lugar los generadores, que transforman la energía de un tipo a otro aprovechable.

En segundo lugar, el sistema de almacenamiento para guardar la energía transformada para los momentos en los que el consumidor la necesite.

Y por último el propio consumidor, quien simplemente es el beneficiario del proceso.

2.4.1 Generadores**Energía solar fotovoltaicos:**

Permite generar energía eléctrica en el lugar en el que tiene que ser consumida, sin necesitar de costosas infraestructuras de distribución eléctrica.

Por esta razón se puede dar en territorios muy despoblados de países con problemas de desarrollo o en sitios remotos con independencia absoluta.

No necesita aporte de combustible, precisa de muy poco mantenimiento y tiene una vida que supera los 30 años.

Esta infraestructura permite ser dimensionada para los consumos necesarios e incluso puede ser ampliada posteriormente para adaptarse a los requerimientos energéticos que pueden desarrollarse a largo plazo.

Podríamos decir que energía fotovoltaica es quizá la gran alternativa para resolver problemas de injusticia energética.

Eólicos:

Este tipo de generación lleva siendo ampliamente empleada por el ser humano a través de los aerogeneradores y consiste en transformar la energía



cinética del viento en energía eléctrica a través de una turbina conectada al eje de un generador.

El mayor problema que presenta la energía del aire, es que debe llevar una velocidad mínima y máxima, sino no podremos aprovechar sus características. En la siguiente tabla se muestran los distintos rangos:

Tabla 2: Influencia de la velocidad del viento en minigríd eólica

Rango de velocidad	Eficiencia
> 4 m/s	Mínima velocidad aprovechable
> 7 m/s	Idónea
> 15 m/s	Excelente
22 m/s	Máxima velocidad aprovechable

Otro inconveniente que debemos tener en cuenta es la influencia de los fenómenos que afectan a nuestra instalación eólica:

- Fenómenos topográficos:

Accidentes topográficos como montañas, valles, cordilleras o llanuras afectan a la proyección del viento pudiendo hacer inservible nuestra generación.

- Elevación del suelo:

El aerogenerador debe encontrarse a una elevación del suelo suficiente puesto que la rugosidad del terreno frena la velocidad del aire reduciendo nuestra eficiencia.

Grupos electrógenos:

Fuente de generación no renovable que consiste en alimentar con gasolina o diesel a un motor de combustión interna acoplado por el eje a un alternador, este es un generador de energía eléctrica de CA.



Su utilización es obligada debido a la inestabilidad de generación que provocan las energías renovables. Generan potencias desde 1kW hasta los 100kW.

La principal ventaja es que tienen poco mantenimiento, son fiables debido a la larga tradición de utilización de la que disponen y a su corto proceso de instalación.

Su principal desventaja es que necesitan de combustibles fósiles para funcionar, con el consiguiente impacto ambiental que esto conlleva, así como su elevado mantenimiento.

Microhidráulica:

Se denomina así a la energía hidráulica de potencias menores de 300kW y consiste en aprovechar un determinado caudal o desnivel para generar energía eléctrica.

La principal ventaja de esta energía es que es barata y robusta, pero se deben dar una serie de condiciones para poder llevarse a cabo.

Estas condiciones en resumidas cuentas es que se encuentre el suficiente desnivel y espacio colindante para poder hacer la instalación. Por otro lado, la selección de las tuberías resistentes a la corrosión, así como el mantenimiento del caudal por cada una de ellas.

En definidas cuentas es una fuente de generación muy asequible y viable si se dan las condiciones. Se emplea en minigríd mayoritariamente.

También se pueden emplear la biomasa y los biocombustibles, pero estas con menos frecuencia que la solar o eólica, las cuales predominan como fuentes generadoras.

2.4.2 Elementos de almacenamiento:

En una instalación solar o eólica disponemos de generadores que se conectan a un regulador de carga que controla y gestiona la carga y descarga de un sistema de almacenamiento.

La evolución de estos sistemas se ha desarrollado en los últimos años. Hay varios sistemas de almacenamiento, el empleado más habitualmente es una batería, pero puede darse cualquier otro como veremos en el apartado de “Posibles soluciones”.



2.4.3 Receptores

Los receptores son los beneficiarios de esta energía generada por los generadores una vez almacenada. Surgen tres grandes problemas dentro de la gestión de los receptores:

- Grandes cargas:

El número o la demanda de cada carga que se conecta a la microgrid tiene mucha influencia en la estabilidad de la red.

- Corrientes de consumo:

Los sistemas de almacenamiento tienen una capacidad limitada para suministrar corriente eléctrica, la impedancia característica de cada carga conectada se ha de tener en cuenta.

- Cargas no lineales:

La conexión de receptores compuestos de elementos cuya función de transferencia sea no lineal provocará desequilibrio.

En definitiva, estos inconvenientes provocarán desequilibrios en los consumos, así como transitorios de potencia que podrían dañar la microgrid si no se gestionan correctamente.

2.5 Ventajas e inconvenientes de las mini y microgrid

2.5.1 Ventajas

Comenzaremos por las ventajas que estas pueden aportarnos:

1. Permiten incrementar la rentabilidad de la generación de la energía eléctrica.
2. Respeto del medio ambiente, en comparación con otros métodos de producción energética, reducen las emisiones de hidrocarburos.
3. Mejoras económicas, muchos estudios afirman que el precio del kWh generado por fuentes tradicionales es más caro que el mismo kWh transformado por una central de energía renovable.



4. Permite separar y aislar cualquiera de los sistemas ya sea por fallo o por perturbaciones en la red de suministro o abastecimiento con muy poca o ninguna interrupción de cargas en las microgrid.
5. Ante el creciente aumento de los precios de la gasolina, los impuestos establecidos al diésel y la disminución de la cantidad de combustibles fósiles en nuestro planeta, se ve necesario buscar formas alternativas. Las microgrid ofrecen esa solución.
6. La ventaja principal es que permite producir energía justo donde se quiere consumir, ahorrando la instalación para transportarla.
7. Permiten llevar la energía a zonas con dificultades, aisladas o con problemas socio culturales.

2.5.2 Inconvenientes

Los principales inconvenientes de las mini y microgrid son:

1. Las fuentes de energía renovables son muy intermitentes e impredecibles por ello se han de mejorar las medidas de seguridad.
2. Una alteración en la frecuencia de la red sería terrible para toda la electrónica conectada a ella. Estos aumentos o disminuciones de frecuencia son debidos a que las microgrid pueden alterar el equilibrio por el cual toda la potencia generada es consumida. Para evitar que esta relación se incumpla, las cantidades de potencia activa y reactiva generada y consumida deberán ser variadas.
3. Si el equilibrio de generación–consumo se rompe, se dará un déficit energético que una vez superado el factor de seguridad, provocará una parada del sistema de microgrid.
La instalación volverá a su estado inicial cuando se consiga recargar la batería e iniciar el ciclo de carga y descarga. Produciéndose cortes para los consumidores.
4. Presenta gran dificultad de resintonización del sistema y mantenimiento con la red de suministro eléctrico.



5. A día de hoy, una microgrid únicamente constituida con generadores de energías renovables es insuficiente para asegurar el suministro de una comunidad.
6. Necesidad de almacenamiento de energía, con lo que esto supone de cara a disminuir el rendimiento de la producción de energía.

En definitiva, vemos que en los sistemas basados en microgrid tenemos, en primer lugar, una generación poco constante de energía, cosa que lleva a tener problemas de abastecimiento.

En segundo lugar, en las microgrid al conectar o desconectar distintas cargas (con distintas impedancias) se producen desequilibrios y picos de tensión que pueden dañar otros equipos o cortar el suministro.

Para solucionar ambos problemas debemos encontrar un sistema que permita almacenar grandes cantidades de energía en un tiempo del orden de segundos, tiempo en el que se producen los picos de potencia que debemos absorber para asegurar la estabilidad de la red.

Esto nos lleva a buscar dentro de todo el abanico de posibilidades de almacenamiento que garanticen la estabilidad.

3. POSIBLES SOLUCIONES:

3.1 Central Hidroeléctrica Reversible

Es una energía renovable muy utilizada, una central hidroeléctrica aprovecha la energía potencial de un salto de agua para girar una turbina acoplada a un generador con el que obtenemos energía eléctrica. El término “reversible” viene de la segunda parte de este tipo de almacenamiento de energía, y es lo que lo distingue de una central tradicional. Existe un sistema de bombeo de agua tal que permite aumentar de nuevo su energía potencial. Este sistema consume energía eléctrica pero la central dispone de una gran cantidad de agua como acumulador y en caso de necesidad esta energía se podría canalizar de nuevo.

Llevando a cabo el almacenamiento de energía en horas valle y la generación de electricidad en horas pico aseguraremos una gran eficiencia.



3.2 Baterías

Existen baterías de todo tipo, desde las pequeñas baterías de Ion-Litio de nuestros móviles hasta las grandes baterías de plomo o gel de nuestros coches. Puesto que este trabajo aborda los consumos de grandes cantidades de energía hablaré de las baterías de altas capacidades. Las ventajas de estas baterías es la mayor duración y capacidad, su ciclo de vida es más largo. El mayor inconveniente es la velocidad de carga y descarga que no es rápida en comparación con otras opciones que se describen a continuación.

3.3 SMES

Sistema de almacenamiento de energía basado en superconductores magnéticos, consiste en cargar una bobina sometida a muy bajas temperaturas y dejar almacenada la corriente en forma de campo magnético. Permite tanto cargas como descargas muy rápidas y tiene un rendimiento cercano al 97%, a diferencia de las baterías su ciclo de vida es infinito.

3.4 Flywheel o volante de inercia.

Es un sistema de almacenamiento de energía cinética, para lo cual se disminuye al máximo las fricciones y se consigue captar energía con un disco de fibra de carbono y de una elevada masa y velocidad. Es un sistema útil en vehículos para suministrar grandes cantidades de energía, al igual que el SMES no tiene un ciclo de vida limitado.

3.5 Células de combustible

Su comportamiento es similar al de una pila, se basa en la generación de energía eléctrica a partir de una reacción química. La diferencia es que se ha de alimentar su reacción electroquímica con combustible y oxígeno, por lo que es una fuente ilimitada y estable. Tiene una eficiencia media y poca alteración del medio ambiente.

3.6 Almacenamiento de energía mediante aire comprimido (CAES)

CAES (*Compressed Air Energy Storage*) consiste en emplear la energía del aire comprimido asociada al presurizarlo en depósitos subterráneos. En baja demanda el aire se compacta y almacena para que en épocas de alta demanda este aire se caliente y se expanda en el interior de una turbina de combustión generando energía eléctrica. Permite almacenar energía durante más de un año.



3.7 Supercondensadores/Ultracondensadores

Con mayor densidad de energía que un condensador normal y una mejor capacidad que uno electrolítico, los supercondensadores son fuentes de almacenamiento que permiten cargas y descargas en tiempos muy rápidos. Su tensión de trabajo es menor también y tienen el fenómeno de la pseudocapacitancia, es decir, consiguen una capacitancia variable en función de la tensión aplicada. Permiten mejorar el factor de potencia de la instalación.

4. CONCLUSIÓN

En la siguiente tabla se muestra una comparativa entre las fuentes de almacenamiento previamente explicadas en las que se ponen en manifiesto los rangos de potencia para los que están destinadas, la eficiencia del mismo y la velocidad en la que permiten cargar o descargarse:

Tabla 3: Comparativa sistemas de almacenamiento

Sistema de Almacenamiento	Rango de potencias	Velocidad de descarga/carga	Eficiencia	Aplicaciones
Central Hidroeléctrica Reversible	300MW	Baja	Media	Reserva de potencia e integración de las renovable.
Baterías	Media/Baja	Baja	Alta	Alimentar electrónica del automóvil
SMES	40 MW	Muy alta, milisegundos	Muy alta	Estabilizador de redes de distribución
Volante de inercia	10 MW	Alta	Media	Transbordadores espaciales y automóviles
Aire Comprimido	35MW-300MW	Media	70/80%	Generación de electricidad
Células de combustible	15kW	Baja	Baja (menor del 60%)	Vehículos eléctricos



Supercondensadores	1kW-30MW	Media	Muy alta	Aplicaciones de altas frecuencias, como apoyo energético y en vehículos híbridos.
---------------------------	----------	-------	----------	---

En vista a la tabla y a la necesidad de mantener la estabilidad de la red eléctrica deducimos que el mejor sistema de almacenamiento es el SMES.

Esta solución es la más viable debido, en primer lugar, a su gran rendimiento seguido de su velocidad de carga/descargas así como por su rango de potencias.

Apreciamos en la siguiente imagen que la relación de kW/kg es mucho mayor en el SMES que en el resto de las alternativas estudiadas. Si bien es cierto que tiene un rango intermedio de Wh/kg, es compensado por su teórico infinito número de cargas y descargas en comparación con una batería.

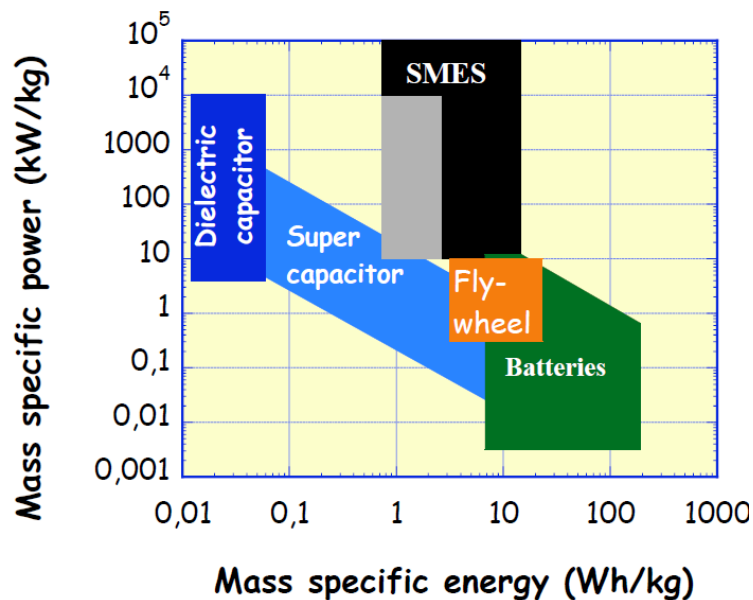


Ilustración 3: Comparativa de fuentes de almacenamiento en función de su energía (Abdel-Akher, M. (2014). Application of Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) for Voltage Sag/Swell)



El sistema basado en almacenamiento de energía en forma de un campo eléctrico permite absorber o ceder energía activa y reactiva. Es considerado un sistema clave para diversas aplicaciones por su gran rendimiento en elevadas potencias.

Desde variadores de frecuencia o control automático de generadores y estabilización de microgrid hasta fuentes de energía ininterrumpidas. El principal uso y el que se le va a dar en este estudio es el de suavizar los picos de potencia y las sobretensiones de una red eléctrica de distribución.

En la siguiente imagen vemos una tabla con la velocidad de descarga de varios de los sistemas de almacenamiento estudiados. Teniendo en cuenta que lo que debemos absorber o ceder son transitorios nos quedan dos posibilidades, o el sistema SMES o los supercondensadores.

Debido a que nuestro rango de potencia dentro de una minigríd estaría entorno a los megavatios descartamos el uso de supercondensadores y optamos por el sistema SMES.

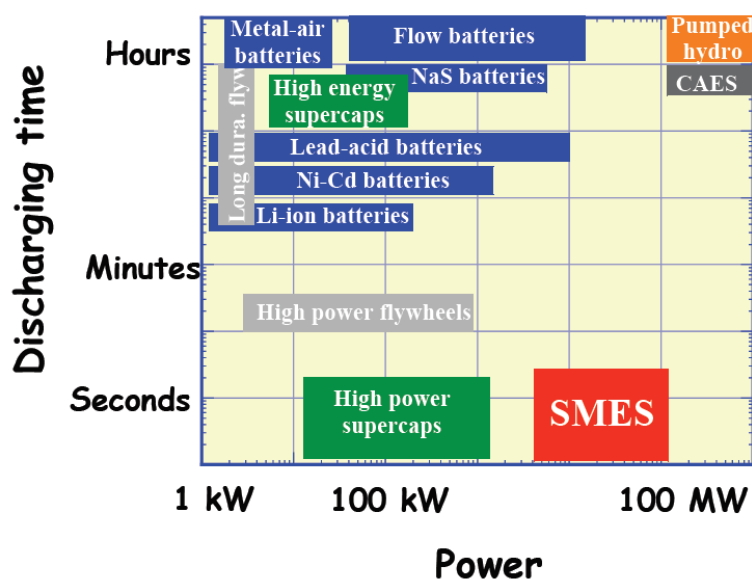


Ilustración 4: Comparativa entre fuente de almacenamiento con respecto a su velocidad de descarga (Abdel-Akher, M. (2014). Application of Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) for Voltage Sag/Swell)

La combinación de fuentes de energía renovables con un sistema de almacenamiento de energía que sea capaz de resolver picos de consumo, transitorios de producción renovable y los escasos consumos nocturnos, ha demostrado ser una solución fiable y de bajo coste.

Por lo tanto, y debido a todo lo expuesto anteriormente, se realizará el estudio del sistema de almacenamiento de energía SMES o Superconducting Magnetic Energy



Storage aplicado a una microgrid en la que se busca asegurar la estabilidad en la red ante la conexión y desconexión de cargas, la elección se desarrollará en el anejo 3.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alaminos, J., Alcor, E., Asensio, M., Bernadó, R., Fernández, L., Gómez, E., Iriarte, L., Labriet, M., Lopez, L., Mejicanos, A. y Peiró, J. J. (2014). *Estudio sobre las microrredes y su aplicación a proyectos de electrificación de zonas rurales*.
- [2] Bosso, J., Oggier, G. y García, G. (2014). *Topología de transformador de estado sólido CC-CA trifásico de una sola etapa*, (pp. 387-392). Argentina.
- [3] Comahue, U. (2013). *Design and Implementation of a Three-Phase DC-AC Converter for Microgrids Based on Renewable Energy Sources*. IEEE Latin America Transactions,, 11(1), (pp. 118-124).
- [4] Guacaneme, J. A., Velasco, D. y Trujillo, C. S. (2014). Revisión de las Características de Sistemas de Almacenamiento de Energía para Aplicaciones en Micro Redes. *Información Tecnológica*, 25(2), (pp. 175-188). (DOI:10.4067/S0718-07642014000200020).
- [5] Gujar, M., Datta, A. y Mohanty, P. (2013). *Smart Mini Grid: An Innovative Distributed Generation based Energy System*.
- [6] Junzhen, P. S. (2018). Application of Superconducting Magnetic Energy Storage in Microgrid Containing New Energy. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, (pp. 1-12).
- [7] Kimiai Asadi, A. M.-N. (2017). A new controlled superconducting magnetic energy storage for dynamic stabilization of distributed generation in islanding mode of operation. *WILEY*, 2418(27), (pp.1-21). (DOI:10.1002/etep.2418). Recuperado de: wileyonlinelibrary.com/journal/etep.
- [8] Luongo, C. (2011). *SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage)*. (pp. 1-32).
- [9] Medina, R. (2014). Microrredes basadas en Electrónica de Potencia: Características, Operación y Estabilidad. *INGENIUS Revista de Ciencia y Tecnología*(12), (pp. 15-23). (DOI:10.17163).



- [10] Salih E., Lachowicz S., Bass O., & Habibi D. (2014). *Application of a superconducting magnetic energy storage unit for power systems stability improvement*. 2014 1st International Conference on Green Energy, ICGE 2014. (pp. 267-272).
- [11] Sayed M. S., Mohamed M. A. y Abdel-Akher, M. (2014). *Application of Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) for Voltage Sag/Swell Supression in Distribution System with Wind Power Penetration*. (pp. 92- 96).
- [12] Scillato, A. (s.f.). *Diseño de un Conversor CA/CC con Corrección del Factor de Potencia para un Sistema de Alimentación Ininterrumpida*. Universidad Nacional del Comahue.
- [13] Shi, X., Wang, S., Yao, W., Waqar, A., Zuo, W. y Tang, Y. (2015). Mechanism Analysis and Experimental Validation of Employing. *Energies Superconducting Magnetic Energy Storage to Enhance Power System Stability*, (pp. 657-681).